ARTIKEL REVIEW: ANALISIS KOMPARATIF BAHAN TAMBAHAN PADA BIOPLASTIK BERBASIS KULIT SINGKONG DENGAN PENAMBAHAN GLISEROL DAN EKSTRAK DAUN SIRIH SEBAGAI ANTIBAKTERI

REVIEW ARTICLE: COMPARATIVE ANALYSIS OF ADDITIVES IN CASSAVA PEEL-BASED BIOPLASTICS INCORPORATING GLYCEROL AND BETEL LEAF EXTRACT AS AN ANTIBACTERIAL AGENT

Nur Handini Prisma Kustanti dan Nuniek Herdyastuti*
Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Universitas Negeri Surabaya
Jl. Ketintang, Surabaya (60231), Telp. 031-8298761

** Corresponding author, tel/fax: +62 817-5112-310, email: nuniekherdyastuti@unesa.ac.id*

Abstrak. *Artikel ini membahas mengenai pengaruh bahan tambahan terhadap kinerja bioplastik berbasis kulit singkong dan efektivitas antibakteri film yang diperkaya ekstrak daun sirih. Parameter yang dianalisis meliputi daya serap air, kekuatan tarik, biodegradasi, dan kinerja umum film. Hasil menunjukkan bahwa gliserol menghasilkan film yang paling fleksibel dan seimbang dengan daya serap air 15,09 %, kekuatan tarik 1,16 MPa, dan biodegradasi 60,8 %. Selulosa menghasilkan film yang kuat secara mekanik (7,48 MPa) tetapi kaku, sedangkan kitosan menghasilkan film kurang fleksibel dengan kekuatan tarik 5,42 MPa. Penambahan ekstrak daun sirih menunjukkan aktivitas antibakteri yang kuat, dengan zona hambat hingga 24,74 mm terhadap Streptococcus mutans. Kombinasi bioplastik berbasis gliserol dan ekstrak daun sirih berpotensi sebagai film fleksibel, seimbang, dan aktif untuk aplikasi kemasan.*

Kata kunci**: **Bioplastik, kulit singkong, gliserol, daun sirih, antibakteri.

Abstract. *This study discusses the effect of additives on the performance of cassava peel–based bioplastics and the antibacterial effectiveness of films enriched with betel leaf extract. The analyzed parameters include water absorption, tensile strength, biodegradability, and overall film performance. The results show that glycerol produced the most flexible and balanced film, with water absorption of 15.09%, tensile strength of 1.16 MPa, and biodegradability of 60.8%. Cellulose generated mechanically strong films (7.48 MPa) but with rigid characteristics, while chitosan produced less flexible films with a tensile strength of 5.42 MPa. The addition of betel leaf extract demonstrated strong antibacterial activity, with an inhibition zone of up to 24.74 mm against Streptococcus mutans. The combination of glycerol-based bioplastic and betel leaf extract shows potential as a flexible, balanced, and active film for packaging applications.*

Key words: Bioplastic, cassava peel, glycerol, betel leaf, antibacterial.

PENDAHULUAN

Pada era saat ini tidak dapat dipungkiri bahwa kita hidup berdampingan dengan bahan sintetis seperti plastik [1]. Kemasan dapat memperpanjang daya simpan serta meningkatkan nilai jual bahan pangan yang dikemas [2]. Kemasan plastik yang banyak digunakan saat ini bersifat *non biodegradable* (tidak dapat terurai oleh proses biologi), sehingga menghasilkan limbah yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan [3]. Penggunaan kemasan plastik secara terus menerus akan mengakibatkan pencemaran lingkungan. Berdasarkan data dari Sistem Pengolahan Sampah Nasional (SIPSN) pada tahun 2022, Indonesia menjadi penghasil

© 2026 Unesa Journal of Chemistry (UJC). This work is licensed under CC 4.0

sampah plastik sebesar 18,47% atau sama dengan 3.283.340,97 ton/tahun dari total timbunan sampah nasional [4]. Maka dari itu diperlukan upaya untuk mengurangi dan menggantinya dengan kemasan yang lebih ramah lingkungan [2].

Bioplastik merupakan jenis plastik yang dapat digunakan layaknya plastik konvensional, namun memiliki keunggulan utama yaitu mudah terurai oleh mikroorganisme menjadi senyawa yang aman seperti air dan karbon dioksida setelah dibuang ke lingkungan, tanpa meninggalkan residu beracun [5]. Bioplastik berbasis pati dibuat dari limbah bahan makanan dan banyak digunakan sebagai plastik *biodegradable* berumur pendek untuk aplikasi rumah tangga dan kemasan makanan [6]. Bioplastik dikenal secara global sebagai plastik *biodegradable* dan telah banyak dikembangkan di berbagai negara, termasuk Indonesia [7]. Pengembangan polimer *biodegradable* menjadi kemasan pangan ramah lingkungan merupakan salah satu strategi untuk meminimalkan masalah penumpukan plastik di lingkungan [8]. Bahan baku bioplastik berasal dari sumber daya terbarukan yang melimpah, seperti limbah pertanian, hasil perkebunan, serta sumber hayati dari sektor perikanan [9].

Proses produksi bioplastik pati singkong adalah salah satu bahan dasar dalam pembuatan *edible film* yang berperan sebagai bahan pengental [10]. Kemampuannya untuk terurai secara hayati dengan cepat di lingkungan dapat menjadikan pati sebagai alasan yang ideal dalam pengembangan alternatif plastik. Selain itu, pati memiliki ketersediaan yang melimpah, mudah diakses, dan biaya yang relatif rendah, sehingga banyak digunakan sebagai bahan utama dalam sintesis plastik ramah lingkungan [11]. Bioplastik berbasis pati memiliki beberapa kelemahan pada karakteristik, sifat fisik seperti kuat tarik dan elongasi, ketebalan, keburaman dan ketahanan terhadap air [12]. Sehingga diperlukan bahan tambahan seperti *plasticizer* untuk meningkatkan fleksibilitas dan karakteristik fisik bioplastik [13]. Gliserol merupakan *plasticizer* [14] yang merupakan senyawa hidrofilik yang terdiri dari alkohol polihidrat, memiliki kemampuan untuk mengikat air, meningkatkan viskositas larutan, dan mudah larut dalam air, dan mampu mengikat air. Gaya antarmolekul di sepanjang rantai polimer dapat dikurangi dengan gliserol. Adanya gaya antarmolekul yang ada di sepanjang rantai polimer dalam *plasticizer* meningkatkan fleksibilitas film [15].

Selain *plasticizer*, pengembangan bioplastik modern juga mengarah pada penambahan senyawa aktif guna memberikan fungsi tambahan, seperti sifat antibakteri [16]. Film berbasis pati diketahui mampu menginkorporasi bahan aktif sehingga tidak hanya berfungsi sebagai kemasan *biodegradable* tetapi juga dapat meningkatkan keamanan produk yang dikemas [17]. Salah satu bahan alami yang berpotensi sebagai antibakteri adalah daun sirih (*piper betle*), yang dikenal mengandung senyawa fenolik dan minyak atsiri dengan aktivitas antibakteri melawan *Bacillus cereus* [18]. Daun sirih hijau aman dengan efek samping minimal sehingga dapat digunakan sebagai alternatif antibakteri dalam pencegahan pembentukan biofilm [19]. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan review terhadap berbagai studi mengenai penggunaan gliserol sebagai *plasticizer* dan daun sirih sebagai agen antibakteri dalam bioplastik berbasis kulit singkong, sehingga dapat memberikan gambaran ilmiah mengenai peningkatan kinerja bioplastik yang lebih ramah lingkungan dan fungsional. Berbagai penelitian telah membahas penggunaan gliserol, selulosa, dan kitosan pada bioplastik berbasis pati, namun kajian yang secara spesifik mengintegrasikan bioplastik kulit singkong dengan ekstrak daun sirih sebagai agen antibakteri masih terbatas. Selain itu, sebagian besar penelitian masih berfokus pada karakteristik fisik dan mekanik, sedangkan kajian mengenai stabilitas antibakteri, migrasi senyawa aktif, dan aplikasi langsung pada kemasan pangan masih perlu dikembangkan.

Potensi Kulit Singkong sebagai Bahan Dasar Bioplastik

Kulit singkong mengandung polisakarida yang terdiri dari pati dan serat serta berkontribusi pada limbah agroindustri. Limbah ini memiliki potensi digunakan sebagai bahan baku untuk bioplastik. Kulit singkong dapat dibuat menjadi film biodegradabel melalui ekstraksi pati, gelatinisasi, pencampuran dengan plastisizer, atau agen penguat dan pembentukan film menggunakan metode pengecoran. Studi menunjukkan bahwa kulit singkong memiliki kapasitas untuk diubah menjadi bioplastik melalui berbagai formulasi, seperti penambahan gliserol, sorbitol, selulosa, kitosan, nanocellulose, atau pengisi lainnya [20], [21], [22]. Beberapa studi mendukung

pemanfaatan kulit singkong sebagai bahan dasar bioplastik tersaji pada Tabel 1.

Potensi kulit singkong sebagai bahan bioplastik juga didukung oleh ketersediaannya yang melimpah sebagai limbah hasil pengolahan singkong. Pemanfaatan limbah ini dapat memberikan nilai tambah karena kulit singkong yang semula dianggap sebagai limbah dapat diolah menjadi material fungsional yang lebih ramah lingkungan. Dalam hal pengembangan berkelanjutan bahan, penggunaan limbah kulit singkong sejalan dengan pendekatan saat ini untuk mengintegrasikan valorisasi limbah dan ekonomi sirkular, yang menganjurkan mengubah limbah biomassa menjadi bahan yang berguna [23], [24], [25] .

Tabel 1 Potensi Kulit Singkong sebagai Bahan Dasar Bioplastik Berdasarkan Penelitian Terdahulu

Aspek Potensi	**Temuan Utama**	**Implikasi terhadap Bioplastik**	**Referensi**
Ketersediaan bahan baku	Kulit singkong merupakan limbah agroindustri yang melimpah dan dapat dimanfaatkan sebagai sumber biomassa.	Mendukung pemanfaatan limbah pertanian menjadi produk bernilai tambah.	Ibe et al. (2025) [23]; Picar et al. (2025) [24]; Molina et al. (2025) [25]
Kandungan pati	Rendemen pati kulit singkong dilaporkan berkisar sekitar 3–44% dari berat bahan baku.	Kulit singkong berpotensi menjadi sumber pati alternatif untuk pembentukan matriks bioplastik.	Loganathan et al. (2020) [26]; Albarkah et al. (2025) [27]; Ibe et al. (2025) [23]
Metode pembuatan	Proses umum meliputi ekstraksi pati, gelatinisasi, pencampuran bahan tambahan, dan pembentukan film dengan metode casting.	Metode casting relatif sederhana dan umum digunakan dalam pembuatan film bioplastik skala laboratorium.	Maulida et al. (2016) [20]; Pulungan et al. (2020) [21]; Rahim et al. (2025) [22]
Sifat mekanik	Kekuatan tarik bioplastik kulit singkong sangat dipengaruhi oleh jenis dan konsentrasi bahan tambahan.	Diperlukan *plasticizer* dan bahan penguat untuk menyeimbangkan kekuatan dan fleksibilitas film.	Fathanah et al. (2018) [28]; Picar et al. (2025) [24]; Rahim et al. (2025) [22]
Pengaruh selulosa	Penambahan selulosa atau nanoselulosa dapat meningkatkan kekuatan tarik film.	Selulosa berperan sebagai reinforcement, tetapi dapat menurunkan fleksibilitas jika konsentrasinya terlalu tinggi.	Maulida et al. (2016) [20]; Rahim et al. (2025) [22]; Albarkah et al. (2025) [27]
Pengaruh kitosan	Kitosan dapat memperbaiki kekuatan mekanik dan sifat film melalui interaksi dengan pati.	Kitosan berpotensi sebagai bahan penguat sekaligus mendukung pengembangan film aktif.	Fathanah et al. (2018) [28]; Picar et al. (2025) [24]; Molina et al. (2025) [25]
Biodegradabilitas	Bioplastik kulit singkong dapat terdegradasi dalam waktu relatif singkat pada media tanah atau lingkungan yang mendukung aktivitas mikroba.	Menjadi keunggulan utama untuk aplikasi plastik sekali pakai dan kemasan ramah lingkungan.	Syuhada et al. (2020) [29]; Reza et al. (2025) [30]; Rahim et al. (2025) [22]

Aspek Potensi	Temuan Utama	Implikasi terhadap Bioplastik	Referensi
Ketahanan air	Film berbasis pati kulit singkong cenderung hidrofilik dan mudah menyerap air.	Perlu modifikasi formulasi untuk meningkatkan ketahanan terhadap kelembapan.	Azkiya et al. (2023) [31]; Molina et al. (2025) [25]; Anchundia et al. (2024) [32]
Aplikasi potensial	Dapat diarahkan untuk kemasan pangan, film *biodegradable*, kemasan larut air, dan aplikasi non-struktural.	Sesuai untuk produk dengan masa pakai pendek dan kebutuhan biodegradabilitas tinggi.	Loganathan et al. (2020) [26]; Albarkah et al. (2025) [27]; Anchundia et al. (2024) [32]
Keterbatasan	Masih terdapat kelemahan pada kekuatan mekanik, stabilitas air, dan standardisasi proses produksi.	Perlu optimasi formulasi, pengujian standar, serta kajian skala produksi.	Ibe et al. (2025) [23]; Picar et al. (2025) [24]; Molina et al. (2025) [25]

Pati yang diperoleh dari kulit singkong dapat diproses melalui ekstraksi kemudian dicampur dengan aditif untuk meningkatkan sifat film. Tergantung pada teknik ekstraksi dan keadaan bahan baku, hasil pati dari kulit singkong biasanya berfluktuasi antara 3% sampai 44% dari berat kulit singkong [23], [26], [27]. Hal ini menunjukkan bahwa, sebagai sumber alternatif potensial dari pati, kulit singkong masih perlu dioptimalkan untuk efisiensi ekstraksi.

Secara mekanik, bioplastik berbasis kulit singkong menunjukkan karakteristik yang sangat dipengaruhi oleh jenis bahan tambahan. Penambahan selulosa atau nan selulosa dapat meningkatkan kekuatan tarik karena adanya interaksi antara gugus hidroksil pada selulosa dengan matriks pati [20], [22], [27]. Selain itu, penggunaan kitosan juga dapat meningkatkan kekuatan mekanik dan memperbaiki sifat film melalui pembentukan ikatan hidrogen dengan pati [24], [25], [28]. Namun, peningkatan kekuatan mekanik sering diikuti oleh penurunan fleksibilitas atau elongasi, sehingga formulasi bioplastik perlu disesuaikan dengan tujuan aplikasinya.

Keunggulan utama bioplastik berbasis kulit singkong terletak pada sifat biodegradabilitasnya. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa bioplastik dari kulit singkong dapat mengalami degradasi dalam waktu relatif singkat, terutama pada media tanah atau lingkungan yang mendukung aktivitas mikroorganisme [22], [29], [30]. Sifat mudah terurai ini menjadi kelebihan penting dibandingkan plastik konvensional berbasis petroleum yang membutuhkan waktu sangat lama untuk terdegradasi di lingkungan. Sifat hidrofilik pati menyebabkan bioplastik kulit singkong cenderung mudah menyerap air, sehingga stabilitasnya pada kondisi lembap masih menjadi tantangan [25], [31].

Berdasarkan karakteristik tersebut, kulit singkong berpotensi dikembangkan sebagai bahan dasar bioplastik untuk aplikasi kemasan non-struktural, film *biodegradable*, kemasan larut air, serta kemasan pangan dengan masa pakai pendek. Beberapa formulasi bioplastik kulit singkong bahkan dilaporkan memenuhi standar tertentu untuk aplikasi kemasan pangan, terutama ketika dikombinasikan dengan bahan tambahan seperti nan selulosa, sorbitol, kitosan, atau pengaturan pH tertentu [26], [27], [32]. Pengembangan bioplastik kulit singkong masih memerlukan optimasi lebih lanjut, terutama dalam aspek kekuatan mekanik, ketahanan air, standardisasi proses, dan kelayakan produksi skala besar.

Berdasarkan alasan-alasan tersebut, kulit singkong dapat dinilai sebagai bahan dasar bioplastik yang prospektif karena memiliki ketersediaan tinggi, dapat membentuk film *biodegradable*, serta mendukung pemanfaatan limbah pertanian. Kelemahan berupa sensitivitas terhadap air, kekuatan mekanik yang belum stabil, dan variasi hasil akibat perbedaan formulasi menjadi hal yang perlu diperbaiki melalui penambahan bahan tambahan seperti gliserol, selulosa, kitosan, maupun agen aktif alami seperti ekstrak daun sirih.

Perbandingan Jenis Bahan Tambahan

Plastik berbasis pati murni memiliki beberapa keterbatasan antara lain sifatnya yang rapuh, kaku, daya larut air yang tinggi, serta kekuatan mekanik yang relatif rendah [33]. Kendala ini dapat diatasi dengan penambahan bahan tambahan berupa *plasticizer*, seperti gliserol atau sorbitol, yang berfungsi meningkatkan fleksibilitas dan kelenturan film bioplastik [34]. Tabel 2 menunjukkan bahwa penggunaan bahan tambahan pada bioplastik berbasis kulit singkong menghasilkan karakteristik kinerja yang berbeda-beda tergantung pada jenis aditif yang digunakan.

Perbedaan ini terkait dengan sifat kimia masing-masing bahan tambahan: gliserol sebagai *plasticizer* meningkatkan mobilitas rantai polimer sehingga elongasi meningkat meskipun kekuatan tarik menurun [35], sedangkan selulosa yang bersifat polimer berstruktur lebih kaku memberikan dukungan mekanik tinggi namun mengurangi fleksibilitas film [36]. Gliserol memberikan kelarutan yang lebih tinggi dibandingkan sorbitol pada bioplastik berbasis pati dan dapat mencegah keretakan [37]. Penggunaan gliserol dalam jumlah yang tepat memberikan efek tekstural, karena substansi tersebut secara potensial dapat melenturkan matriks protein [38]. Peran gliserol sebagai *plasticizer* yakni meningkatkan fleksibilitas film, permukaan film lebih halus, selain itu gliserol dapat meningkatkan kemampuan *edible film* dalam mengurangi laju transmisi uap air [39].

Tabel 2 Perbandingan Parameter Kinerja Bioplastik Meliputi Jenis Bahan Tambahan, Daya Serap Air, Kekuatan Tarik, Waktu Biodegradasi dan Kinerja Umum

Artikel Referensi	Parameter				
	Bahan Tambahan	Daya Serap	Uji Kekuatan Tarik	Uji Biodegredasi	Kinerja Umum
Ramadani, 2023	Gliserol	15,09%	1,16 MPa	60,8%	Film fleksibel dan seimbang
Nurulhasni, 2023	Selulosa	25,5%	7,48 MPa	72,1%	Film kaku dan kurang stabil
Khoerunnisa, 2025	Kitosan	30,39%	5,42 MPa	67,74%	Film kurang fleksibel

Penggunaan sorbitol sebagai *plasticizer* lebih efektif karena memiliki kelebihan mampu untuk mengurangi ikatan hidrogen internal pada ikatan intermolekuler sehingga struktur film melunak dan baik untuk menghambat penguapan air dari produk [40], sorbitol memiliki kelarutan terhadap air yang lebih rendah dari pada gliserol sehingga lebih dapat mengatasi kelemahan film dari polisakarida yang hidrofilik [41]. Penambahan gliserol juga dapat menurunkan persen pemanjangan karena gliserol akan memperkecil ikatan kohesi antar polimer sehingga film yang dihasilkan akan lunak sekali dan mudah terputus [42].

Pengaruh Bahan Tambahan Terhadap Ketahanan Air

Uji *swelling* atau daya serap air berguna untuk mengetahui seberapa besar daya serap bahan terhadap air [43]. Data menunjukkan bahwa film dengan gliserol memiliki daya serap air yang paling rendah (15,09 %), menunjukkan bahwa gliserol membantu mengurangi kecenderungan film untuk menyerap air. Hal ini mengindikasikan film gliserol relatif lebih stabil terhadap lingkungan lembap, yang menguntungkan untuk aplikasi kemasan [44].

Sebaliknya, penggunaan selulosa sebagai bahan tambahan meningkatkan penyerapan air menjadi sekitar 25,5 %, yang mencerminkan film lebih hidrofilik karena gugus hidroksil dari selulosa. Kitosan menunjukkan daya serap air tertinggi di antara ketiga bahan tambahan (30,39 %), yang menunjukkan film lebih mudah terhidrasi dan berpeluang terdegradasi lebih cepat. Parameter ini relevan karena film yang terlalu menyerap air cenderung kehilangan integritas mekaniknya, sedangkan film yang terlalu tahan air mungkin kurang cepat terurai di lingkungan [45].

Pengaruh Bahan Tambahan Terhadap Kuat Tarik Bioplastik

Pengukuran Kuat tarik untuk mengetahui besarnya gaya yang dicapai untuk mencapai tarikan maksimum pada setiap satuan luas

permukaan bahan untuk merenggang ataupun memanjang [46]. Pengujian kuat tarik menunjukkan bahwa selulosa mampu meningkatkan kekuatan tarik bioplastik menjadi 7,48 MPa, diikuti oleh kitosan dengan 5,42 MPa. Nilai-nilai ini mencerminkan bahwa film dengan selulosa atau kitosan lebih kuat menahan tarikan sebelum putus dibanding film dengan gliserol. Namun, kekuatan tarik yang lebih tinggi tidak selalu mencerminkan performa aplikasi yang lebih unggul, terutama jika film tersebut menjadi kaku dan kurang elastis [47].

Hal ini relevan karena untuk aplikasi kemasan yang fleksibel, nilai elongasi dan fleksibilitas film sangat penting agar film tidak mudah patah saat dibengkokkan [48]. Film dengan gliserol, meskipun memiliki kuat tarik yang lebih rendah (1,16 MPa), menunjukkan karakter fleksibilitas yang lebih baik, sehingga film tidak mudah retak saat diberi tegangan kecil. Hal ini mendukung gliserol sebagai bahan tambahan yang baik untuk menghasilkan film yang fleksibel dan seimbang karena cukup efektif mengurangi ikatan hidrogen internal sehingga akan meningkatkan jarak intermolekuler [49].

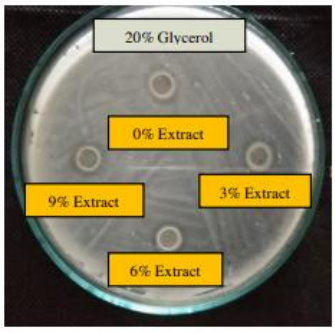
Analisis Biodegradasi Bioplastik

Biodegradasi adalah suatu proses biologi dimana terjadi perombakan senyawa oleh aktifitas agen biologis baik senyawa toksik mapun non-toksik, menjadi senyawa yang lebih sederhana [50]. Beberapa studi menunjukkan bukti efektivitas antibakteri ekstrak daun sirih tersaji pada Tabel 3. Film dengan selulosa menunjukkan tingkat biodegradasi tertinggi (72,1 %), diikuti oleh kitosan (67,74 %) dan gliserol (60,8 %). Nilai ini menunjukkan bahwa selulosa dapat mempercepat degradasi film, kemungkinan karena film yang lebih hidrofilik dan struktur yang lebih mudah diuraikan oleh mikroorganisme [51].

Gliserol menunjukkan tingkat biodegradasi terendah, namun film gliserol masih terdegradasi dengan baik dan menunjukkan kombinasi yang seimbang antara daya serap air, fleksibilitas, dan biodegradasi [52]. Film gliserol yang fleksibel ini berpotensi menjadi kandidat terbaik ketika dikombinasikan dengan fungsi antibakteri dari ekstrak daun sirih, karena fleksibilitas memungkinkan distribusi agen aktif secara lebih merata dalam film tanpa kompromi terhadap integritas film [53]. Gliserol berpotensi dikembangkan sebagai bahan kemasan pangan ramah lingkungan [54].

Tabel 3. Efektivitas Antibakteri Ekstrak Daun Sirih

Artikel Referensi	Bahan Film	Zona Hambat	Kesimpulan Studi
Mustika, 2024 [55]	*Edible film* nata de coco + ekstrak daun sirih	16,08 mm	Kategori kuat
Nasution, 2022 [56]	*Edible film* + ekstrak daun sirih	24,74 mm	70% mampu menghambat pertumbuhan bakteri *S. mutans*
Nasution, 2021 [57]	*Edible film* sago+ ekstrak daun sirih	26,00 mm	Kuat terhadap *Bacillus cereus*



Gambar 1. Zona Hambat Bioplastik Ekstrak Daun Sirih terhadap *Bacillus cereus* (Sumber: Nasution dan Wulandari, 2021)

Pengujian aktivitas antibakteri dilakukan untuk mengetahui aktivitas antibakteri dari *edible film* campuran dari faktor kadar pati kulit singkong [58]. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ekstrak

daun sirih berkontribusi dalam menekan pertumbuhan *Escherichia coli*. Ekstrak daun sirih hijau memiliki aktivitas antibakteri yang paling efektif [59]. Kandungan senyawa fenol pada daun sirih bersifat antimikroba yang kuat dan efektif menghambat pertumbuhan bakteri [60]. Aktivitas ini berkaitan dengan kandungan senyawa bioaktif, khususnya flavonoid, yang berperan sebagai agen antibakteri dan ditandai dengan terbentuknya zona hambat di sekitar sampel *edible film*. Pengujian bioplastik pati sagu dengan 9% ekstrak sirih efektif menghambat *Bacillus cereus*, meskipun tidak terjadi penghambatan terhadap *Aspergillus niger* [57].

Ekstrak etanol daun sirih hijau mengandung kelompok flavonoid yang bekerja dengan merusak permeabilitas membran sel bakteri serta mengganggu kerja enzim penting seperti ATPase dan fosfolipase. Selain itu, flavonoid dapat menghambat proses metabolisme energi melalui gangguan pemanfaatan oksigen oleh bakteri. Ketika proses metabolisme terganggu, bakteri tidak mampu mensintesis komponen sel yang lebih kompleks sehingga pertumbuhannya terhenti [61].

KESIMPULAN

Kinerja mekanik dan fisik: Gliserol menghasilkan film bioplastik yang paling fleksibel dan seimbang, meskipun kekuatan tariknya lebih rendah dibanding selulosa atau kitosan. Selulosa memberikan kekuatan tarik tinggi tetapi kaku, sedangkan kitosan menghasilkan film kurang fleksibel. Ketahanan air dan biodegradasi: Film gliserol memiliki daya serap air rendah (15,09 %) dan biodegradasi 60,8 %, menunjukkan keseimbangan antara stabilitas dan ramah lingkungan. Film selulosa dan kitosan lebih mudah menyerap air dan terurai lebih cepat. Efektivitas antibakteri: Penambahan ekstrak daun sirih pada film efektif menekan pertumbuhan S. mutans, dengan zona hambat mencapai 24,74 mm dan kategori efektif hingga 70 %. Rekomendasi aplikasi: Kombinasi bioplastik berbasis gliserol dengan ekstrak daun sirih merupakan pilihan optimal untuk menghasilkan film fleksibel, seimbang, dan memiliki fungsi antibakteri aktif, cocok untuk aplikasi kemasan fungsional.

DAFTAR PUSTAKA

[1] M. N. A. Putra *et al.*, "Sampah plastik sebagai ancaman terhadap lingkungan," *Akt. 2(1)*, 2025, doi: 10.62383/aktivisme.v2i1.725.

[2] S. Nasution *et al.*, "Pengembangan edible film dari pati singkong dengan penambahan berbagai rempah sebagai kemasan kopi instan untuk meningkatkan sifat fungsional minuman kopi," *Pro Food, 11(1)*, 2025, doi: 10.29303/profood.v11i1.494.

[3] R. Ulyarti M., R. Mursyid I., R. Suseno, and Nazarudin., "Pengaruh konsentrasi minyak cengkeh terhadap karakteristik edible film dari pati singkong–kitosan," *J. Teknol. Ind. Pertan.*, 2022.

[4] R. Ardiansyah, A. Marom, and H. Nurcahyanto, "Anaslisis Dampak Kebijakan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) Temat Pembangunan Akhir (TPA) Putri Cempo Kota Surakarta," *J. Manag. Public Policy*, vol. 13, no. 3, hal. 77–88, 2025, doi: 10.14710/jppmr.v13i3.44354.

[5] M. M. Abe, M. C. Branciforti, and M. Brienzo, "Biodegradation of hemicellulose–cellulose–starch-based bioplastics and microbial polyesters," *Recycling*, vol. 6, no. 1, hal. 22, 2021, doi: 10.3390/recycling6010022.

[6] B. Shrestha, K. Chapain, S. Shah, and R. Pandit, "Starch/polyvinyl alcohol (PVA) blend bioplastics: Synthesis and physicochemical properties," *J. Nepal Chem. Soc. 43(2)*, 2023, doi: 10.3126/jncs.v43i2.53349.

[7] S. R. Amalia, S. M. Harizar, S. Maesyaroh, and S. Rahmawati, "Artikel review: Analisis komparatif bahan tambahan dalam peningkatan kinerja bioplastik pati jagung," *Bot. 2(2)*, 2025, doi: 10.62951/botani.v2i2.341.

[8] S. N. Ayyubi, P. Kusmiyati A., and W. Z. Pratiwi, "Review: Aplikasi material komposit berbasis kitosan sebagai bahan kemasan makanan," *Teknik*, vol. 42, no. 3, hal. 36499, 2021, doi: 10.14710/teknik.v42i3.36499.

[9] C. Putnarubun, D. Ngabalin, and M. Bugis, "Studi pendahuluan pembuatan bioplastik dari alga Caulerpa sp," *dengan variasi konsentrasi asam asetat. J. Fish Protech, 4(1)*, 2022, doi: 10.37905/jfpj.v4i1.13584.

[10] R. A. Mudaffar, "Karakteristik edible film dari limbah kulit singkong dengan penambahan kombinasi plasticizer serta

aplikasinya pada buah nanas terolah minimal," *J. Teknol. Agro-Industri*, vol. 7, no. 1, 2020.

[11] S. Diana, Adriana, Saifuddin, and R. Fikri, "KARAKTERISASI BIOPLASTIK DARI PATI KULIT SINGKONG DENGAN PENAMBAHAN KITOSAN," 2014.

[12] K. Khotimah, A. Ridlo, and C. A. Suryono, "Sifat fisik dan mekanik bioplastik komposit dari alginat dan karagenan," *J. Mater. Res. 11(3)*, 2022, doi: 10.14710/jmr.v11i3.33865.

[13] N. Shelvi, S. Nafita, and H. Nurlin R., "Tensile strength dan elongation at break edible film pati singkong dengan variasi bahan tambahan," *JERKIN, 3(4)*, 2025, doi: 10.31004/jerkin.v3i4.871.

[14] A. Istiani, Y. Yusuf, F. Irfandy, and M. Puspitasari, "Karakterisasi sifat fisik biodegradable film dari pati garut, gliserol dan asam sitrat," *J. Eksergi*, 2022.

[15] A. Susanti, H. S. Kusuma, D. K. Zafira, A. B. Ilmi, I. E. Agustina, and L. B. A. Prayoga, "Pembuatan dan karakterisasi biodegradable plastic berbasis campuran pati dan selulosa dari limbah jagung," *J. Tek. Kim.*, 2021.

[16] G. Hestina E. dan V. Purwandari, "Sintesis bioplastik dengan bahan aktif ekstrak rambut jagung (Zea mays L,"), vol. 3, no. 2, hal. 97–105, 2021.

[17] N. L. Fernández, D. K. Yamul, and A. S. Navarro, "Physicochemical and mechanical properties of cassava starch films containing honey and glycerol as co-plasticisers," *Int. J. Food Sci.*, 2025, doi: 10.1093/ijfood/vvae017.

[18] C. N. Faridah, "Potensi bioplastik dengan penambahan agen antibakteri sebagai kemasan aktif ramah lingkungan," *J. Edufortech*, vol. 7, no. 1, hal. 11–20, 2022.

[19] S. Jeffrey V. K., "Pemanfaatan komponen biologi aktif tanaman sirih hijau (Piper betle L," *) sebagai antibakteri dalam Pencegah. karies gigi*, 2022.

[20] Maulida, M. Siagian, and P. Tarigan, "Production of Starch Based Bioplastic from Cassava Peel Reinforced with Microcrystalline Celllulose Avicel PH101 Using Sorbitol as Plasticizer," *J. Phys. Conf. Ser.*, 2016, doi: 10.1088/1742-6596/710/1/012012.

[21] M. H. Pulungan, R. A. D. Kapita, and I. Dewi, "Optimisation on the production of biodegradable plastic from starch and cassava peel flour using response surface methodology," *IOP Conf. Ser. Earth Environ.*, 2020, doi: 10.1088/1755-1315/475/1/012019.

[22] H. Rahim, R. R. Masda, S. U. Al Adawiyah, and M. F. Lestari, "Optimisation of Biodegradable Plastic from Cassava Peel Starch with Additional Materials of Sugarcane Bagasse Cellulose," *J. Chem. Process Eng.*, 2025, doi: 10.33096/jcpe.v9i3.1488.

[23] M. V. Ibe, V. E. Ngozi, O. C. Cynthia, and V. A. Wirnkor, "Synthesis and Characterization of Starch-Based Bioplastics Derived from Cassava (Manihot esculenta) Peels and Oil Palm Empty Fruit Bunch (Elaeis guineensis)," *Green Chem. Innov.*, 2025, doi: 10.64229/wa7g9q43.

[24] A. E. Picar, B. I. B. Molina, J. F. C. Dejuras, M. J. T. Veran, and J. R. C. Estrellado, "Valorization of Cassava Peel and Shrimp Shell Waste for Bioplastic Film Development: Extraction, Characterization, and Response Modeling," *Int. J. Multidiscip. Appl. Bus. Educ. Res.*, 2025, doi: 10.11594/ijmaber.06.06.30.

[25] B. I. B. Molina, J. F. C. Dejuras, A. E. Picar, M. J. T. Veran, and J. R. C. Estrellado, "Barrier Property, Antimicrobial Susceptibility, and Biodegradability of Waste Cassava Peel Starch/Waste Shrimp Shell Chitosan/Sorbitol Bioplastic Films," *Int. J. Multidiscip. Appl. Bus. Educ. Res.*, 2025, doi: 10.11594/ijmaber.06.08.16.

[26] M. Loganathan, A. F. Zuhaidi, R. M. Z. Boestami, and A. N. A. Hawari, "Utilization of Used Cooking Oil and Cassava Peel as Degradable Bioplastic Film," *J. Sustain. Nat. Resour.*, 2020, doi: 10.30880/jsunr.2020.01.02.003.

[27] A. M. Albarkah, B. M. Soebrata, and T. Kemala, "Development of Bioplastic Films from Cassava Peel Starch Reinforced with Banana Midrib Nanocellulose and the Effect of Sorbitol on Mechanical Strength," *J. Kim. Sains dan Apl.*, 2025, doi: 10.14710/jksa.28.8.426-435.

[28] U. Fathanah, M. R. Lubis, F. Nasution, and

M. S. Masyawi, "Characterization of bioplastic based from cassava crisp home industrial waste incorporated with chitosan and liquid smoke," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/334/1/012073.

[29] M. Syuhada, S. A. Sofa, and E. Sedyadi, "The Effect of Cassava Peel Starch Addition to Bioplastic Biodegradation Based On Chitosan On Soil and River Water Media," *Biol. Med. Nat. Prod. Chem.*, 2020, doi: 10.14421/biomedich.2020.91.7-13.

[30] M. Reza, A. Irfan, M. Hakim, K. H. Wicaksono, V. Panse, and A. Shukla, "Fabrication and Characterization of Environmentally Friendly Bioplastic Film Based on Chitosan from Cassava Peel Starch," *Int. J. Hydrol. Environ. Sustain.*, 2025, doi: 10.58524/ijhes.v4i3.791.

[31] N. I. Azkiya, S. S. Udjiana, A. R. Irangga, A. Tania, and Febiyanti, "The Potential of Cassava Peel Waste as a Material of Biodegradable Plastic using Calcium Silicate Filler," *J. Tek. Kim. dan Lingkung.*, 2023, doi: 10.33795/jtkl.v7i2.1721.

[32] L. Anchundia *et al.*, "Effect of Ph on the Physicochemical Properties of a Cassava Peel Starch Biopolymer.," *Cell. Physiol. Biochem.*, 2024, doi: 10.33594/000000753.

[33] E. Wahyu, H. Nasution, and H. Harahap, "Sintesis dan karakterisasi edible film berbahan dasar limbah kulit kopi dengan penambahan gliserol dan sorbitol sebagai plasticizer," *J. Tek. Kim. USU*, 2025.

[34] M. K. Gurunathan, R. J. H. Navasingh, J. D. R. Selvam, and R. Čep, "Development and characterization of starch bioplastics as a sustainable alternative for packaging," *Carbohydr. Polym. Technol. Appl. 2, 100157*, 2021, doi: 10.1016/j.carpta.2021.100157.

[35] N. I. Wahab, F. Y. P. Tyassen, and F. Junianti, "Pembuatan edible film berbahan baku karagenan dengan variasi suhu pemanasan dan konsentrasi gliserol," *J. Tek. Kim.*, 2023.

[36] D. D. Jessica, N. Zulferiyenni F., and O. Nawansih, "Karakteristik biodegradable film berbasis selulosa bungkil inti sawit (BIS) dengan variasi konsentrasi plasticizer gliserol dan filler glukomanan," *J. Agroindustri Berkelanjutan*, vol. 3, no. 2, hal. 209–222, 2024.

[37] F. A. Nababan, H. Nasution, and Z. Masyithah, "Pemanfaatan selulosa dari ampas tebu (Saccharum officinarum) pada penyediaan bioplastik berbasis pati biji durian (Durio zibethinus Murr) yang bersifat biodegradable," *J. Tek. Kim. USU*, vol. 14, no. 2, 2025.

[38] M. Rizky, S. F. Maulani, S. Annisa, S. Fatimah, L. Lukman, and M. Hanif, "Review: Edible film berbasis pati jagung dengan penambahan gliserol dan CMC sebagai plastik biodegradable," 2025.

[39] K. Ulkiyah, "Penggunaan plasticizer gliserol terhadap karakteristik fisik film komposit whey–gelatin," *J. Ilmu Pangan*, 2023.

[40] R. Andriani, F. H. Hamzah, and S. Fitriani, "Variasi konsentrasi gliserol pada pembuatan edible film pati kulit pisang barangan (Musa acuminata Linn," *). J. Online Mhs. Bid. Pertan.*, vol. 7, no. 2, hal. 1–17, 2020.

[41] A. R. D. Alfianty and I. Tamrin M. N., "Kajian berbagai jenis penggunaan plasticizer terhadap pembuatan edible film," *J. Ris. Pangan*, vol. 3, no. 3, hal. 356–363, 2025.

[42] P. Zulferiyenni M. M. and N. Suharyono F., "Formulasi gliserol dan CMC dalam pembuatan biodegradable film berbasis selulosa daun nanas (Ananas comosus)," *J. Agroindustri*, 2023.

[43] R. R. J. N. E. N. Rochadiana, K. F. Indrianto, and C. Pujiastuti, "Optimasi kondisi operasi pembuatan bioplastik dari selulosa kulit durian: Pengaruh suhu, waktu, and kecepatan pengadukan," *J. Tek. Kim.*, 2025.

[44] D. A. Permata, Y. M. Putri, and S. D. Ismanto, "Variasi penambahan gliserol pada pembuatan bioplastik limbah cair tahu," *J. Integr. Proses*, vol. 13, no. 1, 2024.

[45] A. K. Tiwari and R. J. Narayan, "Role of Polymeric Stabilizing Agents as a Molecular Spacer in Gold Nanoparticle-Mediated FRET-Based Biosensing," *Biosensors*, vol. 15, no. 9, hal. 593, 2025, doi: 10.3390/bios15090593.

[46] I. Fitriyanti K., "Studi kuat tarik bioplastik dan edible film dengan metode bending ASTM D638-02A," *SAINFIS J. Sains Fis.*,

vol. 3, no. 1, 2023.

[47] L. Diana, A. G. Safitra, and M. N. Ariansyah, "Analisis kekuatan tarik pada material komposit dengan serat penguat polimer," *J. ALE (Arika Lete)*, vol. 4, hal. 121–126, 2020.

[48] H. Sardiansyah F., C. AR, and R. Mardiana, "Pengaruh gliserol terhadap edible film berbasis pati biji kluwih (Artocarpus camansi) dan karagenan," *J. Teknol. Pangan*, 2025.

[49] S. Purnavita, D. Subandriyo Y., and A. Anggraeni, "Penambahan Gliserol terhadap Karakteristik Bioplastik dari Komposit Pati Aren dan Glukomanan," *Media Komun. Rekayasa Proses dan Teknol. Tepat Guna. 16(1). 19-25*, 2020.

[50] F. Umar, "Biodegradasi petroleum dan hidrokarbon eikosana oleh isolat bakteri Pseudomonas aeruginosa," *J. Biol.*, 2020.

[51] A. Akmala and E. Supriyo, "Optimasi konsentrasi selulosa pada pembuatan biodegradable foam dari selulosa dan tepung singkong," *Pentana J. Penelit. Terap. Kim.*, vol. 1, no. 1, hal. 27, 2020.

[52] E. C. Muliawati *et al.*, "Review: Produksi plastik biodegradable berbahan dasar tongkol jagung sebagai bahan kemasan," *J. Res. Technol.*, vol. 11, no. 1, hal. 177–194, 2025.

[53] J. Tarique, S. M. Sapuan, and A. Khalina, "Effect of glycerol plasticizer loading on the physical, mechanical, thermal, and barrier properties of arrowroot (Maranta arundinacea) starch biopolymers," *Polymers (Basel).*, vol. 13, no. 16, hal. 2813, 2021.

[54] N. Widiarti, S. Dur, and A. R. A. Siregar, "Pengaruh konsentrasi gliserol terhadap plastik biodegradable berbahan pati dari kulit singkong," *JPS J.*, 2025, doi: 10.36490/journal-jps.com.

[55] K. G. Mustika, R. H. F. Faradilla, and L. Mariani, "Pengaruh ekstrak daun sirih (Piper betle L," *) menggunakan pelarut etanol terhadap Akt. antibakteri dan sifat Fis. edible Film nata coco*, vol. 9, no. 5, 2024.

[56] A. Y. Nasution, I. Wardaniati, and S. A. Lestari, "Antibacterial activity of edible film with the addition of betel leaf extract (Piper betle) against Streptococcus mutans," 2022.

[57] H. Nasution and G. Wulandari, "The Effect of Betel (piper betle) leaf extract as antimicrobial agent on characteristics of bioplastic based on sago starch," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1122, no. 1, hal. 12098, 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1122/1/012098.

[58] W. Yudha, S. H. Putri, and A. Widyasanti, "Pengaruh ekstrak bawang putih (Allium sativum L," *) pada edible Film pati singkong terhadap Akt. antibakteri. J. Teknol. Ind. Pertanian, 18(1)*, 2024, doi: 10.24198/jt.vol18n1.7.

[59] N. L. F. Chamidah and L. Rohmawati, "Pengaruh konsentrasi ekstrak daun sirih hijau dan madu terhadap sifat antibakteri plester luka hidrogel PVA/kitosan," *Inov. Fis. Indones.*, vol. 11, no. 1, hal. 48, 2022, doi: 10.26740/ifi.v11n1.p48-55.

[60] Y. P. Tanjung, A. I. Julianti, and A. W. Rizkiyani, "Formulation and physical evaluation of edible film dosage from ethanol extract of betel leaves (Piper betle L," *) canker sore drugs*, 2021.

[61] K. Nisyak, A. Hisbiyah, and A. Haqqo, "Aktivitas antibakteri ekstrak etanol dan minyak atsiri sirih hijau terhadap Methicillin-resistant Staphylococcus aureus," *J. Pharm. Clin. Asp.*, 2022.