Jurnal Teknologi Kimia Mineral

Journal homepage: journal.atim.ac.id/index.php/jtkm

Rekayasa Biotray Berbasis Limbah Kulit Kakao dan Pati Tapioka sebagai Kemasan Makanan Biodegradable

Ririn Tri Noviana[1], Gabriel Pratama Tondolipu[1], Ni Made Kesumasari[1]

[a]SMA Negeri 3 Poso, Jl. P. Seram No. 16, Gebang Rejo, Kec. Poso Kota, Kab. Poso, Prov. Sulawesi Tengah, 94617, Indonesia

Informasi Artikel

Kata kunci:
Kulit Kakao
Pati Tapioka
Biotray
Biodegradasi

Abstrak

Tingginya pencemaran limbah plastik konvensional serta melimpahnya limbah kulit kakao yang belum termanfaatkan secara optimal mendorong perlunya inovasi kemasan pangan ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan merekayasa biotray biodegradable dengan memanfaatkan pektin dan lignin hasil ekstraksi kulit kakao yang dipadukan dengan pati tapioka. Formulasi dibuat dalam tiga variasi rasio pektin-lignin kulit kakao terhadap pati tapioka, yaitu perbandingan (m/m) 4:6, 5:5, dan 6:4. Karakterisasi produk meliputi uji ketahanan air, ketahanan panas, kuat tarik, elongasi, dan biodegradasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan proporsi kulit kakao meningkatkan ketahanan air hingga 850%, ketahanan panas 0 %, serta kuat tarik mencapai 1,66 N/mm2, namun menurunkan nilai elongasi menjadi 8,0899 mm (59%) dan memperlambat laju biodegradasi. Terdapat hubungan berbanding terbalik antara peningkatan sifat fisik-mekanik-termal dengan kecepatan penguraian biotray yang memenuhi karakteristik dasar kemasan makanan ramah lingkungan.

Article Information

Keywords:
Cacao Husks
Tapioca Starch
Biotray
Biodegradation

Abstract

The use of used cooking oil can cause various health problems if consumed and may lead to environmental pollution when disposed of directly into soil or waterways without proper treatment. Therefore, it is necessary to process used cooking oil through purification, using coffee grounds and banana peels as adsorbents. The purified used cooking oil can then be utilized to produce environmentally friendly and economically valuable products, such as aromatherapy candles.This study aims to evaluate the quality of aromatherapy candles produced from purified used cooking oil using various compositions of coffee grounds and banana peels as adsorbents. The aromatherapy candles were tested through organoleptic analysis, including visual observation of physical characteristics, as well as burn time and melting point tests. The results showed that the formulation with a parafin, stearic acid, and used cooking oil mass ratio of 6:2:2 exhibited the most balanced characteristics compared with the other formulations. This formulation had a moderate hardness level, a melting point of 57 °C, and the longest burning time of 98 minutes. These results indicate that the incorporation of 20% used cooking oil produced a candle with a sufficiently firm structure and good burning resistance, making it a promising formulation for aromatherapy candles based on used cooking oil with relatively optimal physical characteristics.

1. Pendahuluan

Permasalahan lingkungan akibat meningkatnya jumlah limbah mendorong perlunya pengembangan material yang berasal dari sumber daya terbarukan dan dapat terurai secara alami. Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah memanfaatkan biomassa dan limbah pertanian sebagai bahan baku (Ali et al., 2024). Pemanfaatan limbah pertanian tidak hanya berpotensi mengurangi beban lingkungan, tetapi juga dapat meningkatkan nilai guna bahan yang sebelumnya kurang dimanfaatkan (Riseh et al., 2024). Salah satu limbah pertanian yang memiliki potensi tersebut adalah kulit buah kakao (Campos-Vega et al., 2018; Nguyen et al., 2024). Kulit kakao merupakan bagian terbesar dari buah kakao dan dapat mencapai sekitar 70% dari bobot segar buah. Jumlah tersebut menunjukkan bahwa proses produksi kakao menghasilkan biomassa dalam jumlah besar yang berpotensi dimanfaatkan lebih lanjut. Kulit kakao juga memiliki kandungan senyawa seperti pektin dan komponen lignoselulosa yang memberikan potensi untuk dikembangkan menjadi bahan bernilai tambah. Penelitian yang dilakukan oleh Nguyen et al. (2024) dan Barrios-Rodríguez et al., (2022), menjelaskan bahwa kulit kakao merupakan sumber pektin yang potensial dan memiliki berbagai kemungkinan pemanfaatan. Penelitian tersebut juga menyatakan bahwa selain pektin, kulit kakao memiliki

*SMA Negeri 3 Poso, Jl. P. Seram No. 16, Gebang Rejo, Kec. Poso Kota, Kab. Poso, Prov. Sulawesi Tengah, 94617, Indonesia
Email: madekusuma2211@gmail.com (Ni Made Kesumasari)
https://doi.org/10. ...
Submisi 16 Oktober 2026; Revisi 17 November 2026; Diterima 18 November 2026
Publish online 30 November 2026
Penulis 2026, di bawah persyaratan lisensi CC BY-NC-SA 4.0

komponen lignoselulosa yang dapat memberikan karakteristik penguatan pada material. Penelitian mengenai karakterisasi kulit kakao menunjukkan bahwa bahan tersebut dapat diproses menjadi tepung dengan karakteristik fisikokimia tertentu dan dimanfaatkan sebagai bahan penguat pada material komposit berbasis biopolimer (Barrios-Rodríguez et al., 2022). Penambahan fraksi kulit kakao pada material berbasis pati juga menunjukkan adanya pengaruh terhadap interaksi antara matriks dan bahan penguat.

Uraian pada paragraf di atas menunjukkan bahwa kulit kakao memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai komponen dalam material berbasis biomassa. Namun, penelitian yang dilakukan oleh (Posso et al., 2024) menyatakan bahwa penggunaan kulit kakao sebagai bahan tunggal memiliki tantangan dalam membentuk material yang memiliki struktur dan karakteristik sesuai untuk kemasan. Oleh karena itu, diperlukan kombinasi dengan bahan biopolimer yang dapat berfungsi sebagai matriks pembentuk. Salah satu bahan yang berpotensi digunakan adalah pati tapioka (Agarwal, 2021; Cabrera et al., 2022). Pati tapioka berasal dari singkong dan memiliki kemampuan membentuk matriks biopolimer serta bersifat biodegradable sehingga banyak diteliti untuk pengembangan material kemasan berbasis bahan alami. Penelitian (Raajeswari et al., 2025) menunjukkan bahwa pati tapioka dapat dikembangkan menjadi film biodegradable untuk aplikasi kemasan pangan. Penelitian tersebut mengevaluasi berbagai karakteristik film termasuk sifat mekanik, sifat penghalang terhadap uap air, sifat fisikokimia, serta kemampuan biodegradasinya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material berbasis pati tapioka memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai bahan kemasan biodegradable. Penelitian lainnya yang dilakukan oleh (Meza-Sepulveda et al., 2025) mengenai film biokomposit berbasis selulosa yang diekstraksi dari kulit kakao menunjukkan bahwa limbah kulit kakao dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan material biokomposit. Pemanfaatan selulosa dari kulit kakao menjadi salah satu pendekatan dalam mengubah limbah pertanian menjadi material bernilai tambah dan mendukung pengembangan material yang lebih berkelanjutan. Penelitian yang dilakukan oleh (Ricra et al., 2026) mendukung temuan tersebut dengan menyimpulkan bahwa kombinasi kulit kakao dan pati singkong memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai material biodegradable. Kulit kakao dapat berperan sebagai komponen berbasis serat atau bahan penguat, sedangkan pati tapioka dapat berperan sebagai matriks pembentuk. Kombinasi keduanya melalui proses rekayasa material diharapkan dapat menghasilkan biotray dengan struktur yang cukup kuat dan karakteristik yang sesuai untuk penggunaan sebagai wadah makanan (Posso et al., 2024; Meza-Sepulveda et al., 2025).

Meskipun penelitian mengenai kulit kakao dan pati sebagai material biodegradable telah dilakukan, masih terdapat peluang untuk mengembangkan bentuk produk berupa biotray dengan komposisi dan karakteristik yang disesuaikan untuk penggunaan sebagai wadah makanan (Jeong et al., 2022; Versino et al., 2023). Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada rekayasa biotray berbasis limbah kulit kakao dan pati tapioka serta pengujian karakteristiknya, khususnya pada tingkat ketahanan biotray terhadap air, terhadap paparan makanan panas selama 60 detik, kekuatan mekanik biotray, serta perubahan massa selama proses biodegradasi. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan inovasi pemanfaatan limbah kulit kakao dan pati tapioka menjadi biotray biodegradable. Penelitian ini juga diharapkan dapat meningkatkan nilai guna limbah pertanian, memanfaatkan sumber daya lokal, serta memberikan dasar ilmiah bagi pengembangan kemasan makanan berbasis biomassa yang lebih ramah lingkungan.

2. Metode

2.1. Bahan dan Peralatan

Beberapa bahan dan peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain meliputi limbah kulit kakao (Theobroma Cacao L.) yang diperoleh dari wilayah Poso Kota, Kabupaten Poso, Provinsi Sulawesi Tengah, serta pati tapioka, etanol, HCl, akuades, sorbitol, dan asam sitrat. Alat yang digunakan mencakup timbangan, pisau, blender, mixer, termometer, oven, timer, pipet ukur, kertas saring, wadah, corong, sarung tangan, dan cetakan stainless, rotary vacuum evaporator, hotplate, gelas kimia, serta spatula.

2.2. Preparasi Kulit Kakao

Preparasi Kulit Kakao. Kulit kakao basah sebanyak 10 kg terlebih dahulu dipotong menjadi bagian-bagian kecil untuk memperbesar luas permukaan sehingga proses penguapan air berlangsung lebih optimal. Sampel kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari selama 3 hari hingga kering. Kulit kakao kering selanjutnya dihaluskan menggunakan blender hingga diperoleh serbuk dengan ukuran partikel yang seragam (±100 mesh). Serbuk yang dihasilkan kemudian digunakan sebagai bahan baku untuk proses ekstraksi pektin, lignin, dan senyawa ekstraktif kulit kakao.

2.3. Ekstraksi Pektin.

Ekstraksi pektin dilakukan dengan mengacu pada metode yang dikembangkan oleh (Nurhidayat et al., 2023). Sebanyak 10 g serbuk kulit kakao dicampurkan dengan 200 mL larutan asam sitrat 25% (% b/v). Campuran kemudian dipanaskan menggunakan hot plate pada suhu 100 °C selama 60 menit sambil diaduk secara kontinu menggunakan magnetic stirrer untuk meningkatkan kontak antara pelarut dan matriks bahan. Setelah proses ekstraksi selesai, campuran didinginkan hingga kondisi yang memungkinkan untuk dilakukan penyaringan. Campuran selanjutnya disaring menggunakan corong dan kertas saring untuk memisahkan residu padat dari filtrat yang mengandung ekstrak pektin. Filtrat pektin yang diperoleh selanjutnya digunakan dalam proses pembuatan adonan biotray.

2.4. Ekstraksi Lignin.

Ekstraksi lignin dilakukan dengan mengadaptasi metode (Davidson et al., 2023). Sebanyak 10 g serbuk kulit kakao dimasukkan ke dalam campuran pelarut etanol dan larutan HCl

4 M sebanyak 10 mL. Campuran kemudian diekstraksi menggunakan sistem refluks selama 6 jam untuk membantu proses pelarutan dan pemisahan komponen lignin dari matriks kulit kakao. Setelah proses refluks selesai, campuran didinginkan hingga mencapai suhu ruang. Selanjutnya, campuran hasil ekstraksi disaring untuk memisahkan residu padat dan memperoleh filtrat yang mengandung ekstrak lignin. Filtrat lignin yang diperoleh kemudian digunakan sebagai bahan pelapis (coating) pada biotray.

2.5. Ekstraksi Senyawa Bioaktif Kulit Kakao.

Ekstraksi senyawa bioaktif dari kulit kakao dilakukan dengan mengadaptasi metode maserasi yang dilaporkan oleh Yesika et al. (2025). Serbuk kulit kakao dicampurkan dengan larutan etanol 70% dan akuades dengan perbandingan bahan terhadap pelarut sebesar 1:10. Campuran selanjutnya dimaserasi selama 24 jam pada kondisi yang sesuai untuk memungkinkan terjadinya proses difusi dan pelarutan senyawa ekstraktif dari matriks kulit kakao ke dalam pelarut. Setelah proses maserasi selesai, campuran disaring untuk memisahkan residu padat dari filtrat ekstrak. Filtrat yang diperoleh kemudian dipekatkan menggunakan rotary evaporator dan dilanjutkan dengan pemanasan menggunakan water bath hingga diperoleh ekstrak kulit kakao yang lebih pekat. Ekstrak tersebut selanjutnya digunakan sebagai salah satu komponen dalam pembuatan adonan biotray.

2.6. Pembuatan dan Pencetakan Adonan Biotray.

Pembuatan adonan biotray dilakukan dengan mencampurkan ekstrak kulit kakao yang diperoleh dari proses ekstraksi dengan pati tapioka pada tiga variasi perbandingan komposisi antara volume ekstrak : massa pati tapioka, yaitu 4:6, 5:5, dan 6:4. Masing-masing campuran kemudian ditambahkan filtrat pektin dalam jumlah tetap sebanyak 16,6 mL dan sorbitol sebanyak 8,3 mL, serta 2,5 mL akuades. Campuran selanjutnya dipanaskan menggunakan penangas pada suhu 70–80 °C sambil diaduk secara kontinu menggunakan magnetic stirrer hingga seluruh komponen tercampur secara homogen dan terbentuk adonan biotray dengan konsistensi yang sesuai untuk proses pencetakan. Adonan biotray yang telah homogen kemudian dituangkan secara merata ke dalam loyang atau cetakan. Selanjutnya, adonan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 75 °C selama 4 hari hingga diperoleh lembaran biotray yang telah mengeras dan memiliki bentuk sesuai cetakan. Biotray yang telah terbentuk kemudian dikeluarkan dari cetakan dan dilakukan proses penyempurnaan permukaan dengan mengaplikasikan filtrat lignin sebagai bahan coating. Filtrat lignin dioleskan secara merata pada permukaan biotray menggunakan kuas untuk membentuk lapisan pelindung sekaligus meningkatkan karakteristik permukaan biotray.

2.7. Uji Ketahanan Panas.

Uji ketahanan panas dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan biotray dalam mempertahankan karakteristik fisiknya ketika kontak dengan makanan panas. Sampel biotray terlebih dahulu ditimbang untuk memperoleh bobot awal (W_0), kemudian diberikan makanan panas dan didiamkan selama 60 detik. Setelah perlakuan selesai, sampel dibersihkan dari sisa makanan yang menempel dan ditimbang kembali untuk memperoleh bobot akhir (W_1). Perubahan massa biotray dihitung berdasarkan selisih bobot awal dan bobot akhir terhadap bobot awal sampel. Persentase perubahan massa dihitung menggunakan Persamaan (1):

$$Perubahan\ massa\ = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

dengan m_0 merupakan bobot awal sampel (g) dan m_1 merupakan bobot akhir sampel setelah perlakuan (g). Nilai perubahan massa yang diperoleh digunakan sebagai indikator perubahan bobot biotray setelah kontak dengan makanan panas.

2.8. Uji Ketahanan terhadap Air.

Uji ketahanan terhadap air dilakukan untuk mengetahui kemampuan biotray dalam mempertahankan integritas dan bobotnya ketika kontak dengan air. Sampel biotray terlebih dahulu ditimbang untuk memperoleh bobot awal (W_0), kemudian direndam dalam air selama 60 detik. Selama proses perendaman, perubahan fisik sampel diamati, meliputi perubahan bentuk, tekstur, dan tingkat kehancuran biotray. Setelah waktu perendaman tercapai, sampel diangkat dan ditiriskan hingga tidak terdapat air bebas pada permukaannya, kemudian ditimbang untuk memperoleh bobot akhir (W_1). Persentase perubahan massa atau kehilangan bobot sampel dihitung berdasarkan perbandingan antara selisih bobot awal dan bobot akhir terhadap bobot awal menggunakan Persamaan (2):

$$Daya\ serap\ air\ = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100\% \quad (2)$$

dengan W_0 merupakan bobot awal sampel (g) dan W_1 merupakan bobot akhir sampel setelah perendaman (g). Hasil pengujian digunakan untuk mengevaluasi stabilitas biotray terhadap paparan air.

2.9. Uji Kuat Tarik dan Elongasi.

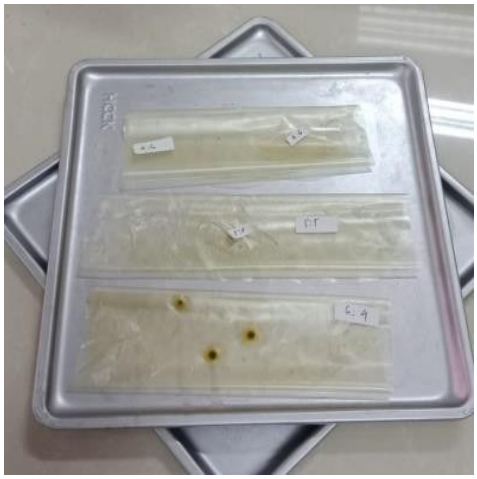
Sifat mekanik biotray dianalisis melalui pengujian kuat tarik dan elongasi menggunakan Universal Testing Machine (UTM) menggunakan metode standar mengacu pada standar ASTM (American Society for Testing and Materials) D638. Sampel biotray dipotong dengan ukuran 8 × 4 cm atau 80 × 40 mm. Sampel kemudian dipasang pada grip bagian atas dan bawah alat UTM dengan posisi sampel sejajar dan terpasang secara kuat untuk menghindari terjadinya slip selama pengujian. Sampel selanjutnya diberikan gaya tarik secara kontinu hingga mengalami deformasi dan putus. Selama pengujian, gaya maksimum yang diterima sampel dan perubahan panjang sampel direkam oleh instrumen. Data tersebut digunakan untuk menentukan nilai kuat tarik dan elongasi biotray sebagai parameter yang menggambarkan kekuatan serta kemampuan deformasi material sebelum mengalami kerusakan atau putus.

2.10. Uji Biodegradabilitas.

Uji biodegradabilitas dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan biotray mengalami proses penguraian secara biologis dengan mengadaptasi metode yang dilakukan oleh Prastyawati dan Sriyana (2024). Sampel biotray ditempatkan dalam larutan Effective Microorganism 4 (EM4) sebagai media yang mengandung mikroorganisme pengurai. Sampel kemudian dibiarkan selama 14 hari (2 minggu). Selama periode pengujian, perubahan fisik sampel diamati secara berkala, meliputi perubahan warna, bentuk, tekstur, dan tingkat kerusakan atau penguraian material. Pada akhir periode pengujian, kondisi sampel dibandingkan dengan kondisi awal untuk mengevaluasi tingkat biodegradasi biotray setelah terpapar mikroorganisme selama 14 hari.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menggunakan tiga sampel biotray hasil rekayasa dari limbah hasil pertanian dengan bahan dasar kulit kakao dan pati tapioka dengan variasi rasio 4:6, 5:5, dan 6:4. Ketiga sampel diuji untuk mengetahui karakteristiknya melalui empat pengujian utama, yaitu uji ketahanan air, uji ketahanan panas terhadap makanan, uji kuat tarik dan elongasi, serta uji biodegradasi. Pengujian ketahanan air dan panas dilakukan dengan mengukur berat sampel sebelum dan sesudah perlakuan, sedangkan pengujian biodegradasi dilakukan dengan mengamati proses penguraian sampel selama 2 minggu (14 hari), disertai pengamatan kualitatif terhadap perubahan tekstur, warna, dan bentuk fisik sampel. Sampel biotray yang telah disintesis dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Sampel biotray

3.1. Uji Ketahanan Panas dan Ketahanan Air

Hasil uji ketahanan panas dan ketahanan air pada sampel biotray dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2. Berdasarkan hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sampel biotray dengan perbandingan ekstrak kulit kakao dan pati tapioka 6:4 memiliki ketahanan panas paling baik, diikuti oleh perbandingan 4:6 dan 5:5. Perbedaan ketahanan panas tersebut menunjukkan bahwa komposisi bahan penyusun biotray memengaruhi stabilitas material ketika mengalami kontak dengan makanan panas. Peningkatan proporsi ekstrak kulit kakao pada formulasi 6:4 diduga berkontribusi terhadap terbentuknya matriks biopolimer yang lebih stabil sehingga mampu mempertahankan integritas struktur biotray selama kontak dengan panas. Komponen penyusun ekstrak kulit kakao, khususnya senyawa polimerik dan senyawa fenolik, dapat berinteraksi dengan gugus hidroksil dari pati dan pektin melalui ikatan hidrogen sehingga menghasilkan jaringan antarmolekul yang lebih kuat (Nurhadianty et al., 2026).

Pada formulasi 4:6, proporsi pati tapioka yang lebih tinggi menghasilkan matriks berbasis pati yang relatif lebih dominan. Pati dapat membentuk jaringan film melalui interaksi antarmolekul, tetapi keberadaan sorbitol sebagai plasticizer juga dapat meningkatkan mobilitas rantai polimer. Kondisi tersebut dapat menyebabkan struktur biotray menjadi lebih fleksibel dan berpotensi mengalami perubahan massa atau struktur ketika terpapar makanan panas. Sementara itu, formulasi 5:5 menunjukkan ketahanan panas paling rendah dibandingkan kedua formulasi lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa keseimbangan antara ekstrak kulit kakao dan pati pada rasio tersebut belum menghasilkan struktur matriks yang paling stabil terhadap perlakuan panas. Perbedaan tersebut kemungkinan berkaitan dengan tingkat interaksi antara komponen penyusun, distribusi bahan dalam matriks, serta pengaruh sorbitol dan pektin terhadap mobilitas rantai polimer. Dengan demikian, rasio 6:4 menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam mempertahankan kestabilan massa biotray setelah kontak dengan makanan panas selama 60 detik. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan proporsi ekstrak kulit kakao dalam formulasi tertentu berpotensi memberikan kontribusi positif terhadap stabilitas termal biotray. Namun, hubungan antara komposisi dan ketahanan panas perlu dipertimbangkan bersama hasil pengujian sifat mekanik (Tabel 1), ketahanan air (Tabel 2), dan biodegradabilitas untuk menentukan formulasi yang memiliki karakteristik paling sesuai sebagai material biotray.

Tabel 1. Hasil Uji Ketahanan Panas

Sampel	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Perubahan Massa (%)
4:6	0,9	1,0	11,11%
5:5	0,8	0,9	12,5%
6:4	0,8	0,8	0%

Tabel 2. Hasil Uji Ketahanan Air

Sampel	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Daya Serap Air (%)
4:6	0,2	1,9	850%
5:5	0,2	1,4	600%
6:4	0,2	1,19	495%

Hasil pengujian ketahanan terhadap air menunjukkan bahwa biotray dengan perbandingan 6:4 memiliki ketahanan terhadap air paling tinggi, diikuti oleh perbandingan 5:5 dan 4:6. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perubahan komposisi ekstrak kulit kakao dan pati tapioka memberikan pengaruh terhadap kemampuan biotray dalam mempertahankan integritas material ketika kontak dengan air. Formulasi 6:4 yang memiliki proporsi ekstrak kulit kakao lebih tinggi diduga menghasilkan struktur matriks yang lebih kompak sehingga penetrasi air ke dalam material dapat lebih terhambat. Interaksi antarkomponen penyusun melalui ikatan hidrogen dapat berkontribusi terhadap pembentukan struktur yang lebih rapat dan meningkatkan

stabilitas biotray selama proses perendaman. Ketahanan terhadap air pada biotray juga dipengaruhi oleh keberadaan pektin dan sorbitol dalam formulasi. Pektin dan pati memiliki sejumlah gugus hidroksil yang bersifat hidrofilik sehingga memungkinkan terjadinya interaksi dengan molekul air(Posso et al., 2024; Nguyen et al., 2024). Di sisi lain, sorbitol yang berfungsi sebagai plasticizer dapat meningkatkan mobilitas rantai polimer dan fleksibilitas material, tetapi keberadaan gugus hidroksilnya juga memungkinkan terjadinya interaksi dengan air(Chen et al., 2024; Nurazizah et al., 2019). Oleh karena itu, komposisi antara ekstrak kulit kakao, pati, pektin, dan sorbitol perlu berada pada proporsi yang sesuai agar terbentuk matriks dengan kemampuan menahan penetrasi air yang memadai.

Formulasi 4:6 menunjukkan ketahanan terhadap air paling rendah dibandingkan kedua formulasi lainnya. Tingginya proporsi pati tapioka pada formulasi tersebut diduga menyebabkan material memiliki kecenderungan lebih besar untuk berinteraksi dengan air. Pati merupakan biopolimer hidrofilik yang memiliki banyak gugus hidroksil, sehingga air dapat berdifusi ke dalam matriks dan menyebabkan pembengkakan atau perubahan struktur material. Kondisi tersebut dapat meningkatkan kehilangan massa maupun perubahan fisik biotray selama perendaman. Sementara itu, formulasi 5:5 menunjukkan karakteristik ketahanan terhadap air yang berada di antara formulasi 6:4 dan 4:6, yang mengindikasikan bahwa perubahan komposisi bahan menghasilkan tingkat interaksi air–matriks yang berbeda. Selain komposisi matriks, pelapisan menggunakan ekstrak lignin berpotensi memberikan kontribusi terhadap ketahanan biotray terhadap air. Lignin merupakan komponen aromatik yang relatif lebih hidrofobik dibandingkan pati dan pektin, sehingga lapisan lignin pada permukaan biotray dapat berfungsi sebagai penghalang terhadap masuknya air. Dengan demikian, ketahanan air yang lebih tinggi pada formulasi 6:4 kemungkinan merupakan hasil interaksi antara komposisi matriks dan keberadaan lapisan coating lignin pada permukaan biotray.

3.2. Uji Tarik dan Elongsi

Hasil pengujian kuat tarik menunjukkan bahwa biotray dengan perbandingan 6:4 memiliki nilai kuat tarik tertinggi, diikuti oleh perbandingan 5:5 dan 4:6. Kecenderungan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan proporsi ekstrak kulit kakao dalam formulasi biotray berpengaruh terhadap kekuatan struktur material. Nilai kuat tarik yang lebih tinggi pada formulasi 6:4 mengindikasikan terbentuknya matriks biopolimer yang relatif lebih kuat dan mampu menahan gaya tarik sebelum mengalami deformasi atau putus. Peningkatan kuat tarik pada formulasi 6:4 diduga berkaitan dengan interaksi antara komponen ekstrak kulit kakao, pati tapioka, dan pektin. Ketiga komponen tersebut memiliki gugus fungsional yang memungkinkan terjadinya interaksi antarmolekul, terutama melalui ikatan hidrogen. Interaksi tersebut dapat meningkatkan kohesi antarkomponen dan menghasilkan struktur matriks yang lebih kompak. Struktur yang lebih kompak menyebabkan gaya yang diberikan selama pengujian dapat didistribusikan dengan lebih baik ke seluruh bagian material, sehingga diperlukan gaya yang lebih besar untuk menyebabkan kerusakan pada biotray.

Pada formulasi 5:5, kuat tarik berada pada tingkat menengah. Komposisi yang lebih seimbang antara ekstrak kulit kakao dan pati tapioka memungkinkan terbentuknya matriks yang cukup kuat, tetapi interaksi antarkomponen belum menghasilkan kekuatan tarik yang setinggi formulasi 6:4. Sementara itu, formulasi 4:6 menunjukkan kuat tarik paling rendah. Tingginya proporsi pati tapioka pada formulasi ini dapat menghasilkan matriks yang lebih rentan terhadap deformasi, terutama karena pati memiliki sifat hidrofilik dan dapat berinteraksi dengan air dari lingkungan. Selain itu, keberadaan sorbitol sebagai plasticizer dapat meningkatkan mobilitas rantai polimer. Apabila jumlah plasticizer relatif tetap terhadap perubahan komposisi bahan utama, peningkatan fleksibilitas tersebut dapat menyebabkan penurunan kekuatan tarik material.

Hasil kuat tarik ini juga menunjukkan kecenderungan yang konsisten dengan hasil ketahanan panas dan ketahanan terhadap air, di mana formulasi 6:4 menunjukkan performa yang lebih tinggi dibandingkan formulasi 5:5 dan 4:6. Konsistensi tersebut mengindikasikan bahwa formulasi 6:4 kemungkinan menghasilkan struktur biotray yang lebih kompak dan stabil. Matriks yang lebih kompak tidak hanya dapat meningkatkan kemampuan material dalam menahan gaya mekanik, tetapi juga dapat membatasi perubahan struktur akibat paparan panas dan air. Dengan demikian, komposisi bahan penyusun merupakan salah satu faktor penting yang menentukan karakteristik fisik dan mekanik biotray berbasis kulit kakao. Namun demikian, kuat tarik tidak dapat digunakan sebagai satu-satunya parameter untuk menentukan formulasi yang paling sesuai. Nilai kuat tarik perlu dipertimbangkan bersama elongasi, ketahanan terhadap panas, ketahanan terhadap air, dan biodegradabilitas. Hal ini penting karena peningkatan kekuatan material dapat disertai dengan perubahan fleksibilitas. Oleh karena itu, hubungan antara kuat tarik dan elongasi pada masing-masing formulasi perlu dianalisis untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai sifat mekanik biotray.

Hasil pengujian elongasi menunjukkan bahwa biotray dengan perbandingan 5:5 memiliki nilai elongasi tertinggi, diikuti oleh perbandingan 4:6 dan 6:4 (Tabel 3). Nilai elongasi menggambarkan kemampuan biotray mengalami perubahan panjang atau deformasi sebelum mengalami putus. Dengan demikian, nilai elongasi yang lebih tinggi menunjukkan bahwa material memiliki fleksibilitas yang lebih besar ketika menerima gaya tarik. Tingginya nilai elongasi pada formulasi 5:5 diduga berkaitan dengan komposisi ekstrak kulit kakao dan pati tapioka yang relatif seimbang, sehingga memungkinkan terbentuknya matriks dengan kombinasi kekuatan dan fleksibilitas yang lebih baik. Keberadaan sorbitol sebagai plasticizer juga berperan dalam meningkatkan mobilitas rantai polimer melalui interaksi dengan gugus hidroksil pada pati dan pektin. Peningkatan mobilitas rantai tersebut memungkinkan matriks mengalami deformasi yang lebih besar sebelum terjadi kerusakan, sehingga menghasilkan nilai elongasi yang lebih tinggi.

Tabel 3. Hasil Uji Tarik dan Elongsi Sesuai ASTM D638

Sampel	Max. Point Load (N)	Max. Point Load (kgf)	Luas Penampang (mm^2)	Kekuatan Tarik (N/mm^2)	Elongation (mm)	Elongation (%)
4:6	6,0374	0,6158	6	1,0062	8,0899	16,1798
5:5	8,0305	0,8191	5	1,6061	29,58	59,16
6:4	6,6495	0,6782	4	1,6624	6,6799	13,3698

Pada formulasi 4:6, proporsi pati tapioka lebih tinggi sehingga material masih mampu mengalami deformasi sebelum putus, tetapi nilai elongasinya lebih rendah dibandingkan formulasi 5:5. Kondisi tersebut kemungkinan berkaitan dengan pembentukan matriks pati yang relatif lebih dominan. Interaksi antarmolekul dalam matriks dapat membatasi pergerakan rantai polimer sehingga kemampuan material untuk mengalami pemanjangan menjadi lebih rendah. Meskipun demikian, keberadaan sorbitol dan pektin tetap memberikan kontribusi terhadap fleksibilitas biotray sehingga formulasi 4:6 masih menunjukkan elongasi yang lebih tinggi dibandingkan formulasi 6:4. Formulasi 6:4 menghasilkan elongasi paling rendah, meskipun pada pengujian kuat tarik formulasi ini menunjukkan nilai tertinggi. Perbedaan tersebut menunjukkan adanya trade-off antara kekuatan dan fleksibilitas material. Struktur matriks yang lebih kuat dan kompak pada formulasi 6:4 dapat meningkatkan kemampuan material dalam menahan gaya tarik, tetapi pada saat yang sama membatasi pergerakan atau deformasi rantai polimer. Akibatnya, material membutuhkan gaya yang lebih besar untuk mengalami kerusakan, tetapi hanya mampu mengalami pemanjangan yang relatif lebih kecil sebelum putus. Dengan kata lain, formulasi 6:4 cenderung memiliki karakteristik yang lebih kuat, sedangkan formulasi 5:5 cenderung lebih fleksibel.

Hasil elongasi tersebut melengkapi hasil pengujian kuat tarik biotray. Formulasi 6:4 menunjukkan kuat tarik tertinggi tetapi elongasi terendah, sedangkan formulasi 5:5 menunjukkan elongasi tertinggi dengan kuat tarik pada tingkat menengah. Pola tersebut menunjukkan bahwa perubahan rasio ekstrak kulit kakao dan pati tapioka tidak hanya memengaruhi kekuatan mekanik, tetapi juga menentukan kemampuan deformasi biotray. Oleh karena itu, evaluasi sifat mekanik biotray perlu mempertimbangkan kedua parameter tersebut secara bersamaan karena material dengan kuat tarik tinggi belum tentu memiliki fleksibilitas yang tinggi. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa rasio 5:5 memberikan karakteristik fleksibilitas yang lebih tinggi, sedangkan rasio 6:4 memberikan karakteristik kekuatan tarik yang lebih tinggi. Perbedaan karakteristik tersebut menjadi pertimbangan penting dalam menentukan formulasi biotray sesuai dengan fungsi yang ditargetkan. Jika biotray ditujukan untuk mempertahankan bentuk dan menahan beban, kuat tarik menjadi parameter penting, sedangkan jika dibutuhkan material yang lebih fleksibel dan tidak mudah retak selama penanganan, elongasi perlu mendapat perhatian lebih besar.

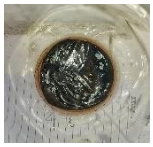
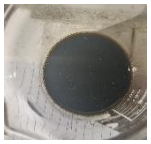
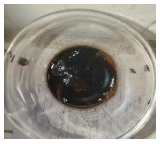
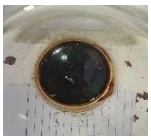
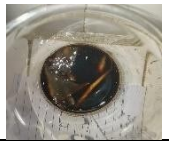
3.3. Uji Biodegradasi

Pengujian biodegradasi dilakukan dengan merendam setiap sampel biotray ke dalam 50 mL larutan EM4 selama 14 hari untuk mengakselerasi aktivitas dekomposisi oleh mikroorganisme. Larutan EM4 mengandung mikroorganisme fermentatif, di antaranya bakteri genus Lactobacillus, fungi fermentasi, actinomycetes, bakteri fotosintetik, bakteri pelarut fosfat, dan ragi yang bekerja melalui proses dekomposisi aerobik maupun anaerobik sehingga efektif digunakan untuk mempercepat pengujian biodegradasi material berbasis pati(Prastyawati & Sriyana, 2024). Parameter degramadasi diamati secara kualitatif melalui perubahan tekstur dan tingkat kerapuhan sampel yang dipantau setiap 2 hari sekali selama masa perendaman.

Hasil pengujian yang diperoleh berdasarkan Tabel 4, menunjukkan perbedaan laju biodegradasi yang berbeda pada ketiga formulasi. Sampel dengan rasio 5:5 menunjukkan tingkat responsivitas tertinggi terhadap aktivitas mikroorganisme pengurai, dengan penguraian penuh tercapai pada hari ke-8. Sampel rasio 4:6 menyusul dengan waktu penguraian penuh pada hari ke-12. Sementara itu, sampel rasio 6:4 menunjukkan resistensi tertinggi terhadap degradasi mikroba dengan proses penguraian baru mendekati sempurna pada hari ke-14 yaitu batas akhir masa pengujian. Hasil pengamatan visual selama 14 hari perendaman dalam larutan EM4 menunjukkan bahwa seluruh variasi biotray mengalami degradasi fisik secara bertahap, yang ditandai dengan perubahan warna menjadi lebih gelap/keruh, pelunakan tekstur, hilangnya keutuhan bentuk, hingga fragmentasi matriks. Sampel dengan rasio 5:5 mengalami disintegrasi fisik secara menyeluruh pada hari ke-8, diikuti oleh sampel 4:6 pada hari ke-12, sedangkan sampel 6:4 mencapai tingkat kerusakan mendekati sempurna pada hari ke-14. Percepatan degradasi pada formulasi 5:5 diduga terjadi karena keseimbangan komposisi pektin-lignin dan pati tapioka membentuk struktur jaringan yang lebih berpori sehingga mempermudah penetrasi cairan dan enzim hidrolitik dari konsorsium mikroba (seperti Lactobacillus sp. dan Saccharomyces sp.) dalam larutan EM4. Sebaliknya, perlambatan disintegrasi pada sampel 6:4 hingga hari ke-14 disebabkan oleh dominasi fraksi lignin kulit kakao yang bersifat hidrofobik dan memiliki struktur aromatik kompleks yang lebih resisten terhadap serangan enzimatik mikroorganisme. Meskipun pengamatan ini merepresentasikan tahap disintegrasi makroskopis dan belum mengukur mineralisasi karbon secara kuantitatif, laju kerusakan fisik dalam rentang 8–14 hari

menunjukkan bahwa biotray memiliki potensi terurai secara alami jauh lebih cepat dibandingkan plastik konvensional.

Tabel 4. Hasil Uji Biodegradasi

Sampel	Hari ke-0	Hari ke-4	Hari ke-8	Hari ke-12	Hari ke-14
4:6					
5:5					
6:4					

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, biotray berbasis kulit kakao dan pati tapioka dengan variasi rasio 4:6, 5:5, dan 6:4 berhasil dibuat dan menunjukkan karakteristik fisik-mekanik yang berbeda pada setiap formula. Sampel dengan rasio 6:4 yang memiliki kandungan kulit kakao paling tinggi menunjukkan ketahanan air, ketahanan panas, dan kuat tarik tertinggi di antara ketiga formulasi, yang mengindikasikan bahwa peningkatan proporsi kulit kakao berkontribusi terhadap penguatan struktur matriks dan peningkatan sifat penghalang biotray. Meski demikian, sampel ini menunjukkan nilai elongasi terendah serta laju biodegradasi paling rendah di mana sampel belum terurai sepenuhnya hingga akhir masa pengujian pada hari ke-14. Sampel dengan rasio 5:5 menunjukkan elongasi tertinggi dan laju biodegradasi tercepat, yaitu terurai sepenuhnya pada hari ke-8, mengindikasikan bahwa komposisi seimbang antara komponen kulit kakao dan pati tapioka menghasilkan struktur matriks dengan porositas yang cukup untuk aksesibilitas mikroorganisme pengurai tanpa disertai penurunan kekuatan tarik atau elongasi secara signifikan. Sampel dengan rasio 4:6, yang memiliki proporsi kulit kakao paling rendah menunjukkan nilai terendah pada sebagian besar parameter fisik juga mekanik dan terurai sepenuhnya pada hari ke-12. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan hubungan berbanding terbalik antara ketahanan mekanik (ketahanan air, panas, dan kuat tarik) dengan kemampuan biodegradasi biotray, di mana sampel dengan ketahanan fisik yang lebih tinggi menunjukkan resistensi yang lebih besar terhadap proses penguraian.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan kontribusi selama pelaksanaan penelitian hingga penyusunan artikel ini. Apresiasi juga disampaikan kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyediaan fasilitas, pelaksanaan eksperimen, serta pemberian masukan yang bermanfaat bagi penyempurnaan artikel ini.

Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan bahwa tidak ada konflik kepentingan yang terkait dengan penelitian ini.

Kontribusi Penulis

Ririn Tri Noviana: metodologi, penulisan naskah awal, visualisasi, analisis data. Gabriel Pratama Tondolipu: metodologi, penulisan naskah awal, analisis formal. Ni Made Kesumasari: metodologi, penulisan naskah awal, analisis data, penulisan - tinjauan & penyuntingan.

Daftar Pustaka

Agarwal, S. (2021). Major factors affecting the characteristics of starch based biopolymer films. European Polymer Journal, 160, 110788. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2021.110788

Ali, Z., Abdullah, M., Yasin, M. T., Amanat, K., Ahmad, K., Ahmed, I., Qaisrani, M. M., & Khan, J. (2024). Organic waste-to-bioplastics: Conversion with eco-friendly technologies and approaches for sustainable environment. Environmental Research, 244, 117949. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117949

Barrios-Rodríguez, Y. F., Salas-Calderón, K. T., Orozco-Blanco, D. A., Gentile, P., & Girón-Hernández, J. (2022). Cocoa Pod Husk: A High-Pectin Source with Applications in the Food and Biomedical Fields. ChemBioEng Reviews, 9(5), 462–474.

https://doi.org/https://doi.org/10.1002/cben.202100061

Cabrera, S. F., Pighin, A., Chiana, M. L., Passeggi Jr., M. C. G., Ruano, G. D., Gugliotta, L. M., Ronco, L. I., & Minari, R. J. (2022). Synergistic combination between starch and proteins in the synthesis of new acrylic/biopolymers hybrid latexes. Journal of Polymer Science, 60(24), 3420–3434. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/pol.20220107

Campos-Vega, R., Nieto-Figueroa, K. H., & Oomah, B. D. (2018). Cocoa (Theobroma cacao L.) pod husk: Renewable source of bioactive compounds. Trends in Food Science & Technology, 81, 172–184. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.09.022

Chen, Y., Wang, J., Xu, L., Nie, Y., Ye, Y., Qian, J., Liu, F., & Zhang, L. (2024). Effects of Different Plasticizers on the Structure, Physical Properties and Film Forming Performance of Curdlan Edible Films. In Foods (Vol. 13, Issue 23, p. 3930). https://doi.org/10.3390/foods13233930

Davidson, D. J., Lu, F., Faas, L., Dawson, D. M., Warren, G. P., Panovic, I., Montgomery, J. R. D., Ma, X., Bosilkov, B. G., Slawin, A. M. Z., Lebl, T., & Chatzifragkou, A. (2023). Organosolv pretreatment of cocoa pod husks: isolation, analysis and use of lignin from an abundant waste product. American Chemical Society Sustainable Chemistry & Engineering, 11(39), 14323–14333. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c03670

Holguín Posso, A. M., Macías Silva, J. C., Castañeda Niño, J. P., Mina Hernandez, J. H., & Fajardo Cabrera de Lima, L. D. (2024). Characterization and Implementation of Cocoa Pod Husk as a Reinforcing Agent to Obtain Thermoplastic Starches and Bio-Based Composite Materials. In Polymers (Vol. 16, Issue 11, p. 1608). https://doi.org/10.3390/polym16111608

Jeong, C.-H., Lee, S.-H., & Kim, H.-Y. (2022). Analysis of Food Storage Stability of Biodegradable Containers Made of Pork Skin Gelatin Polymer with Walnut Shell Powder. In Polymers (Vol. 14, Issue 10, p. 1940). https://doi.org/10.3390/polym14101940

Meza-Sepulveda, D. C., Hernandez-Urrea, C., Sanchez Rivera, J. P., & Agudelo Serna, L. D. (2025). Biocomposite film formulated with cellulose extracted from cocoa pod husk. Cellulose, 32(13), 7591–7602. https://doi.org/10.1007/s10570-025-06642-4

Nguyen, V.-L., Tran, M.-T., Nguyen-Thi, T.-D., Nguyen, M.-A., Le, M.-T., Nguyen, T.-M., & Nguyen, Q.-D. (2024). Valorization of cocoa (Theobroma cacao L.) pod husks as a fruit pulp substitute in mango jam formulations: effects on jam qualities during storage and sensory discrimination††Electronic supplementary information (ESI) available. See DOI: https://doi.org/10.1039/d4fb00331d. Sustainable Food Technology, 3(1), 333–342. https://doi.org/https://doi.org/10.1039/d4fb00331d

Nurazizah, Amraini, S. J., & Bahruddin. (2019). Pengaruh sorbitol terhadap karakteristik bioplastik berbasis pati sagu-polivinil alkohol (pva) dengan menambahkan kitosan sebagai. Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Dan Sains, 6, 1–8.

Nurhadianty, V., Setiadi, T., Handojo, L. A., & Putrawan, I. D. G. A. (2026). Ambient ultrasound-assisted extraction of pectin from cocoa pod husk using tartaric acid and evaluation of its film-forming properties. South African Journal of Chemical Engineering, 58, 100990. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sajce.2026.100990

Nurhidayat, Tamrin, & Asyik, N. (2023). Ekstraksi dan Karakterisasi Pektin Pada Kulit Buah Kakao (Theobroma cacao L.) Berdasarkan Perbedaan Tingkat Kematangan Buah. Jurnal Riset Pangan, 1(1), 78–95.

Prastyawati, S., & Sriyana, H. Y. (2024). Sintesis Plastik Biodegradable Dari Pati Ganyong Dengan Modifikasi Kasein Susu Afkir Dan Plasticizer Sorbitol Synthesis Of Biodegradable Plastic From Canna Starch With Modification Of Afkir Milk Casein And Sorbitol Plasticizer. 6(2), 61–71.

Raajeswari, P., Manivel, D., Dhanapal, A. C. T. A., Menkinoska, M., Pavlovska, G., Helal, M., Sami, R., Alsanei, W. A., Alessa, F. M., Trajkovska Petkoska, A., & Qari, S. H. (2025). Sustainable biodegradable tapioca starch films enhanced with basil oil, carboxymethyl cellulose, and citric acid for functional food packaging applications. Frontiers in Sustainable Food Systems, Volume 9-2025. https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1610769

Ricra, O., Liviac, D., & Reategui, O. (2026). Evaluation of the Biodegradability of Plastic Polymers Made From Residual Cocoa Husk (Theobroma cacao L.) and Cassava Starch (Manihot esculenta), Lima, Peru. Advances in Materials Science and Engineering, 2026(1), 6017152. https://doi.org/https://doi.org/10.1155/amse/6017152

Riseh, R. S., Vazvani, M. G., Hassanisaadi, M., & Thakur, V. K. (2024). Agricultural wastes: A practical and potential source for the isolation and preparation of cellulose and application in agriculture and different industries. Industrial Crops and Products, 208, 117904. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117904

Versino, F., Ortega, F., Monroy, Y., Rivero, S., López, O. V, & García, M. A. (2023). Sustainable and Bio-Based Food Packaging: A Review on Past and Current Design

Innovations. In Foods (Vol. 12, Issue 5, p. 1057). https://doi.org/10.3390/foods12051057

Yesika, R., Andika, M., Desnita, E., & Marsellinda, E. (2025). Efek Analgetik Ekstrak Etanol Daun Afrika (Vernonia Amygdalina Del.) pada Mencit Putih Jantan dengan Metode Writhing Reflex Test: Analgetic Effect of Etanol Extract African Leaves (Vernonia Amygdalina Del.) on White Rats Using Writhing Reflex Test Method. JURNAL FARMASI DAN MAKANAN, Vol 8 No 2 (2025): Journal of Pharmacy and Science, 181–187.