



ARTIKEL PENELITIAN

Sintesis bioplastik dari pati sago dengan penambahan selulosa limbah kertas dan *plasticizer* gliserol–sorbitol

Wiza Ulfa Fibarzi^{1,3,*}, Rizka Nurlaila^{1,3}, Raudhatul Ulfa¹, Yohana Dian Putri², Suci Luthphia Masri¹, Vivi Febry Katanti¹

¹Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Malikussaleh, Jl. Jalan Batam, Blang Pulo, Muara Satu, Lhokseumawe, Aceh, 24352, Indonesia

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Malikussaleh, Jl. Jalan Batam, Blang Pulo, Muara Satu, Lhokseumawe, Aceh, 24352, Indonesia

³PUI-PT Technoplast, Universitas Malikussaleh, Jl. Jalan Batam, Blang Pulo, Muara Satu, Lhokseumawe, Aceh, 24352, Indonesia

Disubmit 29 Oktober 2025; direvisi 16 March 2026; diterima 12 Mei 2026



This graphical abstract was generated using AI-based image generation tools for conceptual illustration only.

OBJECTIVES Bioplastics are environmentally friendly materials that can naturally degrade and therefore have the potential to replace petroleum-based plastics. Although various studies have combined cellulose and plasticizers in bioplastic formulations, studies on the use of sago starch as a matrix with a dual plasticizer system of glycerol–sorbitol are still limited. This study aimed to evaluate the effect of variations in waste paper cellulose mass and total glycerol–sorbitol plasticizer volume (1:1) on the mechanical properties, water absorption, and biodegradability of sago starch-based bioplastics. **METHODS** Bioplastics were prepared using cellulose mass variations of 0, 1, 2, and 3 g and plasticizer volumes (glycerol+sorbitol) of 2, 3, 4, and 5 mL. The bioplastics were characterized through water absorption analysis, mechanical property analysis, and biodegradability testing. The extracted cellulose fibers were also analyzed for functional groups using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). **RESULTS** FTIR analysis confirmed the presence of characteristic cellulose functional groups such as O–H and C–H, indicating the successful extraction of cellulose from waste paper. The results showed that increasing the plasticizer volume and cellulose addition affected the mechanical properties and water absorption behavior of the bioplastics. The best formu-

lation was obtained with the addition of 3 g cellulose and 5 mL plasticizer, resulting in a tensile strength of 4.08 MPa, Young's modulus of 74.85 MPa, elongation of 5.74%, and a swelling value of 29.50%, which met the water resistance criteria. All samples also demonstrated good biodegradability in accordance with SNI 7188.7:2016. **CONCLUSIONS** Overall, the utilization of cellulose derived from paper waste combined with glycerol–sorbitol plasticizers successfully produces bioplastics with adequate mechanical properties, controlled water resistance, and high biodegradability. This formulation demonstrates strong potential as an environmentally friendly packaging material to replace conventional plastics.

KEYWORDS biodegradability; bioplastic; cellulose; sago starch; waste paper

TUJUAN Bioplastik merupakan material ramah lingkungan yang dapat terdegradasi secara alami sehingga berpotensi menggantikan plastik berbasis petrokimia. Meskipun berbagai penelitian telah mengombinasikan selulosa dan *plasticizer* dalam formulasi bioplastik, kajian mengenai penggunaan pati sago sebagai matriks dengan sistem *plasticizer* ganda gliserol–sorbitol masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi massa selulosa limbah kertas dan total volume *plasticizer* gliserol–sorbitol (1:1) terhadap sifat mekanik, daya serap air, dan biodegradabilitas bioplastik berbasis pati sago. **METODE** Bioplastik dibuat menggunakan variasi massa selulosa sebesar 0, 1, 2, dan 3 gram serta volume *plasticizer* (gliserol+sorbitol) yaitu 2, 3, 4, dan 5 ml. Karakterisasi pada bioplastik meliputi analisa daya serap air, analisa sifat mekanik bioplastik, dan analisa biodegradabilitas. Serat selulosa yang dihasilkan juga dilakukan pengujian gugus fungsi menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*). **HASIL** Hasil FTIR menunjukkan keberadaan gugus fungsi khas selulosa seperti O–H dan C–H yang mengindikasikan keberhasilan proses ekstraksi selulosa dari limbah kertas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan volume *plasticizer* dan penambahan selulosa mempengaruhi sifat mekanik dan daya serap air bioplastik. For-

*Korespondensi: wizaulfa@unimal.ac.id

mulasi terbaik diperoleh pada penambahan 3 gram selulosa dan 5 mL *plasticizer* dengan kekuatan tarik sebesar 4,08 MPa, *modulus Young* 74,85 MPa, *elongasi* 5,74%, serta nilai *swelling* 29,50% yang memenuhi kriteria ketahanan air. Seluruh sampel juga menunjukkan kemampuan biodegradasi yang baik sesuai SNI 7188.7:2016. **KESIMPULAN** Secara keseluruhan, pemanfaatan selulosa dari limbah kertas dengan penambahan *plasticizer* gliserol–sorbitol mampu menghasilkan bioplastik dengan sifat mekanik yang cukup baik, ketahanan air yang terkontrol, serta tingkat biodegradabilitas yang tinggi. Formulasi ini memiliki potensi kuat sebagai bahan kemasan ramah lingkungan pengganti plastik konvensional.

KATA KUNCI biodegradabilitas; bioplastik; limbah kertas; pati sagu; selulosa.

1. PENDAHULUAN

Plastik berbasis petrokimia menimbulkan masalah lingkungan yang serius karena sifatnya yang sulit terdegradasi, sehingga berkontribusi pada pencemaran tanah, air, dan biota laut. Di Indonesia, konsumsi plastik terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan aktivitas industri, sedangkan pengelolaan limbahnya masih terbatas. Kondisi ini mendorong pengembangan bioplastik sebagai alternatif ramah lingkungan yang berasal dari bahan terbarukan dan dapat terurai secara alami. Pati sagu merupakan salah satu bahan utama yang menjanjikan karena melimpah di Indonesia, namun bioplastik berbasis pati murni umumnya memiliki kekuatan mekanik rendah dan sifat hidrofilik tinggi. Oleh karena itu, diperlukan *filler* dan *plasticizer* yang tepat untuk meningkatkan fleksibilitas dan kekuatan mekanik (Ojsadmin dkk. 2020).

Salah satu penguat (*filler*) yang potensial adalah selulosa dari limbah kertas. Limbah kertas dipilih sebagai sumber selulosa karena kandungan selulosanya yang tinggi (sekitar 40–60 %), ketersediaannya yang melimpah, serta proses ekstraksinya yang relatif sederhana melalui pemutihan bebas klorin dan hidrolisis asam/alkali (Mohammed Irfan dkk. 2026). Indonesia sendiri mencatat konsumsi kertas yang terus meningkat, sehingga pemanfaatan limbah kertas untuk bioplastik dapat mengurangi timbulan sampah sekaligus mendukung ekonomi sirkular (ResourceWise 2022). Penambahan selulosa dari limbah kertas juga terbukti memperbaiki kekuatan tarik dan menurunkan laju penyerapan air pada bioplastik (Delgado-Orti dkk. 2024).

Selain penguatan dengan selulosa, penambahan *plasticizer* diperlukan agar bioplastik menjadi fleksibel. Gliserol dan sorbitol banyak dipilih karena sifatnya yang hidrofilik, tidak beracun, mudah dicampur dengan pati, serta telah diakui aman untuk aplikasi pangan (GRAS). Gliserol memberikan fleksibilitas tinggi dan kemudahan pemrosesan, sedangkan sorbitol mampu meningkatkan kekuatan tarik, menurunkan permeabilitas air, serta memperlambat laju degradasi dibanding *plasticizer* tunggal (Paudel dkk. 2023; Ojsadmin dkk. 2020). Kombinasi gliserol–sorbitol memungkinkan terciptanya keseimbangan antara elastisitas, ketahanan air, dan stabilitas termal, sehingga menghasilkan bioplastik dengan performa lebih baik daripada penggunaan salah satu *plasticizer* saja (Sirbu dkk. 2024).

Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan pengaruh signifikan dari *plasticizer* dan *filler* terhadap sifat bi-

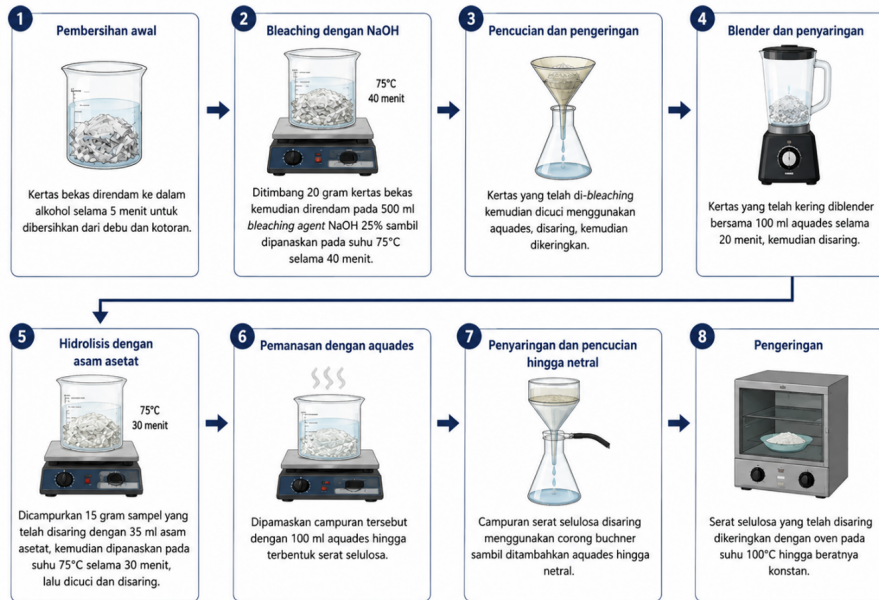
oplastik. Kamaluddin dkk. (2022) meneliti pengaruh *plasticizer* terhadap bioplastik yang dibuat dari selulosa limbah kertas dan menemukan bahwa penambahan *plasticizer* dapat menurunkan kekuatan tarik hingga 3,29 N/mm², tetapi meningkatkan elastisitas film. Dewi dkk. (2021) juga melaporkan bahwa bioplastik dari pati jagung dengan tambahan serat selulosa limbah kertas dan gliserol memiliki kekuatan tarik sebesar 1,65 MPa dan *elongasi* 25 %, namun masih menunjukkan daya serap air yang cukup tinggi.

Rafika dkk. (2023) melaporkan bahwa peningkatan konsentrasi gliserol berpengaruh nyata terhadap sifat mekanik dan biodegradabilitas bioplastik. Pada formulasi optimum, diperoleh kekuatan tarik sebesar 2,864 MPa, *elongasi* 120,47%, dan modulus elastisitas 2,377 MPa, dengan daya serap air 39,06% dan tingkat biodegradasi dalam tanah mencapai 82,23% setelah 20 hari penguburan. Hasil ini menegaskan bahwa peningkatan jumlah gliserol dapat memperbaiki fleksibilitas dan kemampuan terdegradasi bioplastik, namun menurunkan kekuatan tarik karena meningkatnya jarak antar rantai polimer. Penelitian Hamzah dkk. (2024) menunjukkan bahwa variasi penggunaan gliserol dan sorbitol sebagai *plasticizer* pada bioplastik berbasis pati ubi Mboite berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanik dan biodegradasinya. Gliserol menghasilkan kekuatan tarik tertinggi sekitar 56,12 MPa dengan *elongasi* 5,23 %, sedangkan sorbitol memberikan kekuatan tarik lebih tinggi sekitar 70,66 MPa dan *elongasi* 7,85 %. Dari uji biodegradasi, film dengan sorbitol terurai lebih cepat (61,4 % dalam ±11 hari) dibandingkan gliserol (46,9 % dalam ±14 hari). Hasil ini menunjukkan bahwa gliserol meningkatkan fleksibilitas, sedangkan sorbitol memperkuat struktur dan mempercepat degradasi bioplastik, sehingga kombinasi keduanya berpotensi menghasilkan sifat terbaik yang seimbang antara kekuatan, kelenturan, dan biodegradabilitas.

Meskipun beberapa penelitian telah mengombinasikan *filler* selulosa dan *plasticizer* dalam formulasi bioplastik, penggunaan pati sagu sebagai matriks biopolimer, selulosa limbah kertas sebagai *filler*, serta sistem *plasticizer* ganda gliserol–sorbitol masih relatif terbatas (Dewi dkk. 2021), misalnya, menggunakan selulosa limbah kertas dan gliserol pada matriks pati jagung, namun masih menggunakan *plasticizer* tunggal dan menghasilkan daya serap air yang relatif tinggi.

Berdasarkan literatur, gliserol berperan meningkatkan fleksibilitas film, sedangkan sorbitol meningkatkan kekuatan mekanik dan menurunkan permeabilitas air (Hamzah dkk. 2024; Paudel dkk. 2023). Oleh karena itu, kombinasi gliserol–sorbitol dengan rasio tetap 1:1 diperkirakan dapat menghasilkan bioplastik dengan sifat yang lebih seimbang. Dalam penelitian ini, rasio gliserol–sorbitol dipertahankan tetap sebesar 1:1, sedangkan total volume *plasticizer* divariasikan untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap karakteristik bioplastik.

Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada pengembangan bioplastik berbasis pati sagu dengan penambahan selulosa limbah kertas dan *plasticizer* gliserol–sorbitol, serta pengkajian pengaruh variasi massa selulosa dan volume *plasticizer* terhadap sifat mekanik, daya serap air, dan biodegradabilitas bioplastik.



GAMBAR 1. Tahapan proses pembuatan serat selulosa asetat dari limbah kertas.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Alat dan bahan

Pada pembuatan bioplastik, bahan yang digunakan meliputi limbah kertas HVS, alkohol 96% (Brataco), larutan NaOH 25% (Merck), aquades, aseton (Merck), asam asetat/CH₃COOH glasial (Merck), pati sagu (Cap Orang Tani), gliserol (Merck), dan sorbitol (Merck).

Peralatan yang digunakan mencakup gelas beaker 250 mL (Pyrex), neraca digital (Ohaus), hot plate dengan magnetic stirrer (IKA C-MAG HS 7), saringan 80 mesh, blender, gelas ukur 10 mL (Pyrex), aluminium foil, batang pengaduk kaca, pH meter, cetakan bioplastik kaca berukuran 15x15 cm (custom glass mold), oven pengering (Memmert).

2.2 Prosedur penelitian

Prosedur penelitian ini terdiri dari tiga tahapan utama, yaitu pembuatan selulosa asetat, pembuatan bioplastik, dan tahap analisa.

2.2.1 Pembuatan selulosa asetat

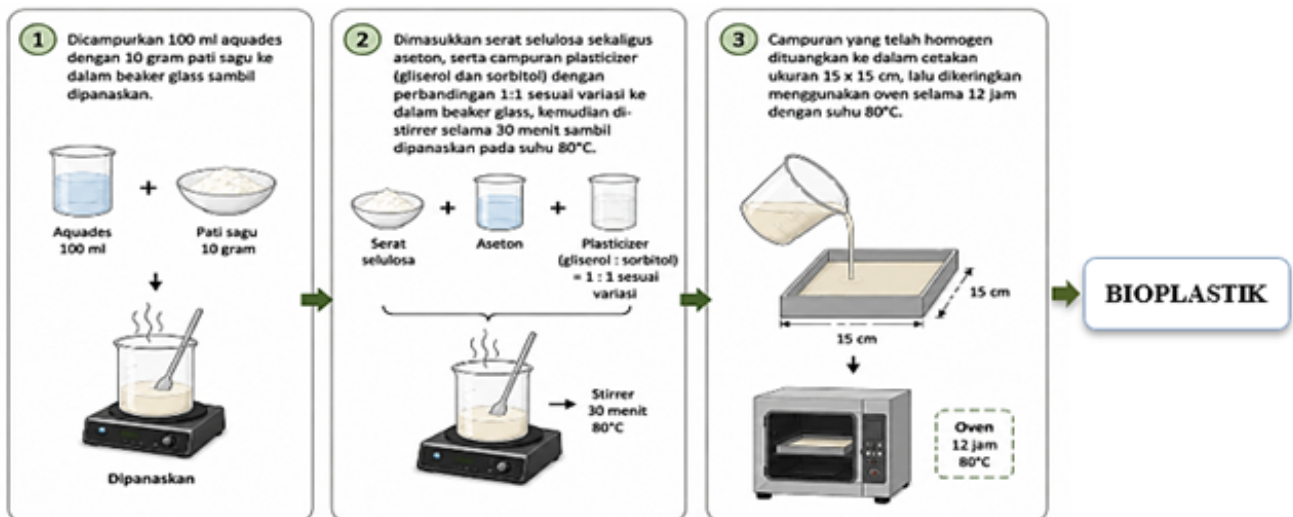
Tahapan proses pembuatan selulosa asetat dari limbah kertas ditunjukkan pada Gambar 1.

Pada Gambar 1 merupakan tahapan proses pembuatan serat selulosa asetat yang berasal dari limbah kertas. Selulosa yang diperoleh selanjutnya dianalisis menggunakan metode FTIR untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terbentuk, kemudian hasilnya dibandingkan dengan karakteristik selulosa komersial sebagai acuan.

2.2.2 Pembuatan bioplastik

Tahapan proses pembuatan bioplastik ditunjukkan pada Gambar 2.

Bioplastik yang dihasilkan selanjutnya dilakukan beberapa pengujian karakteristik, meliputi analisa daya serap air (*derajat swelling*), kuat tarik (*tensile strength*), perpanjangan saat putus (*elongasi*), serta elastisitas (*Modulus Young*) untuk mengetahui kualitas dan sifat mekanik bioplastik yang diha-



GAMBAR 2. Tahapan proses pembuatan serat selulosa asetat dari limbah kertas.

silkan.

2.2.3 Prosedur analisa sampel

Analisa gugus fungsi pada serat selulosa asetat

Analisa gugus fungsi serat selulosa dilakukan menggunakan instrumen Shimadzu IRTracer-100 *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Sampel serat selulosa dianalisis pada rentang bilangan gelombang 4000-400 cm⁻¹ untuk mengidentifikasi gugus fungsi berdasarkan puncak serapan yang terbentuk. Hasil spektrum FTIR kemudian dibandingkan dengan selulosa komersial sebagai referensi.

Analisa daya serap air (Derajat swelling)

1. Sampel ditimbang sebagai berat awal (W₀).
2. Air suling dimasukkan ke dalam gelas beker 100 mL, kemudian sampel bioplastik diredam.
3. Sampel diangkat setelah 10 detik, lalu ditimbang sebagai berat akhir (W).
4. Proses perendaman dan penimbangan diulangi setiap 10 detik hingga diperoleh berat konstan.
5. Nilai derajat *swelling* dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Da\% = \frac{W_f - W_i}{W_i} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

W_f = massa bioplastik setelah perendaman (g)

W_i = massa awal bioplastik (g)

Analisa biodegradabilitas

1. Analisa biodegradabilitas dilakukan mengacu pada standar ASTM G21-70 dengan metode penguburan langsung dalam tanah.
2. Sampel bioplastik dipotong berukuran 5 × 2,5 cm dan ditimbang sebagai massa awal (W₀).

3. Sampel dikubur dalam tanah sedalam 30 cm.
4. Setelah itu, sampel diangkat, dibersihkan, dan ditimbang kembali sebagai massa akhir (W).
5. Nilai biodegradabilitas dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\%W = \frac{M_0 - M_i}{M_0} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

M₀ = Berat Kering Awal (g)

M_i = Berat Kering Akhir (g)

Analisa kuat tarik

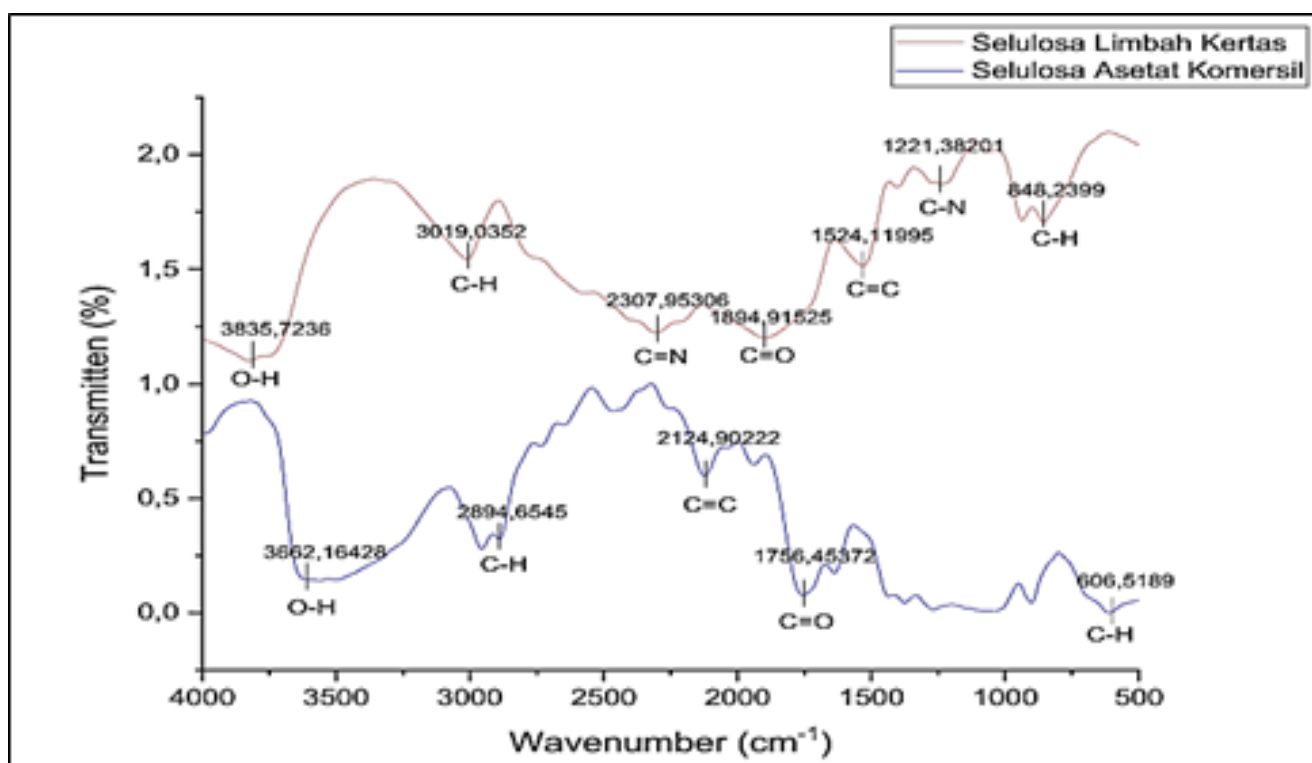
1. Dimensi spesimen diukur sebelum pengujian dilakukan.
2. Spesimen dipasang pada alat uji tarik dan dipastikan terjepit dengan baik.
3. Pengujian dilakukan dengan beban bertahap sebesar 250 N hingga spesimen patah.
4. Setelah spesimen putus, dicatat gaya tarik maksimum dan pertambahan panjang yang terjadi.
5. Pengujian diulangi pada spesimen lainnya.
6. Nilai kuat tarik dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (3)$$

Analisa perpanjaan (Elongasi)

Nilai elongasi dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\epsilon = \frac{I_t - I_0}{I_0} \times 100\% \quad (4)$$



GAMBAR 3. Hasil FTIR selulosa asetat komersil dan selulosa limbah kertas.

TABEL 1. Analisa ketahanan bioplastik pada variasi massa selulosa dan volume *plasticizer*.

Komposisi Sampel		Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Daya Serap Air (%)
Selulosa (gr)	Plasticizer (ml)			
0	2	0,7442	0,9589	28,84977
	3	0,6814	0,8698	27,64896
	4	0,7362	0,8764	19,04374
	5	0,9288	1,0754	15,78381
1	2	0,7512	0,9718	29,36635
	3	0,7223	0,9074	25,62647
	4	0,7541	0,9294	23,24625
	5	0,491	0,6007	22,34216
2	2	0,6656	0,8851	32,97776
	3	0,7103	0,9133	28,57947
	4	0,8508	1,0822	27,19793
	5	0,7013	0,8796	25,42421
3	2	0,7352	1,0491	42,69587
	3	0,6513	0,9061	39,12176
	4	0,9667	1,3272	37,29182
	5	0,7341	0,9507	29,50552

$$\epsilon = \frac{\text{Stoke}}{I_0} \times 100 \quad (5)$$

Keterangan :

ϵ = Kemuluran (%)

Stoke = Regangan (mm/menit)

I_0 = Panjang specimen mula-mula (mm)

I_t = Panjang specimen setelah diberi beban (mm)

Analisa elastisitas (Modulus Young)

1. Data kuat tarik dan perpanjangan saat putus diperoleh dari hasil pengujian.
2. Nilai Modulus Young dihitung berdasarkan data tersebut menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Modulus young (Mpa)} = \frac{\text{kekuatan tarik}}{\text{pemanjangan putus} / 100} \quad (6)$$

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Analisa gugus fungsi dengan *fouriertransform infrared spectroscopy* (FTIR) pada selulosa dari limbah kertas

Metode analisis FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan mempelajari sifat kimia suatu bahan berdasarkan interaksinya dengan radiasi inframerah. Gambar 3 menunjukkan hasil analisis spektrum FTIR selulosa yang diekstraksi dari limbah kertas dibandingkan dengan selulosa asetat komersial, yang digunakan sebagai pembanding dalam penelitian ini.

Berdasarkan Gambar 3, selulosa asetat dari limbah kertas menunjukkan karakteristik selulosa alami dengan puncak serapan kuat pada bilangan gelombang $3835,72 \text{ cm}^{-1}$ yang merepresentasikan gugus hidroksil (-OH). Intensitas serapan -OH yang tinggi ini sangat krusial karena mengindikasikan ketersediaan situs aktif untuk pembentukan ikatan hidrogen dengan rantai amilosa/amilopektin pada pati sagu

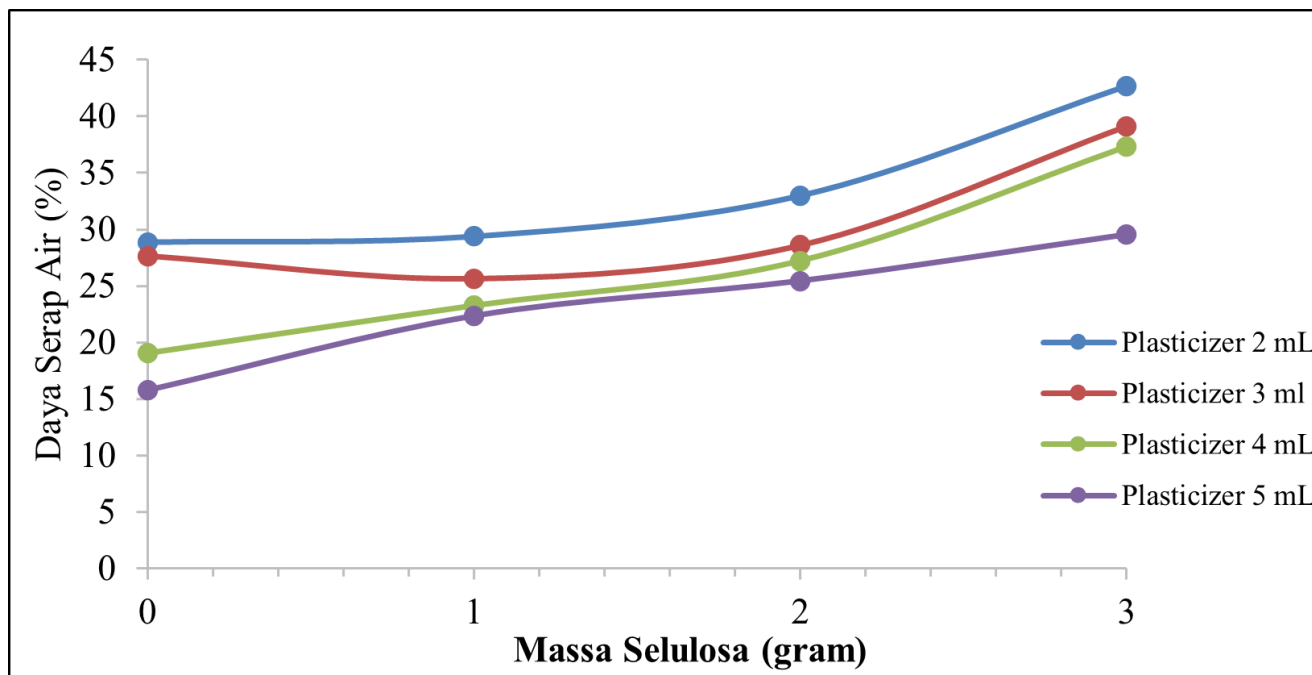
serta molekul *plasticizer*. Dibandingkan dengan selulosa asetat komersial ($3622,16 \text{ cm}^{-1}$), selulosa limbah kertas memiliki gugus hidroksil bebas yang lebih banyak, yang mendukung integrasi yang lebih baik dalam matriks polimer melalui interaksi intermolekul.

Puncak pada $3019,04 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi regangan C-H, sementara puncak pada $1894,92 \text{ cm}^{-1}$ (C=O) dan $1524,12 \text{ cm}^{-1}$ (C=C dari sisa lignin) menunjukkan keberadaan residu minor dari bahan asal kertas. Interaksi antara selulosa, pati, dan *plasticizer* (gliserol dan sorbitol) dalam bioplastik terbentuk melalui mekanisme ikatan hidrogen antar gugus hidroksil. Selulosa berperan sebagai penguat (*reinforcing agent*) yang membentuk jaringan mekanis dalam matriks pati, sementara gliserol dan sorbitol menyisip di antara rantai polimer untuk meningkatkan fleksibilitas. Kelimpahan gugus -OH yang terdeteksi pada selulosa hasil ekstraksi menjadi dasar bagi stabilitas struktural bioplastik, yang berkontribusi pada peningkatan kekuatan tarik dan ketahanan air (*swelling*) pada produk akhir (Masturoh dkk. 2025; Paudel dkk. 2023). Secara keseluruhan, spektrum ini mengonfirmasi bahwa selulosa hasil ekstraksi memiliki kompatibilitas kimia yang tinggi untuk diformulasikan menjadi material bioplastik.

3.2 Analisa daya serap air (Derajat *Swearing*) pada bioplastik

Analisa daya serap air bertujuan untuk mengetahui batas kemampuan bioplastik, dalam menyerap air sampai batas maksimal. Ketahanan air pada bioplastik dinamakan dengan uji *swelling*, yaitu kadar pengembangan bioplastik dalam penyerapan terhadap air.

Data hasil pengujian daya serap air diplotkan dalam bentuk grafik dan disajikan pada Gambar 4. Gambar 4 menunjukkan hubungan antara massa selulosa dan daya serap air film bioplastik pada berbagai volume *plasticizer* gliserol-sorbitol. Secara umum, peningkatan massa selulosa menyebabkan kenaikan nilai *swelling* pada seluruh variasi *plasti-*

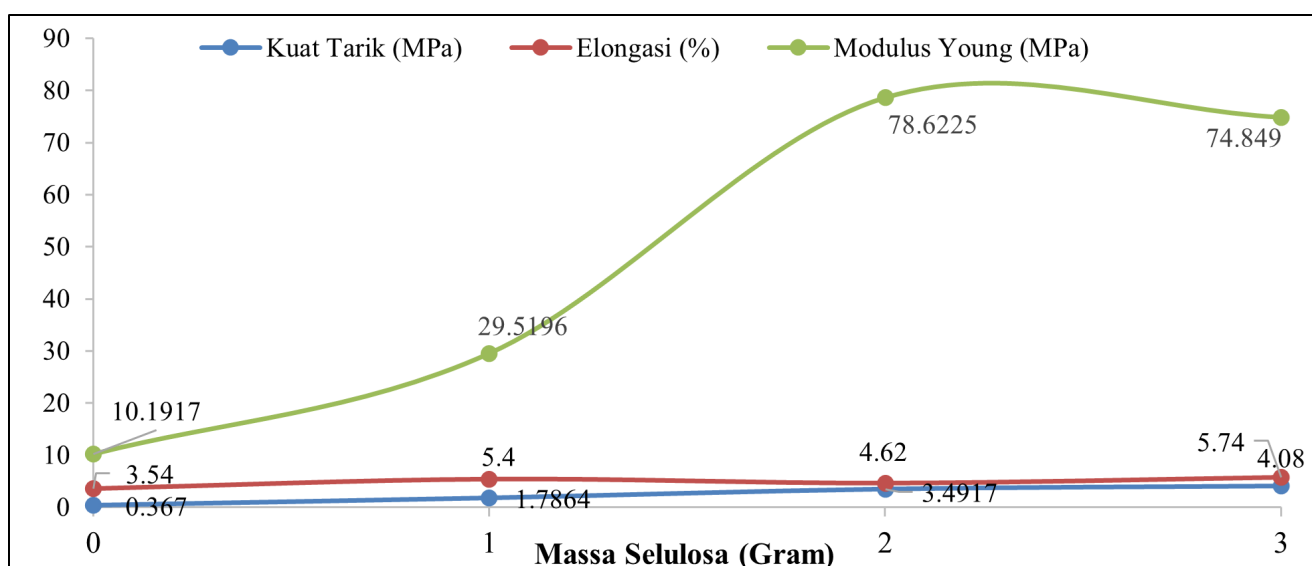


GAMBAR 4. Pengaruh penambahan selulosa dan *plasticizer* terhadap daya serap air.

cizer. Pada massa selulosa 0 hingga 1 gram, kenaikan daya serap relatif kecil, tetapi setelah 2 hingga 3 gram kenaikannya menjadi lebih tajam. Peningkatan ini disebabkan oleh meningkatnya jumlah gugus hidroksil (-OH) dalam matriks film akibat penambahan selulosa yang bersifat hidrofilik. Gugus -OH yang melimpah pada rantai selulosa mampu berinteraksi dengan molekul air melalui ikatan hidrogen, sehingga memperbesar kapasitas *swelling* film. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa peningkatan kandungan komponen hidrofilik dalam matriks film dapat meningkatkan kemampuan penyerapan air (de Azeredo 2009; Sanyang dkk. 2015). Perbedaan juga tampak pada variasi volume *plasticizer*. Sampel dengan *plasticizer* 2 mL memiliki daya serap air tertinggi, mencapai sekitar 42,69 % pada 3gram selulosa, sedangkan sampel dengan 5 mL *plasticizer* menunjukkan daya serap terendah, sekitar 29,50% pada massa selulosa yang sama. Fenomena pe-

nurunan *swelling* seiring peningkatan konsentrasi *plasticizer* ini mengindikasikan bahwa pada konsentrasi tinggi, *plasticizer* tidak hanya berperan meningkatkan fleksibilitas, tetapi juga memperkuat interaksi antar komponen penyusun film (*pati-selulosa-plasticizer*), sehingga membentuk struktur matriks yang lebih kompak dan menghambat difusi air ke dalam film. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang melaporkan bahwa penambahan *plasticizer* dalam jumlah berlebih dapat menyebabkan terjadinya *over-plasticization*, yang berdampak pada perubahan struktur internal film dan penurunan kemampuan penyerapan air (Vieira et al., 2011). Dengan demikian, terdapat konsentrasi optimum *plasticizer* dalam formulasi bioplastik, di mana penambahan yang terlalu tinggi tidak selalu meningkatkan sifat hidrofilik, tetapi justru dapat menurunkan daya serap air akibat perubahan struktur internal film (Kamaluddin dkk. 2022).

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bah-



GAMBAR 5. Sifat mekanik bioplastik: Kuat tarik (MPa), elongasi (%), dan modulus *Young* (MPa) dengan variasi massa selulosa pada *plasticizer* 5 mL.

wa massa selulosa dan volume *plasticizer* sangat memengaruhi ketahanan bioplastik terhadap air. Peningkatan selulosa cenderung memperkuat film namun meningkatkan daya serap air, sedangkan penambahan *plasticizer* gliserol-sorbitol (1:1) mampu menurunkan nilai *swelling*. Gliserol bersifat hidrofilik dan meningkatkan fleksibilitas film melalui peningkatan mobilitas rantai polimer, sedangkan sorbitol bersifat lebih hidrofobik dan berkontribusi menekan daya serap air. Kombinasi keduanya menghasilkan efek sinergis yang menjelaskan mengapa peningkatan total volume *plasticizer* justru menurunkan daya serap air, karena dominasi peran sorbitol dalam menekan absorpsi air semakin kuat seiring meningkatnya konsentrasi *plasticizer*. Kombinasi ini juga menghasilkan keseimbangan antara fleksibilitas dan ketahanan air bioplastik (Hamzah dkk. 2024; Paudel dkk. 2023; Vieira dkk. 2011) Nilai *swelling* yang diperoleh masih memenuhi kriteria yang baik, yaitu di bawah 30% menurut Saputra dan Fauzi (2022) serta metode pengujian *Japanese Industrial Standards* (JIS)

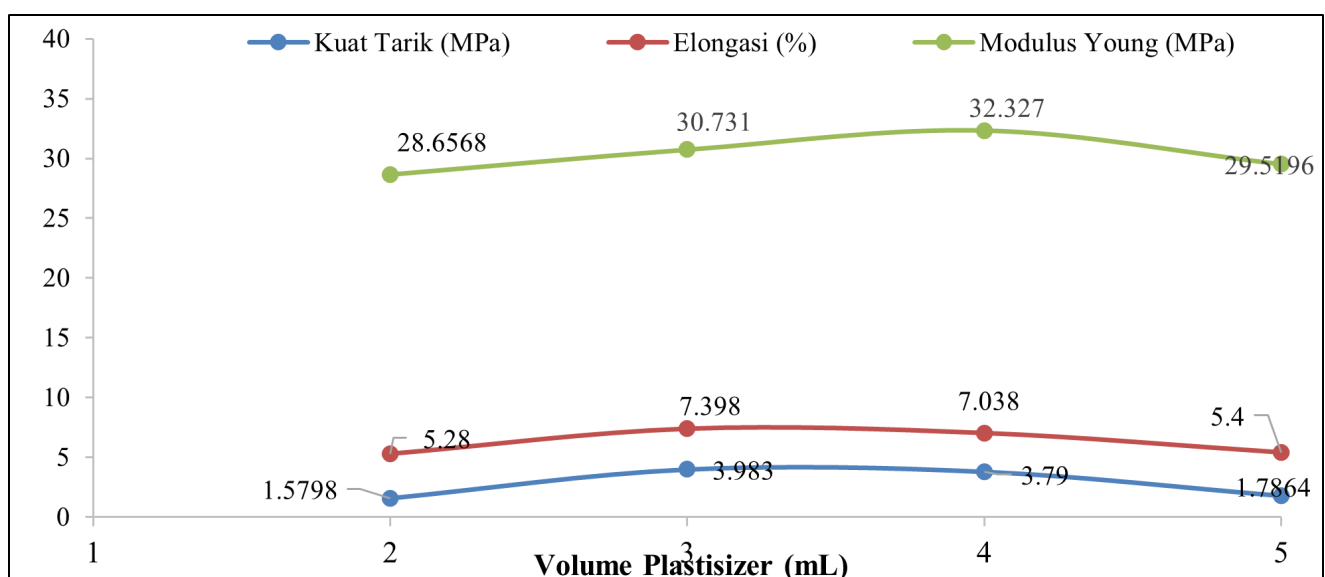
3.3 Analisa sifat mekanik bioplastik

Pengujian sifat mekanik pada bioplastik dilakukan untuk mengevaluasi kekuatan serta tingkat kelenturan material. Parameter yang umum diukur meliputi kuat tarik, persentase pemanjangan (elongasi), dan *modulus Young*. Pengujian sifat mekanik pada penelitian ini dilakukan dengan pendekatan dua tahap berdasarkan hasil seleksi uji *swelling*: Pertama, semua variasi massa selulosa (0, 1, 2, dan 3 g) diuji pada *plasticizer* 5 mL karena volume tersebut menghasilkan rata-rata daya serap air terendah; Kedua, selulosa 1 g diuji tambahan pada *plasticizer* 2 mL sebagai pembanding pengaruh volume *plasticizer*, karena kelompok selulosa 1 g menunjukkan rentang daya serap air yang relatif paling stabil di semua variasi *plasticizer*. Setiap formulasi yang diuji dilakukan sebanyak satu kali pengujian ($n=1$).

Uji kuat tarik merupakan bagian dari pengujian mekanik berbasis kurva tegangan-regangan yang bertujuan menilai ketahanan suatu bahan terhadap gaya tarik. Kuat tarik (*tensile strength*) menggambarkan gaya maksimum yang mampu ditahan material sebelum mengalami kerusakan atau pu-

tus. Sementara itu, elongasi atau pemanjangan menunjukkan seberapa jauh film bioplastik dapat meregang hingga titik putus. Parameter ini menggambarkan tingkat elastisitas bioplastik, di mana nilai elongasi yang tinggi menandakan material lebih lentur, sedangkan nilai rendah menunjukkan sifat yang lebih kaku dan mudah rapuh. Selain itu, *modulus Young* atau modulus elastisitas digunakan untuk mengukur kekakuan material, yakni besarnya tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan regangan tertentu.

Berdasarkan Gambar 5, yang menunjukkan sifat mekanik bioplastik pada variasi massa selulosa dengan penambahan *plasticizer* tetap sebesar 5 mL, kuat tarik tertinggi diperoleh pada penambahan selulosa 3 g yaitu sebesar 4,08 MPa. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan jumlah selulosa mampu memperkuat struktur film bioplastik. Serat selulosa berperan sebagai reinforcing agent yang membentuk ikatan lebih kuat dengan matriks pati serta mengisi rongga-rongga dalam struktur polimer, sehingga mengurangi porositas dan membuat film lebih padat serta lebih tahan terhadap gaya tarik (Dewi dkk. 2021). Nilai kuat tarik terendah terdapat pada sampel tanpa selulosa, yang menunjukkan bahwa keberadaan selulosa sangat penting dalam memperbaiki kekuatan mekanik bioplastik. Selanjutnya, Gambar 6 menggambarkan hasil uji kuat tarik pada variasi volume *plasticizer* dengan jumlah selulosa tetap 1 g. Kekuatan tarik tertinggi tercatat pada penambahan *plasticizer* 3 mL dengan nilai 3,983 MPa, lebih tinggi dibandingkan *plasticizer* 2 mL, 4 mL, maupun 5 mL. Secara teori, peningkatan *plasticizer* akan menurunkan kuat tarik karena memperbesar jarak antarmolekul polimer dan meningkatkan fleksibilitas. Namun, pada penambahan *plasticizer* yang tepat dan terdistribusi secara homogen, gaya kohesi antarmolekul dapat meningkat dan tegangan internal material berkurang, sehingga struktur yang terbentuk lebih seragam dan memiliki daya tahan tarik lebih baik (Sanyang dkk. 2015). Hasil penelitian menunjukkan kuat tarik 0,367–4,08 MPa, memenuhi standar JIS Z-1707:1975 ($\geq 3,92$ MPa). Nilai kuat tarik yang diperoleh pada penelitian ini juga lebih baik dibandingkan hasil Dewi et al. (2021) yang hanya mencapai 1,65 MPa menggunakan *plasticizer* tunggal gliserol, yang mengindikasikan bahwa penggunaan sistem



GAMBAR 6. Sifat mekanik bioplastik: Kuat tarik (MPa), elongasi (%), dan modulus *Young* (MPa) dengan variasi volume *plasticizer* pada massa selulosa 1 gram.

plasticizer ganda gliserol–sorbitol (1:1) memberikan kontribusi positif terhadap peningkatan kekuatan mekanik bioplastik. Hal ini dapat dijelaskan melalui peran masing-masing komponen: gliserol berperan meningkatkan fleksibilitas dan elongasi film dengan cara meningkatkan mobilitas rantai polimer, sedangkan sorbitol dengan bobot molekul yang lebih besar berkontribusi langsung pada peningkatan kekuatan mekanik melalui pembentukan interaksi antarmolekul yang lebih kuat dalam matriks film (Hamzah dkk. 2024; Paudel dkk. 2023). Kombinasi keduanya menghasilkan film yang tidak hanya kuat secara mekanik tetapi juga memiliki elongasi yang memadai, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai elongasi 3,54–5,74% dan modulus Young 10,19–78,62 MPa pada formulasi dengan *plasticizer* 5 mL.

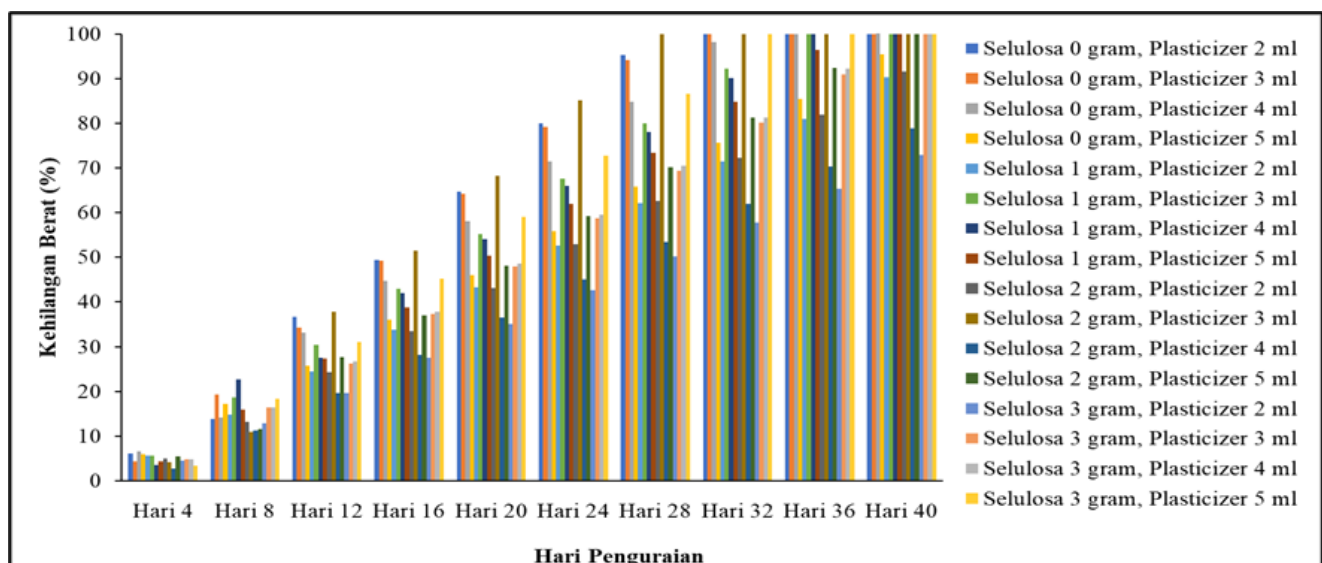
Hasil uji persen elongasi menggambarkan kemampuan bioplastik untuk mengalami deformasi sebelum putus. Nilai elongasi yang tinggi menunjukkan bahwa bioplastik semakin elastis dan tidak mudah retak, sedangkan nilai yang rendah menandakan sifat yang lebih kaku dan rapuh. Pada Gambar 4, yang menampilkan pengaruh variasi *plasticizer* terhadap elongasi dengan jumlah selulosa tetap 1 g, nilai elongasi tertinggi dicapai pada penambahan *plasticizer* 3 mL yaitu sebesar 7,3%. *Plasticizer* adalah zat aditif yang ditambahkan ke dalam matriks polimer bioplastik untuk meningkatkan fleksibilitas dan kelenturan dengan cara mengurangi gaya tarik antarmolekul dalam struktur polimer. Semakin besar volume *plasticizer* yang ditambahkan, maka rantai-rantai polimer menjadi lebih fleksibel dan film bioplastik menjadi lebih elastis serta lebih mudah meregang saat diberikan gaya tarik. Hal ini sesuai dengan penelitian (Sanyang dkk. 2015) yang mengatakan bahwa penambahan *plasticizer* menghasilkan peningkatan elongasi signifikan tanpa menurunkan kualitas film secara drastis. Kondisi ini menunjukkan bahwa penambahan *plasticizer* yang cukup mampu meningkatkan fleksibilitas film bioplastik.

Sementara itu, pada variasi massa selulosa dengan *plasticizer* tetap 5 mL (Gambar 5), elongasi yang diperoleh berkisar 3,54 – 5,74 %. Penambahan selulosa pada jumlah optimum dapat meningkatkan elongasi karena terjadi interaksi antarmolekul yang lebih baik antara pati dan selulosa. Hal

ini sejalan dengan penelitian Reddy dan Yang (2009), yang menyatakan bahwa penambahan mikrofibril selulosa dapat meningkatkan elongasi, tergantung pada kompatibilitas matriks polimer yang digunakan. Namun demikian, jika jumlah selulosa atau *plasticizer* berlebih, ikatan antarmolekul dapat terganggu sehingga struktur menjadi kaku dan elongasi menurun kembali. Dengan kata lain, baik selulosa maupun *plasticizer* memiliki batas optimum dalam memberikan kontribusi terhadap fleksibilitas bioplastik. Jika dibandingkan dengan standar SNI 7188.7:2016 untuk bioplastik yang mudah terurai, batas maksimum elongasi adalah 5%. Berdasarkan hasil yang diperoleh, sebagian besar sampel masih berada dalam kisaran standar tersebut, sehingga dapat dikategorikan sebagai bioplastik yang memenuhi ketentuan biodegradabilitas menurut SNI.

Modulus *Young* atau modulus elastisitas merupakan parameter yang menunjukkan tingkat kekakuan suatu material, yaitu besar tegangan yang diperlukan untuk menghasilkan regangan tertentu. Semakin tinggi nilai modulus *Young*, semakin kaku dan sulit material tersebut untuk diregangkan.

Pada Gambar 5, yang menunjukkan pengaruh variasi massa selulosa dengan penambahan *plasticizer* tetap, nilai modulus *Young* tertinggi diperoleh pada penambahan selulosa 2 g. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan selulosa hingga jumlah optimum mampu meningkatkan kekakuan bioplastik. Serat selulosa bertindak sebagai *reinforcing agent* yang memperkuat struktur matriks pati melalui interaksi antarmolekul yang lebih baik. Namun, ketika massa selulosa ditingkatkan menjadi 3 g, modulus *Young* mengalami penurunan. Hal ini dapat disebabkan oleh ketidakhomogenan dispersi selulosa dalam matriks yang menyebabkan cacat mikro pada struktur film, sehingga sifat kekakuan menurun kembali. Selanjutnya, pada Gambar 6 ditampilkan pengaruh variasi volume *plasticizer* terhadap modulus *Young* dengan massa selulosa tetap. Nilai tertinggi diperoleh pada penambahan *plasticizer* 4 mL. Secara teori, penambahan *plasticizer* cenderung menurunkan modulus *Young* karena meningkatkan fleksibilitas dan mobilitas rantai polimer. Namun, pada konsentrasi tertentu *plasticizer* dapat berperan dalam meningkatkan keteraturan struktur polimer (derajat kristalini-



GAMBAR 7. Laju degradasi bioplastik.

TABEL 2. Rekapitulasi hasil karakterisasi bioplastik pada seluruh variasi formulasi.

Selulosa (g)	Plasticizer (mL)	Daya Serap Air (%)	Sifat Mekanik			Biodegradabilitas (Hari ke-100%)
			Kuat Tarik (Mpa)	Elongasi (%)	Modulus Young (Mpa)	
0	2	28,85	–	–	–	Hari ke -32
	3	27,65	–	–	–	Hari ke -32
	4	19,04	–	–	–	Hari ke -36
	5	15,78	0,367	3,54	10,19	Hari ke -40
1	2	29,37	15,798	5,28	28,66	Hari ke-48
	3	25,63	–	–	–	Hari ke-36
	4	23,25	–	–	–	Hari ke-36
	5	22,34	17,864	5,40	29,52	Hari ke-40
2	2	32,98	–	–	–	Hari ke-44
	3	28,58	–	–	–	Hari ke-28
	4	27,20	–	–	–	Hari ke-52
	5	25,42	34,917	4,62	78,62	Hari ke-32
3	2	42,70	–	–	–	Hari ke-56
	3	39,12	–	–	–	Hari ke-40
	4	37,29	–	–	–	Hari ke-40
	5*	29,50	4,08	5,74	74,85	Hari ke-32

tas), sehingga material menjadi lebih padat dan kaku. Interaksi kuat yang terbentuk antara *plasticizer* dan matriks polimer dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan modulus Young pada kondisi optimum tersebut (Lang dkk. 2022).

3.4 Analisa biodegradabilitas

Analisa biodegradabilitas atau kemampuan biodegradasi plastik dilakukan untuk mengetahui pengaruh alam terhadap plastik dalam jangka waktu tertentu, sehingga akan diperoleh persentase kerusakan atau persentase kehilangan berat pada plastik. Bioplastik yang memiliki biodegradabilitas yang buruk maka akan berpotensi merusak lingkungan dan tidak berbeda dengan plastik biasa yang saat ini sudah beredar luas di masyarakat.

Gambar 7 menunjukkan persentase kehilangan berat bioplastik selama proses penguraian pada tanah hingga hari ke-40 dengan variasi massa selulosa dan volume *plasticizer*. Secara umum, seluruh sampel mengalami peningkatan persen kehilangan berat seiring bertambahnya waktu penguburan. Hal ini menandakan bahwa bioplastik yang dihasilkan bersifat biodegradable, karena mikroorganisme tanah mampu memecah struktur polimer sehingga menyebabkan penurunan massa.

Pada awal penguburan (hari ke-4 hingga hari ke-12), tingkat biodegradasi masih relatif rendah di semua sampel karena mikroorganisme memerlukan waktu untuk beradaptasi dan mulai menyerang struktur bioplastik. Memasuki hari ke-20 hingga hari ke-40, sebagian besar sampel menunjukkan peningkatan dekomposisi yang signifikan, dengan nilai biodegradabilitas mencapai lebih dari 80%. Sampel dengan kombinasi selulosa 3 gram dan *plasticizer* 4–5 mL menunjukkan tingkat penguraian tertinggi pada akhir masa pengujian.

Penambahan selulosa cenderung mempercepat laju biodegradasi karena selulosa sebagai biopolimer alami mudah diakses oleh enzim dan mikroba, serta meningkatkan porosi-

tas film sehingga air dan mikroorganisme dapat menembus struktur lebih mudah (Hubbe dkk. 2020). Sebaliknya, *plasticizer* yang bersifat hidrofilik meningkatkan fleksibilitas dan penetrasi air ke dalam matriks polimer, yang juga mendukung proses penguraian (Escamilla-García dkk. 2022). Namun kedua komponen ini memiliki ambang optimum: terlalu banyak selulosa dapat menyebabkan agregasi, menghambat akses mikroba, sedangkan *plasticizer* yang berlebihan dapat memperkuat kembali struktur film atau memperlambat degradasi karena terbentuk fase terpisah yang kurang mudah didegradasi.

Secara umum, seluruh sampel dalam penelitian ini menunjukkan laju biodegradasi yang baik dalam waktu 40 hari. Hal ini mengindikasikan potensi besar dari bioplastik berbasis selulosa dan gliserol untuk memenuhi standar biodegradabilitas menurut SNI 7818:2014, yaitu terjadinya penurunan massa sebesar $\geq 60\%$ dalam waktu 180 hari.

Data hasil pengujian pada berbagai variasi massa selulosa dan total volume *plasticizer* dirangkum dalam Tabel 2 untuk menunjukkan pengaruhnya terhadap seluruh parameter karakterisasi. Pengujian sifat mekanik dilakukan berdasarkan hasil seleksi uji swelling menggunakan pendekatan dua tahap sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, sedangkan kombinasi yang tidak diuji secara mekanik ditandai dengan simbol (-).

Tabel 2 menggambarkan secara menyeluruh bagaimana interaksi antara massa selulosa dan volume *plasticizer* memengaruhi karakteristik bioplastik. peningkatan massa selulosa cenderung meningkatkan daya serap air, sedangkan peningkatan volume *plasticizer* menurunkan daya serap air pada seluruh variasi sampel. Nilai swelling terendah diperoleh pada formulasi tanpa selulosa dengan 5 mL *plasticizer* (15,78%), sedangkan tertinggi pada 3 g selulosa dan 2 mL *plasticizer* (42,70%). Pada sifat mekanik, peningkatan massa selulosa pada penggunaan *plasticizer* 5 mL meningkatkan kuat tarik dari 0,367 MPa menjadi 4,08 MPa, menunjukkan peran selulosa sebagai penguat matriks bioplastik. Seluruh for-

mulasi juga terdegradasi sempurna (100%) dalam 28–56 hari, menandakan biodegradabilitas yang baik. Secara keseluruhan, formulasi 3 g selulosa dan 5 mL *plasticizer* memberikan hasil terbaik karena memenuhi standar Japanese Industrial Standards untuk kuat tarik (4,08 MPa), memiliki daya serap air di bawah 30% (29,50%), serta terurai sempurna dalam 32 hari.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa limbah kertas dapat dimanfaatkan sebagai sumber selulosa untuk pembuatan bioplastik berbasis pati dengan *plasticizer* gliserol–sorbitol. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan bahwa selulosa hasil ekstraksi masih mempertahankan gugus fungsional khas selulosa, sedangkan selulosa asetat komersial memiliki struktur yang lebih stabil akibat proses asetilasi. Penambahan selulosa meningkatkan kekuatan dan kekakuan hingga titik optimum, sedangkan *plasticizer* meningkatkan fleksibilitas sehingga diperlukan komposisi yang seimbang. Selulosa cenderung menaikkan daya serap air, sementara peningkatan total volume *plasticizer* gliserol–sorbitol justru menurunkan melalui mekanisme penguatan interaksi antar komponen matriks. Semua sampel terbukti mudah terurai di tanah sesuai standar SNI 7188.7:2016. Secara keseluruhan, kombinasi komposisi yang tepat mampu menghasilkan bioplastik dengan sifat mekanik baik, ketahanan air terkontrol, dan biodegradabilitas tinggi sehingga berpotensi menggantikan plastik konvensional secara ramah lingkungan. Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, yaitu pengujian sifat barrier seperti permeabilitas uap air dan laju transmisi oksigen belum dilakukan, padahal parameter tersebut penting untuk menilai kelayakan bioplastik sebagai kemasan pangan. Selain itu, pengujian sifat mekanik hanya dilakukan satu kali ($n=1$) sehingga hasil yang diperoleh masih bersifat indikatif, serta analisis statistik inferensial seperti ANOVA belum diterapkan. Oleh karena itu, penelitian lanjutan dengan replikasi yang lebih memadai, analisis statistik, dan pengujian sifat barrier diperlukan untuk mengonfirmasi dan memperluas temuan penelitian ini.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Malikussaleh yang telah membiayai kegiatan penelitian ini melalui PNPB dalam Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Universitas Malikussaleh Tahun Anggaran 2025

DAFTAR PUSTAKA

- de Azeredo HMC. 2009. Nanocomposites for food packaging applications. *Food Research International*. 42(9):1240–1253. doi:10.1016/j.foodres.2009.03.019.
- Delgado-Orti C, Navas-Martos FJ, Rodríguez-Liébana JA, La Rubia MD, Jurado-Contreras S. 2024. Development of pla–waste paper biocomposites with high cellulose content. *Polymers*. 16(14):2000. doi:10.3390/polym16142000.
- Dewi IMP, Johannes AZ, Pingak RK, Bukit M, Sutaji HI. 2021. Pembuatan bioplastik berbahan dasar pati jagung dengan penambahan serat selulosa dari limbah kertas. *Jurnal Fisika : Fisika Sains dan Aplikasinya*. 6(2):91–96. doi:10.35508/fisa.v6i2.6838.
- Escamilla-García M, García-García MC, Gracida J, Hernández-Hernández HM, Granados-Arvizu JÁ, Di Pierro P, Regalado-González C. 2022. Properties and biodegradability of films based on cellulose and cellulose nanocrystals from corn cob in mixture with chitosan. *International Journal of Molecular Sciences*. 23(18):10560. doi:10.3390/ijms231810560.
- Hamzah I, N L, S G. 2024. Pengaruh pemlastis gliserol dan sorbitol terhadap karakteristik bioplastik berbahan pati ubi mbote. *EKSAKTA: Journal of Sciences and Data Analysis*:50–56. doi:10.20885/eksakta.vol5.iss1.art6.
- Hubbe MA, Lavoine N, Lucia LA, Dou C. 2020. Formulating bioplastic composites for biodegradability, recycling, and performance: A Review. *BioResources*. 16(1):2021–2083. doi:10.15376/biores.16.1.hubbe.
- Kamaluddin MA, Maryono M, Hasri H, Genisa MU, Rizal HP. 2022. Pengaruh penambahan plasticizer terhadap karakteristik bioplastik dari selulosa limbah kertas. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*. 7(02):197. doi:10.23960/aec.v7i02.2022.p197-208.
- Lang H, Chen X, Tian J, Chen J, Zhou M, Lu F, Qian S. 2022. Effect of microcrystalline cellulose on the properties of PBAT/thermoplastic starch biodegradable film with chain extender. *Polymers*. 14(21):4517. doi:10.3390/polym14214517.
- Masturoh F, Hasanah N, Wahyusi KN. 2025. Synthesis and characterization of cellulose acetate derived from corn stalk cellulose using FTIR analysis. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*. 9(2):1010–1020. doi:10.70609/gtech.v9i2.6833.
- Mohammed Irfan TN, Sunitha George T, Sainul Abidh KM, Prakash S, Parambath Kanoth B, George N, Balachandrakurup V, Midhun Dominic CD, Nair AB. 2026. Waste paper as a viable sustainable source for cellulosic extraction by chlorine free bleaching and acid hydrolysis method for the production of PVA-starch/cellulose based biocomposites. *Materials Today: Proceedings*. 117:154–160. doi:10.1016/j.matpr.2023.03.805.
- Ojsadmin, Syahwardini T, Oktaviani C, Novriyani V, Amrini SZ, Bahruddin. 2020. Modification of sago starch-based bioplastic using citric acid with variation plasticizers glycerol and sorbitol: Properties and biodegradability studies. *Journal of Bioprocess, Chemical and Environmental Engineering Science*. 1(1):39–46. doi:10.31258/jbchees.1.1.39-46.
- Paudel S, Regmi S, Janaswamy S. 2023. Effect of glycerol and sorbitol on cellulose-based biodegradable films. *Food Packaging and Shelf Life*. 37:101090. doi:10.1016/j.foodpsl.2023.101090.
- Rafika R, Masrullita M, Dewi R, Zulnazri Z, ZA N, Ulfa R. 2023. Sintesis plastik biodegradable dari pati ubi jalar dengan variasi penambahan plasticizer gliserol. *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*. 3(1):42–51. doi:10.29103/cejs.v3i1.8102.
- Reddy N, Yang Y. 2009. Natural cellulose fibers from soybean straw. *Bioresource Technology*. 100(14):3593–3598. doi:10.1016/j.biortech.2008.09.063.
- ResourceWise. 2022. Pulp & paper market spotlight: Indonesia. Technical report.
- Sanyang ML, Sapuan SM, Jawaid M, Ishak MR, Sahari J. 2015. Effect of plasticizer type and concentration on physical

properties of biodegradable films based on sugar palm (*arenga pinnata*) starch for food packaging. *Journal of Food Science and Technology*. 53(1):326–336. doi:[10.1007/s13197-015-2009-7](https://doi.org/10.1007/s13197-015-2009-7).

Saputra AZ, Fauzi AS. 2022. Pengolahan sampah kertas menjadi bahan baku industri kertas bisa mengurangi sampah di Indonesia. *Jurnal Mesin Nusantara*. 5(1):41–52. doi:[10.29407/jmn.v5i1.17522](https://doi.org/10.29407/jmn.v5i1.17522).

Sirbu EE, Dinita A, Tănase M, Portoacă AI, Bondarev A, Enăscuța CE, Calin C. 2024. Influence of plasticizers concentration on thermal, mechanical, and physicochemical properties on starch films. *Processes*. 12(9):2021. doi:[10.3390/pr12092021](https://doi.org/10.3390/pr12092021).

Vieira MGA, da Silva MA, dos Santos LO, Beppu MM. 2011. Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. *European Polymer Journal*. 47(3):254–263. doi:[10.1016/j.eurpolymj.2010.12.011](https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2010.12.011).