



**PEMBUATAN BIOPLASTIK BERBAHAN DASAR PATI BIJI ALPUKAT
DAN SELULOSA DARI LIMBAH KERTAS DENGAN METODE *MELT
INTERCALATION***

**Faisal¹, Iqbal Kamar^{1,2*}, Muhammad Nuzan Rizki³, Raudhatul Ulfa¹, Fatima
Zahra Sitompul⁴, Firza Ahmad Kurniawan⁴**

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh

²CoE Technology Natural Polymer and Recycle Plastics, Universitas Malikussaleh

³Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh

⁴Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh
Lhokseumawe 24353, Aceh, Indonesia

*Korespondensi: e-mail: iqbalkamarsyam@unimal.ac.id

Abstrak

Peningkatan penggunaan plastik berbasis petrokimia telah menimbulkan permasalahan lingkungan yang serius akibat sifatnya yang sulit terdegradasi secara alami. Salah satu alternatif yang dapat dikembangkan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah bioplastik yang berasal dari sumber daya terbarukan dan mudah terurai. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan pati biji alpukat (*Persea americana*) sebagai matriks polimer dan selulosa dari limbah kertas HVS sebagai bahan penguat dalam pembuatan bioplastik menggunakan metode *melt intercalation*. Selain meningkatkan nilai tambah limbah biomassa, pemanfaatan kedua bahan tersebut juga mendukung konsep ekonomi sirkular dan pengurangan limbah padat.

Bioplastik dibuat dengan komposisi tetap 5 g pati biji alpukat dan 1 g *carboxymethyl cellulose* (CMC), sedangkan massa selulosa divariasikan sebesar 0; 0,5; 1; dan 1,5 g. Sorbitol digunakan sebagai *plasticizer* dengan 5 g. Proses pembuatan dilakukan dengan mencampurkan seluruh bahan dalam 100 mL aquades, kemudian dipanaskan dan diaduk selama 30 menit hingga terjadi gelatinisasi. Campuran yang terbentuk dicetak dan dikeringkan hingga diperoleh film bioplastik. Karakterisasi dilakukan melalui pengujian sifat mekanik yang meliputi kuat tarik, elongasi, dan modulus Young.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan massa selulosa berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanik bioplastik. Nilai kuat tarik meningkat dari 0,1387 MPa menjadi 1,4068 MPa seiring bertambahnya massa selulosa hingga 1,5 g. Sebaliknya, nilai elongasi menurun dari 18,16% menjadi 11,52%, menunjukkan berkurangnya fleksibilitas material akibat meningkatnya interaksi antarmolekul antara pati dan selulosa. Nilai modulus Young juga mengalami peningkatan yang mengindikasikan terbentuknya struktur bioplastik yang lebih kaku dan kuat. Peningkatan sifat mekanik tersebut disebabkan oleh peran selulosa sebagai

reinforcing filler yang memperkuat matriks pati melalui pembentukan ikatan hidrogen. Meskipun demikian, nilai kuat tarik dan elongasi yang diperoleh masih belum memenuhi persyaratan SNI 7818:2014 untuk plastik biodegradable. Secara keseluruhan, penambahan selulosa limbah kertas terbukti mampu meningkatkan karakteristik mekanik bioplastik berbasis pati biji alpukat dan berpotensi dikembangkan sebagai material ramah lingkungan yang berkelanjutan.

Kata kunci: bioplastik, pati biji alpukat, selulosa limbah kertas, *melt intercalation*, sifat mekanik.

DOI: <https://doi.org/10.29103/cejs.v6i2.23613>

1. Pendahuluan

Peningkatan penggunaan plastik berbasis petrokimia telah memberikan berbagai manfaat dalam kehidupan sehari-hari, namun juga menimbulkan permasalahan lingkungan yang serius akibat sifatnya yang sulit terdegradasi secara alami. Akumulasi limbah plastik di lingkungan dapat menyebabkan pencemaran tanah, air, dan ekosistem perairan, sehingga diperlukan upaya untuk mengembangkan material alternatif yang lebih ramah lingkungan. Salah satu solusi yang banyak dikembangkan adalah bioplastik, yaitu material polimer yang berasal dari sumber daya terbarukan dan memiliki kemampuan biodegradasi yang lebih baik dibandingkan plastik konvensional.

Bioplastik umumnya dibuat dari polimer alami seperti pati, selulosa, protein, dan *polylactic acid* (PLA). Di antara berbagai jenis polimer alami tersebut, pati merupakan bahan yang paling banyak digunakan karena memiliki harga yang relatif murah, tersedia melimpah, bersifat terbarukan, mudah diproses, serta mampu membentuk lapisan film dengan baik. Struktur pati tersusun atas dua komponen utama, yaitu amilosa dan amilopektin, yang berperan penting dalam menentukan sifat mekanik dan karakteristik film bioplastik yang dihasilkan. Kandungan amilosa yang tinggi umumnya dapat meningkatkan kekuatan film, sedangkan amilopektin berkontribusi terhadap fleksibilitas material (Chang et al., 2021; Sharma et al., 2024).

Salah satu sumber pati yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku bioplastik adalah biji alpukat (*Persea americana*). Selama ini biji alpukat masih dianggap sebagai limbah agroindustri dan rumah tangga yang pemanfaatannya

relatif terbatas. Padahal, biji alpukat mengandung pati dalam jumlah yang cukup tinggi sehingga berpotensi digunakan sebagai sumber polimer alami untuk produksi bioplastik. Pemanfaatan biji alpukat sebagai bahan baku bioplastik tidak hanya memberikan nilai tambah pada limbah pertanian, tetapi juga mendukung konsep ekonomi sirkular melalui pemanfaatan kembali biomassa yang belum termanfaatkan secara optimal.

Selain matriks pati, penambahan bahan penguat (*reinforcing filler*) diperlukan untuk meningkatkan sifat mekanik bioplastik. Selulosa merupakan salah satu bahan penguat alami yang banyak digunakan karena memiliki sifat biodegradable, ketersediaan yang melimpah, serta kemampuan membentuk ikatan hidrogen dengan matriks polimer. Salah satu sumber selulosa yang potensial adalah limbah kertas HVS. Limbah kertas HVS mengandung selulosa sekitar 64,84% sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan penguat dalam pembuatan bioplastik (Sholikhah et al., 2018). Pemanfaatan limbah kertas sebagai sumber selulosa juga dapat membantu mengurangi jumlah limbah padat yang dihasilkan dari aktivitas perkantoran maupun rumah tangga.

Penambahan selulosa ke dalam matriks pati diketahui dapat meningkatkan kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan stabilitas termal bioplastik melalui pembentukan ikatan hidrogen antarmolekul yang lebih kuat. Namun demikian, peningkatan kandungan selulosa juga dapat memengaruhi fleksibilitas material karena terbatasnya mobilitas rantai polimer dalam matriks bioplastik. Oleh karena itu, diperlukan kajian lebih lanjut mengenai pengaruh jumlah selulosa terhadap karakteristik bioplastik yang dihasilkan.

Berbagai metode telah digunakan dalam pembuatan bioplastik dan biokomposit, di antaranya *solution intercalation*, *in situ polymerization*, dan *melt intercalation*. Metode *melt intercalation* memiliki beberapa keunggulan, seperti proses yang relatif sederhana, penggunaan pelarut yang lebih sedikit, biaya produksi yang lebih rendah, serta kemudahan untuk diaplikasikan dalam skala yang lebih besar. Pada metode ini, matriks polimer dan bahan penguat dicampurkan dalam kondisi panas hingga membentuk campuran homogen,

kemudian dilakukan proses pencetakan dan pengeringan untuk menghasilkan film bioplastik.

Beberapa penelitian sebelumnya telah melaporkan pemanfaatan berbagai jenis pati sebagai bahan dasar bioplastik, serta penggunaan selulosa dari biomassa sebagai bahan penguat. Namun, penelitian mengenai pemanfaatan pati biji alpukat yang dikombinasikan dengan selulosa dari limbah kertas HVS menggunakan metode *melt intercalation* masih relatif terbatas. Selain itu, informasi mengenai pengaruh penambahan selulosa limbah kertas terhadap sifat mekanik bioplastik berbasis pati biji alpukat masih belum banyak dilaporkan.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membuat bioplastik berbahan dasar pati biji alpukat dan selulosa dari limbah kertas HVS menggunakan metode *melt intercalation* serta mengevaluasi pengaruh penambahan selulosa terhadap sifat mekanik bioplastik yang dihasilkan. Karakterisasi dilakukan melalui pengujian kuat tarik, elongasi, modulus Young, untuk menentukan potensi bioplastik yang dihasilkan sebagai alternatif material ramah lingkungan.

2. Bahan dan Metode

2.1 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pati biji alpukat, limbah kertas HVS sebagai sumber selulosa, carboxymethyl cellulose (CMC), sorbitol, etanol, asam asetat, natrium hidroksida (NaOH), dan aquades. Pati biji alpukat diperoleh dari hasil ekstraksi biji alpukat segar, sedangkan limbah kertas HVS diperoleh dari limbah perkantoran. Peralatan yang digunakan meliputi hot plate yang dilengkapi magnetic stirrer, oven, termometer, ayakan 80 mesh, neraca digital, blender, beaker glass, gelas ukur, pipet tetes, dan cetakan bioplastik berukuran 15 cm × 5 cm.

2.2 Prosedur Penelitian

Penelitian ini terdiri atas lima tahapan, yaitu persiapan bahan baku, pembuatan pati biji alpukat, pembuatan pulp selulosa dari limbah kertas,

pembuatan bioplastik dengan metode melt intercalation, dan karakterisasi bioplastik yang dihasilkan.

2.2.1 Pembuatan Pati Biji Alpukat

Biji alpukat dicuci terlebih dahulu untuk menghilangkan kotoran yang menempel, kemudian dipotong menjadi ukuran yang lebih kecil. Biji alpukat selanjutnya diblender dengan penambahan aquades hingga terbentuk slurry. Hasil blender disaring untuk memisahkan ampas dan filtrat. Filtrat kemudian didiamkan selama 12 jam untuk mengendapkan pati. Endapan pati yang diperoleh dikeringkan menggunakan oven pada suhu 70°C hingga mencapai berat konstan. Pati kering kemudian dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan 80 mesh untuk memperoleh ukuran partikel yang seragam.

2.2.2 Pembuatan Pulp Selulosa dari Limbah Kertas HVS

Limbah kertas HVS dipotong menjadi bagian-bagian kecil dan direndam dalam air selama 24 jam. Kertas yang telah lunak kemudian diblender hingga membentuk pulp. Pulp selanjutnya diberi perlakuan menggunakan larutan NaOH 25% pada suhu 70–80°C sambil diaduk secara kontinu untuk menghilangkan pengotor dan meningkatkan kandungan selulosa. Setelah proses selesai, pulp dicuci menggunakan aquades hingga mencapai pH netral dan kemudian dikeringkan untuk digunakan pada tahap pembuatan bioplastik.

2.2.3 Pembuatan Bioplastik

Bioplastik dibuat menggunakan metode melt intercalation, yaitu metode pencampuran matriks polimer dan bahan pengisi dalam kondisi panas hingga terbentuk campuran homogen, kemudian dilakukan penguapan pelarut sehingga terbentuk film bioplastik. Sebanyak 5 gram pati biji alpukat dimasukkan ke dalam beaker glass dan ditambahkan 100 mL aquades. Selanjutnya ditambahkan 1 gram CMC, pulp selulosa dengan variasi massa 0; 0,5; 1; dan 1,5 gram, serta sorbitol sebagai plasticizer dengan variasi massa 5; 6; 7; dan 8 gram. Campuran dipanaskan sambil diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 30 menit hingga terjadi proses gelatinisasi dan terbentuk larutan yang homogen. Larutan bioplastik yang terbentuk kemudian dituangkan ke dalam cetakan berukuran 15 cm × 5 cm dan dikeringkan menggunakan oven hingga terbentuk lembaran bioplastik.

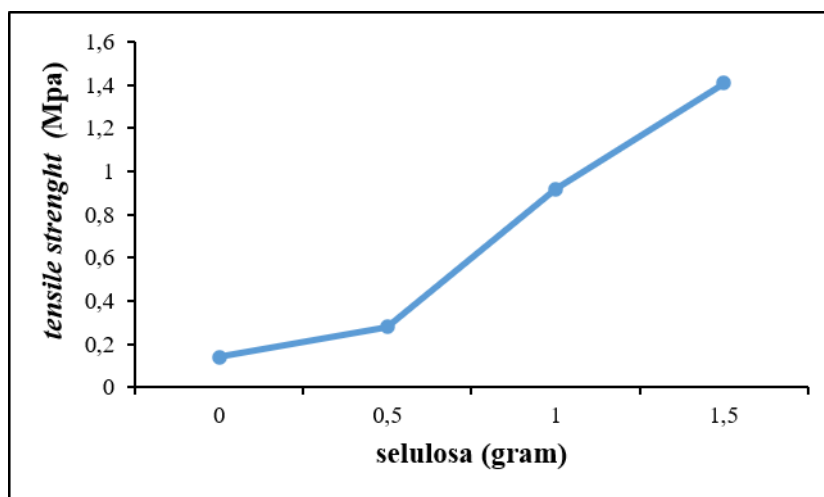
2.3 Karakterisasi Bioplastik

Pengujian sifat mekanik dilakukan untuk menentukan kuat tarik (*tensile strength*), persen perpanjangan saat putus (*elongation at break*), dan modulus elastisitas (*Young's modulus*) dari bioplastik yang dihasilkan.

3. Hasil dan Diskusi

3.4 Uji *Tensile Strength* (Kuat Tarik)

Hasil pengujian kuat tarik bioplastik berbahan dasar pati biji alpukat dan selulosa limbah kertas disajikan pada Gambar 4. Berdasarkan hasil pengujian, peningkatan massa selulosa memberikan pengaruh positif terhadap nilai kuat tarik bioplastik yang dihasilkan. Nilai kuat tarik terendah diperoleh pada sampel tanpa penambahan selulosa yaitu sebesar 0,1387 MPa, sedangkan nilai tertinggi diperoleh pada penambahan selulosa sebanyak 1,5 gram dengan nilai kuat tarik sebesar 1,4068 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan selulosa mampu meningkatkan kemampuan bioplastik dalam menahan gaya tarik sebelum mengalami kerusakan.



Gambar 1. Kuat Tarik Terhadap Massa selulosa

Peningkatan nilai kuat tarik seiring bertambahnya massa selulosa disebabkan oleh peran selulosa sebagai bahan penguat (*reinforcing agent*) dalam matriks pati. Selulosa memiliki struktur rantai polimer linear yang tersusun atas unit β -(1 $\rightarrow$ 4)-D-glukosa dengan derajat kristalinitas yang tinggi. Struktur tersebut memungkinkan terbentuknya interaksi antarmolekul yang kuat melalui ikatan

hidrogen antara gugus hidroksil (-OH) pada selulosa dengan gugus hidroksil yang terdapat pada pati dan CMC. Interaksi ini menghasilkan adhesi antarfase yang lebih baik sehingga meningkatkan kemampuan matriks bioplastik dalam mendistribusikan tegangan secara merata ketika diberikan gaya tarik.

Selain itu, peningkatan jumlah selulosa menyebabkan terbentuknya jaringan penguat yang lebih rapat di dalam matriks bioplastik. Selulosa yang terdispersi secara homogen dapat mengisi rongga-rongga dalam matriks pati sehingga menghasilkan struktur film yang lebih kompak dan mengurangi kemungkinan terjadinya konsentrasi tegangan pada titik tertentu. Struktur yang lebih padat tersebut berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan mekanik bioplastik. Semakin banyak serat selulosa yang berinteraksi dengan matriks pati, semakin besar pula kemampuan material dalam menahan deformasi akibat gaya eksternal.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Intandiana et al. (2019) yang melaporkan bahwa penambahan selulosa pada matriks bioplastik berbasis pati dapat meningkatkan nilai kuat tarik akibat terbentuknya ikatan antarmolekul yang lebih kuat antara filler dan matriks. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Fadilla et al. (2023), yang menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi selulosa menghasilkan peningkatan sifat mekanik bioplastik karena selulosa berfungsi sebagai penguat alami yang mampu meningkatkan integritas struktur film.

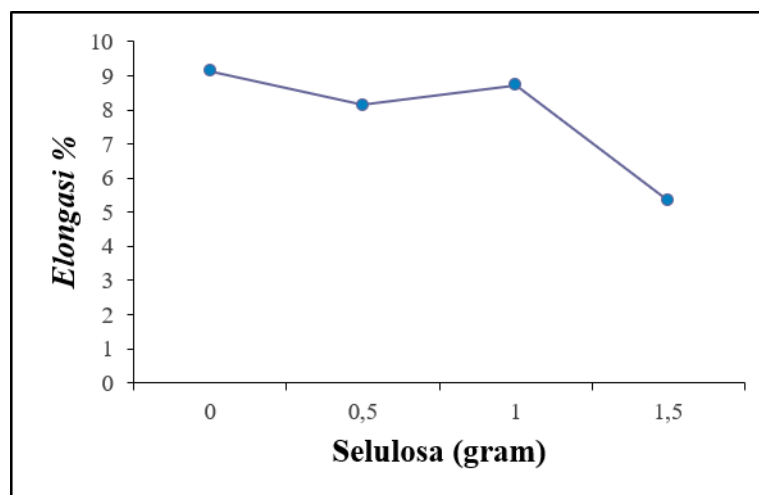
Meskipun terjadi peningkatan nilai kuat tarik yang signifikan, nilai yang diperoleh pada penelitian ini masih relatif rendah jika dibandingkan dengan standar plastik biodegradable komersial. Berdasarkan SNI 7818:2014, plastik biodegradable disyaratkan memiliki kuat tarik minimum sebesar 24 MPa. Nilai kuat tarik bioplastik yang dihasilkan pada penelitian ini hanya berkisar antara 0,1387–1,4068 MPa sehingga belum memenuhi standar tersebut. Rendahnya nilai kuat tarik diduga disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain rendahnya kompatibilitas antara pati dan selulosa, distribusi filler yang belum sempurna, serta penggunaan sorbitol sebagai plasticizer yang cenderung meningkatkan fleksibilitas material namun menurunkan kekuatan mekaniknya. Selain itu, sifat

hidrofilik pati yang tinggi dapat menyebabkan terbentuknya struktur film yang kurang rapat sehingga kekuatan tarik yang dihasilkan masih terbatas.

3.5 Uji Elongasi

Hasil pengujian elongasi bioplastik berbahan dasar pati biji alpukat dan selulosa limbah kertas disajikan pada Gambar 2. Berdasarkan hasil pengujian, nilai elongasi tertinggi sebesar 18,16% diperoleh pada sampel tanpa penambahan selulosa, sedangkan nilai elongasi terendah sebesar 11,52% diperoleh pada sampel dengan penambahan selulosa tertinggi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan massa selulosa menyebabkan penurunan kemampuan bioplastik untuk mengalami perpanjangan sebelum putus.

Penurunan nilai elongasi terjadi karena selulosa berperan sebagai filler penguat yang meningkatkan kekakuan struktur bioplastik. Selulosa memiliki struktur yang relatif kaku dengan tingkat kristalinitas yang tinggi, sehingga ketika ditambahkan ke dalam matriks pati akan membatasi mobilitas rantai polimer. Semakin tinggi konsentrasi selulosa yang ditambahkan, semakin banyak interaksi antarmolekul yang terbentuk antara gugus hidroksil (-OH) pada selulosa, pati, dan CMC melalui ikatan hidrogen. Interaksi ini menghasilkan struktur matriks yang lebih rapat dan kompak sehingga kemampuan rantai polimer untuk bergerak dan mengalami deformasi plastis menjadi semakin terbatas.



Gambar 2. Elongasi terhadap massa selulosa

Terbentuknya ikatan hidrogen yang lebih intensif menyebabkan jarak antarmolekul dalam matriks bioplastik menjadi lebih kecil. Kondisi ini

meningkatkan kekuatan interaksi internal material, namun di sisi lain mengurangi fleksibilitas dan elastisitas film. Akibatnya, material menjadi lebih kaku dan cenderung mengalami kerusakan pada tingkat regangan yang lebih rendah dibandingkan bioplastik tanpa penambahan selulosa. Fenomena tersebut menunjukkan adanya hubungan yang berlawanan antara sifat kekuatan dan kelenturan material, di mana peningkatan kekuatan tarik umumnya diikuti oleh penurunan kemampuan elongasi.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Intandiana et al. (2019), yang melaporkan bahwa peningkatan kandungan selulosa pada bioplastik berbasis pati menyebabkan penurunan persen elongasi akibat meningkatnya kekakuan struktur material. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Amri et al. (2019) dan Fadilla et al. (2023), yang menyatakan bahwa penambahan selulosa sebagai bahan penguat dapat meningkatkan interaksi antarmolekul dan kekuatan mekanik, namun mengurangi fleksibilitas film bioplastik.

Hubungan antara nilai elongasi dan kuat tarik pada penelitian ini menunjukkan tren yang berlawanan. Ketika massa selulosa meningkat, nilai kuat tarik meningkat, sedangkan nilai elongasi menurun. Kondisi ini mengindikasikan bahwa penambahan selulosa berhasil meningkatkan kekuatan struktur bioplastik, tetapi mengurangi kemampuan material untuk mengalami deformasi sebelum putus. Pola yang sama juga umum ditemukan pada material komposit berbasis pati dan serat selulosa, di mana peningkatan kandungan filler menghasilkan material yang lebih kuat namun lebih getas.

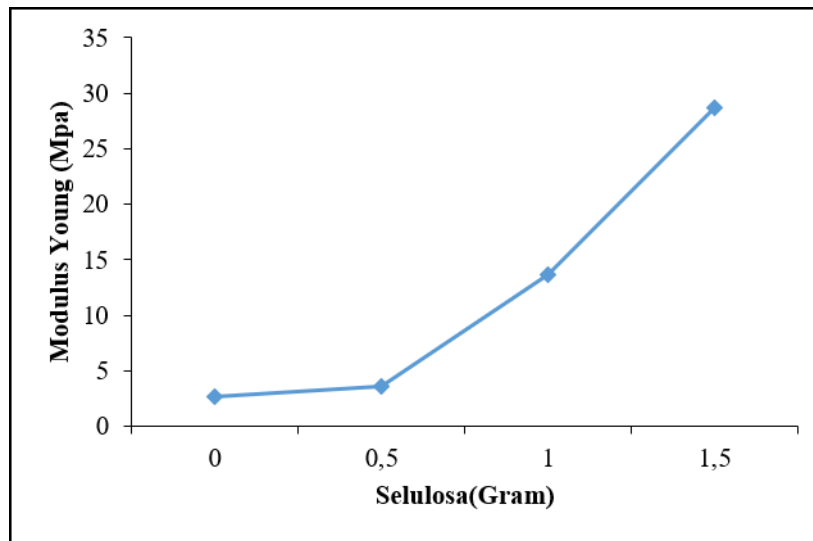
Apabila dibandingkan dengan standar SNI 7818:2014 untuk plastik biodegradable, nilai elongasi yang diperoleh dalam penelitian ini masih berada di bawah rentang yang dipersyaratkan, yaitu 21–220%. Nilai elongasi maksimum yang diperoleh hanya mencapai 18,16%, sehingga bioplastik yang dihasilkan belum memenuhi standar kelenturan yang ditetapkan. Rendahnya nilai elongasi ini diduga disebabkan oleh tingginya interaksi ikatan hidrogen antara pati dan selulosa, distribusi filler yang belum sepenuhnya homogen, serta terbatasnya kemampuan sorbitol sebagai plasticizer dalam meningkatkan fleksibilitas matriks pada komposisi yang digunakan.

3.6 Uji *Modulus Young*

Hasil pengujian modulus Young bioplastik berbahan dasar pati biji alpukat dan selulosa limbah kertas disajikan pada Gambar 3. Berdasarkan hasil pengujian, peningkatan massa selulosa menyebabkan peningkatan nilai modulus Young bioplastik yang dihasilkan. Peningkatan nilai modulus Young menunjukkan bahwa material menjadi lebih kaku (*rigid*) dan memiliki ketahanan yang lebih tinggi terhadap deformasi elastis ketika diberikan gaya. Sebaliknya, nilai modulus Young yang rendah mengindikasikan bahwa material bersifat lebih fleksibel dan mudah mengalami deformasi.

Peningkatan modulus Young pada penelitian ini berkaitan erat dengan fungsi selulosa sebagai bahan penguat (*reinforcing filler*) dalam matriks pati biji alpukat. Selulosa memiliki struktur yang tersusun atas rantai polimer linier dengan tingkat kristalinitas yang tinggi sehingga mampu meningkatkan kekakuan material komposit. Penambahan selulosa menyebabkan terbentuknya interaksi yang kuat antara gugus hidroksil (-OH) pada selulosa dengan gugus hidroksil yang terdapat pada pati dan CMC melalui ikatan hidrogen. Interaksi tersebut menghasilkan struktur matriks yang lebih rapat dan kompak sehingga pergerakan rantai polimer menjadi lebih terbatas. Akibatnya, material memerlukan gaya yang lebih besar untuk mengalami deformasi, yang ditunjukkan oleh meningkatnya nilai modulus Young.

Peningkatan nilai modulus Young yang diikuti oleh peningkatan kuat tarik dan penurunan elongasi menunjukkan bahwa penambahan selulosa berhasil meningkatkan kekuatan dan kekakuan bioplastik. Fenomena ini umum terjadi pada material biokomposit berbasis pati dan selulosa, di mana filler selulosa berfungsi memperkuat matriks polimer dengan mengurangi mobilitas rantai molekul. Struktur yang lebih kaku memungkinkan distribusi tegangan yang lebih merata selama proses pembebanan sehingga meningkatkan kemampuan material dalam menahan gaya tarik.



Gambar 3. *Modulus Young Terhadap Massa Selulosa*

Di sisi lain, keberadaan sorbitol sebagai plasticizer berperan dalam meningkatkan fleksibilitas bioplastik dengan memperbesar jarak antarmolekul dan meningkatkan mobilitas rantai polimer. Sorbitol dapat mengurangi kekakuan yang berlebihan akibat penambahan selulosa sehingga film bioplastik tidak menjadi terlalu rapuh. Dengan demikian, sifat mekanik bioplastik yang dihasilkan merupakan hasil interaksi antara efek penguatan dari selulosa dan efek plastisasi dari sorbitol. Keseimbangan kedua komponen tersebut sangat menentukan karakteristik akhir bioplastik yang dihasilkan.

Selain itu, karakteristik pati biji alpukat juga berkontribusi terhadap nilai modulus Young. Pati tersusun atas dua komponen utama, yaitu amilosa dan amilopektin. Amilosa memiliki struktur rantai linier yang mampu membentuk ikatan antarmolekul yang kuat sehingga berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan dan kekakuan film bioplastik. Sebaliknya, amilopektin memiliki struktur bercabang yang cenderung meningkatkan fleksibilitas tetapi dapat mengurangi kekuatan mekanik jika jumlahnya terlalu dominan. Oleh karena itu, keseimbangan antara kandungan amilosa dan amilopektin pada pati biji alpukat menjadi faktor penting dalam pembentukan struktur bioplastik yang stabil dan memiliki sifat mekanik yang baik.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Fadilla et al. (2023) yang melaporkan bahwa peningkatan kandungan selulosa pada bioplastik berbasis pati

dapat meningkatkan nilai modulus Young akibat terbentuknya struktur komposit yang lebih kaku dan padat. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Lailyningtyas et al. (2020), yang menyatakan bahwa interaksi antara amilosa, selulosa, dan plasticizer berpengaruh signifikan terhadap sifat elastisitas dan kekakuan bioplastik.

4. Simpulan dan Saran

Penelitian ini berhasil menghasilkan bioplastik berbahan dasar pati biji alpukat dan selulosa limbah kertas menggunakan metode *melt intercalation*. Penambahan selulosa berpengaruh terhadap sifat mekanik bioplastik, ditunjukkan oleh peningkatan nilai kuat tarik dan modulus Young serta penurunan nilai elongasi seiring bertambahnya massa selulosa. Formulasi dengan penambahan 1,5 gram selulosa menghasilkan karakteristik mekanik terbaik dengan nilai kuat tarik tertinggi sebesar 1,4068 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa selulosa limbah kertas berpotensi digunakan sebagai bahan penguat alami pada bioplastik berbasis pati biji alpukat, meskipun sifat mekanik yang diperoleh masih memerlukan optimasi lebih lanjut agar memenuhi standar plastik biodegradable yang berlaku.

5. Ucapan Terimakasih

Kami menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Rektor Universitas Malikussaleh beserta Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Malikussaleh atas kepercayaan dan kesempatan yang diberikan kepada kami untuk melaksanakan penelitian ini. Penelitian ini sepenuhnya didukung oleh dana PNPB Universitas Malikussaleh Tahun Anggaran 2025 berdasarkan kontrak penelitian nomor 121/PPK-2/SWK-II/AL.04/2025.

6. Daftar Pustaka

1. Abe, M., Yamaguchi, K., & Hasegawa, K. (2021). Structural characteristics and physicochemical properties of starch-based biodegradable materials. *Carbohydrate Polymers*, 251, 117095. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117095>

2. Chang, Y. H., Lin, C. L., & Chen, J. C. (2021). Amylose and amylopectin structures affecting the properties of starch-based biodegradable films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 183, 1520–1528. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.028>
3. Lounis, F. M., Benhacine, F., & Hadj-Hamou, A. S. (2024). Improving water barrier properties of starch-based bioplastics by lignocellulosic biomass addition: Synthesis, characterization and antibacterial properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 283, 137823. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.137823>
4. Muñoz-Gimena, P. F., Aragón-Gutiérrez, A., Blázquez-Blázquez, E., Arrieta, M. P., Rodríguez, G., Peponi, L., & López, D. (2024). Avocado seed starch-based films reinforced with starch nanocrystals. *Polymers*, 16(20), 2868. <https://doi.org/10.3390/polym16202868>
5. Olusanya, J. O., Mohan, T. P., & Kanny, K. (2023). Effect of nanoclay on mechanical and thermal properties of cellulose nanoparticles-filled cornstarch bioplastic film. *Journal of Polymer Research*, 30, 262. <https://doi.org/10.1007/s10965-023-03646-1>
6. Rendón-Villalobos, R., Lorenzo-Santiago, M. A., Olvera-Guerra, R., & Trujillo-Hernández, C. A. (2022). Bioplastic composed of starch and micro-cellulose from waste mango: Mechanical properties and biodegradation. *Polímeros*, 32(3), e2022026. <https://doi.org/10.1590/0104-1428.20210031>
7. Sharma, S., Singh, R., & Verma, A. (2024). Advancing sustainable bioplastics: Chemical and physical modification of starch films for enhanced thermal and barrier properties. *RSC Advances*, 14(33), 23943–23951. <https://doi.org/10.1039/D4RA04263H>
8. Tassew, N. A., Andualem, T. L., Prasad, D. M., Endeshaw, M. A., & Ramesh, R. (2025). Avocado seed starch bioplastic film reinforced with enset cellulose for sustainable packaging. *Scientific Reports*, 15(1), 41075. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-24935-3>
9. Wahyudi, M. N., Hartanti, A., Sari, D. A., Hakim, M. F., & Aeni, A. R. (2025). Bioplastics from avocado seed starch: Effects of chitosan and PVA on mechanical properties, water resistance, and biodegradability. *Journal of Chemical Process Engineering*, 10(1). <https://doi.org/10.33096/jcpe.v10i1.1641>