



Homepage Journal: <https://jurnal.unismuhpalu.ac.id/index.php/JKS>

Pengaruh Penambahan Arang Aktif Terhadap Karakteristik Bioplastik Berbasis Pati Singkong

The Effect of Activated Charcoal Addition on the Characteristics of Cassava Starch-Based Bioplastics

Arum Lailan Safitri¹, Aidina Seisila Yanti², Triana Adelika³, Nurul Fitria Miraza⁴, Dedek Sibuea⁵, Miftahul Husnah⁶

¹ Program Studi Fisika, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, arum0705231007@uinsu.ac.id

² Program Studi Fisika, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, aidina0705231014@uinsu.ac.id

³ Program Studi Fisika, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, triana0705231015@uinsu.ac.id

⁴ Program Studi Fisika, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, nurul0705232016@uinsu.ac.id

⁵ Program Studi Fisika, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, dedek0705233023@uinsu.ac.id

⁶ Program Studi Fisika, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, miftahulhusnah@uinsu.ac.id

*Corresponding Author: E-mail: miftahulhusnah@uinsu.ac.id

Artikel Penelitian

Article History:

Received: 11 Mei, 2026

Revised: 23 June, 2026

Accepted: 17 July, 2026

Kata Kunci:

Bioplastik, Pati Singkong, Arang Aktif, FTIR, Uji Tarik.

Keywords:

Bioplastics, Cassava Starch, Activated Charcoal, FTIR, Tensile Strength.

DOI: [10.56338/jks.v9i7.11757](https://doi.org/10.56338/jks.v9i7.11757)

ABSTRAK

Bioplastik merupakan salah satu alternatif material ramah lingkungan yang dapat menggantikan plastik berbasis petrokimia. Penelitian ini bertujuan untuk membuat bioplastik berbahan dasar pati singkong dengan penambahan gliserol sebagai plasticizer dan arang aktif sebagai *filler*, serta menganalisis karakteristiknya melalui uji *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), uji tarik, uji kadar air, dan uji daya serap air. Bioplastik dibuat menggunakan metode gelatinisasi dengan variasi penambahan arang aktif sebesar 0 g, 0,3 g, dan 0,5 g. Hasil analisis FTIR menunjukkan bahwa seluruh sampel memiliki gugus fungsi utama yang sama, yaitu O–H, C–H, H–O–H, C–O–C, dan C–O, sehingga penambahan arang aktif tidak membentuk gugus fungsi baru. Hasil uji tarik menunjukkan bahwa kekuatan tarik meningkat seiring bertambahnya karbon aktif, dari 0,0993 MPa pada sampel A menjadi 0,1261 MPa pada sampel C. Uji kadar air menunjukkan penurunan nilai dari 25% menjadi 20%, yang mengindikasikan struktur bioplastik semakin rapat. Sementara itu, uji daya serap air menghasilkan nilai sebesar 70%, 45,45%, dan 61,54% untuk masing-masing sampel. Secara keseluruhan, penambahan arang aktif mampu meningkatkan sifat mekanik serta menurunkan kadar air bioplastik tanpa mengubah struktur kimia utamanya, sehingga berpotensi meningkatkan kualitas bioplastik berbasis pati singkong.

ABSTRACT

Bioplastics are considered a promising environmentally friendly alternative to conventional petroleum-based plastics. This study aimed to produce cassava starch-based bioplastics by incorporating glycerol as a plasticizer and activated charcoal as a filler, and to evaluate their characteristics using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), tensile strength, moisture content, and water absorption tests. The bioplastics were prepared using the gelatinization method with different amounts of activated charcoal (0 g, 0.3 g, and 0.5 g). FTIR analysis revealed that all samples exhibited the same major functional groups, namely O–H, C–H, H–O–H, C–O–C, and C–O, indicating that the addition of activated charcoal did not introduce any new functional groups. The tensile strength increased with increasing activated charcoal content, from 0.0993 MPa in Sample A to 0.1261 MPa in Sample C. The moisture content decreased from 25% to 20%, suggesting the formation of a denser bioplastic structure. The water absorption values were 70%, 45.45%, and 61.54% for Samples A, B, and C, respectively. Overall, the incorporation of activated charcoal improved the mechanical properties and reduced the moisture content of the bioplastics without altering their primary chemical structure, thereby enhancing the quality and performance of cassava starch-based bioplastics.

PENDAHULUAN

Penggunaan plastik konvensional berbasis petrokimia terus meningkat karena memiliki sifat ringan, kuat, fleksibel, dan ekonomis. Namun, plastik konvensional sulit terdegradasi secara alami sehingga menimbulkan akumulasi limbah yang berdampak negatif terhadap lingkungan. Kondisi ini mendorong pengembangan material alternatif yang lebih ramah lingkungan, salah satunya bioplastik yang berasal dari sumber daya terbarukan dan dapat terurai oleh aktivitas mikroorganisme (Masahid et al., 2023).

Pati singkong merupakan salah satu bahan yang berpotensi digunakan sebagai bahan baku bioplastik karena ketersediaannya yang melimpah di Indonesia, biaya produksi yang relatif rendah, serta kandungan amilosa dan amilopektin yang mampu membentuk matriks polimer. Selain itu, pati singkong memiliki kemampuan gelatinisasi yang baik sehingga sering dimanfaatkan dalam sintesis bioplastik biodegradable (Annisa et al., 2024).

Meskipun demikian, bioplastik berbasis pati memiliki beberapa kelemahan, seperti sifat mekanik yang rendah, mudah rapuh, dan memiliki daya serap air yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan penambahan plasticizer seperti gliserol untuk meningkatkan fleksibilitas dan elastisitas material. Selain itu, penggunaan arang aktif sebagai bahan pengisi (*filler*) diharapkan mampu meningkatkan kekuatan mekanik serta memperbaiki struktur material bioplastik (Dewi et al., 2023).

Karakterisasi bioplastik diperlukan untuk mengetahui kualitas material yang dihasilkan. Analisis *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi penyusun material dan interaksi antarkomponen selama proses sintesis. Selain itu, uji tarik dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik material, sedangkan uji kadar air digunakan untuk menentukan kemampuan penyerapan air yang berpengaruh terhadap stabilitas bioplastik selama penyimpanan (Suryati et al., 2017).

Penelitian ini bertujuan untuk membuat bioplastik berbasis pati singkong dengan penambahan gliserol dan arang aktif serta menganalisis karakteristik kimia dan fisiknya melalui pengujian FTIR, uji tarik, dan uji kadar air.

METODE

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen melalui pembuatan bioplastik berbahan dasar pati singkong dengan variasi penambahan arang aktif. Bioplastik yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi

menggunakan FTIR, uji tarik, uji kadar air, dan uji daya serap air.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan meliputi hot plate, gelas beker, spatula, timbangan digital, neraca analitik, termometer, cetakan berukuran 15×15 cm, oven, *Universal Testing Machine* (UTM), dan FTIR Spectrometer.

Bahan yang digunakan terdiri atas pati singkong, akuades, gliserol, dan karbon aktif.

Pembuatan Pati Singkong

Umbi singkong dikupas, dicuci, kemudian dihaluskan menggunakan blender dengan penambahan air secukupnya. Bubur singkong disaring menggunakan kain saring dan filtrat yang diperoleh didiamkan selama 2–3 jam hingga pati mengendap. Endapan pati kemudian dikeringkan hingga diperoleh pati singkong dalam bentuk serbuk.

Pembuatan Bioplastik

Sebanyak 4 g pati singkong dicampurkan dengan 100 mL aquades dan dipanaskan pada suhu $70\text{--}80^\circ\text{C}$ hingga mengalami gelatinisasi. Setelah homogen, ditambahkan gliserol sebanyak 1,5 mL dan arang aktif sesuai variasi perlakuan.

Tabel 1. Komposisi Bioplastik

Sampel	Gliserol (mL)	Arang aktif(g)
A	1,5	-
B	1,5	0,3
C	1,5	0,5

Campuran dituangkan ke dalam cetakan berukuran 15×15 cm dan dikeringkan pada suhu 60°C selama 24 jam. Film bioplastik yang terbentuk kemudian dilepaskan dari cetakan dan dipotong sesuai kebutuhan pengujian.

Karakterisasi Bioplastik

Analisis FTIR

Analisis FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada bioplastik, seperti gugus O–H, C=O, dan C–O.

Uji Tarik

Pengujian dilakukan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM). Parameter yang diukur meliputi kuat tarik (tensile strength), elongasi saat putus (elongation at break), dan modulus elastisitas. Kuat tarik dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Keterangan:

σ = kuat tarik (MPa)

F = gaya maksimum (N)

A = luas penampang (mm^2)

Elongasi dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100$$

Keterangan:

L = panjang akhir (mm)

L_0 = panjang awal (mm)

Modulus elastisitas dihitung menggunakan Persamaan (3).

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Uji Kadar Air

Pengujian daya serap air dilakukan dengan memotong sampel ukuran 2×2 cm, kemudian dilakukan penimbangan berat awal. Setelah itu sampel direndam dalam aquades selama 24 jam. Setelah itu sampel diletakkan di atas kertas saring. Sampel lalu ditimbang berat akhirnya. Kadar air dihitung menggunakan metode gravimetri berdasarkan Persamaan (4).

$$\text{Kadar Air} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100$$

Keterangan:

W_0 = massa awal sampel (g)

W_1 = massa setelah pengeringan (g)

Uji Daya Serap Air

Uji daya serap air dilakukan untuk mengetahui batas kemampuan plastik biodegradable, dalam menyerap air sampai batas maksimal. Uji daya serap air (DSA%) dilakukan dengan cara mengukur massa sampel bioplastik keadaan kering (m_0) dengan massa sampel bioplastik setelah direndam dengan air (m_1).

Perhitungan persen penyerapan air pada plastik dapat menggunakan persamaan:

$$\% \text{DSA} = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100\%$$

HASIL

Hasil pembuatan bioplastik dengan variasi penambahan arang aktif ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tampilan bioplastik yang dihasilkan pada Setiap Sampel

Berdasarkan Gambar 1, seluruh variasi sampel berhasil membentuk film bioplastik setelah melalui proses gelatinisasi dan pengeringan. Secara visual, Sampel A memiliki warna paling terang, sedangkan Sampel B dan Sampel C menunjukkan warna yang semakin gelap seiring dengan bertambahnya jumlah arang aktif yang ditambahkan sebagai bahan pengisi (*filler*). Perbedaan warna tersebut menunjukkan bahwa penambahan arang aktif memberikan pengaruh terhadap karakteristik visual bioplastik. Selain memengaruhi penampilan visual, penambahan *filler* juga dapat meningkatkan kerapatan matriks bioplastik sehingga berpotensi memperbaiki sifat mekanik dan karakteristik fisiknya (Dewi et al., 2023). Oleh karena itu, dilakukan karakterisasi lebih lanjut menggunakan FTIR, uji tarik,

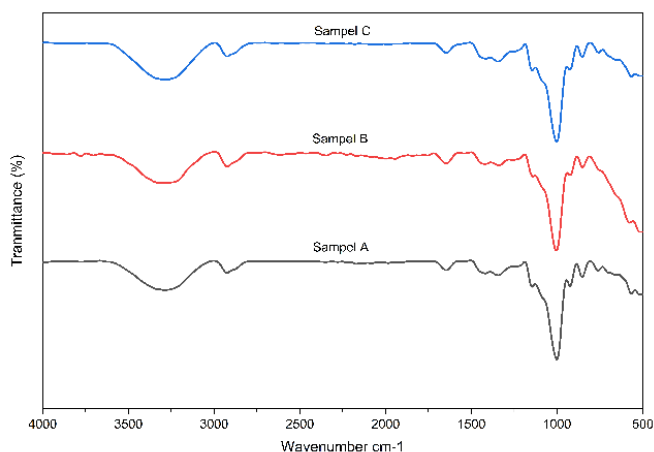
uji kadar air, dan uji daya serap untuk mengevaluasi pengaruh penambahan arang aktif terhadap sifat kimia dan fisik bioplastik.

Uji FTIR

Pengujian *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada bioplastik berbahan dasar pati singkong dengan penambahan gliserol sebagai plasticizer dan arang aktif sebagai *filler*. Pengujian dilakukan menggunakan instrumen FTIR pada rentang bilangan gelombang 4000–500 cm^{-1} . Spektrum inframerah yang diperoleh digunakan untuk mengamati karakteristik gugus fungsi serta mengevaluasi pengaruh penambahan arang aktif terhadap struktur kimia bioplastik. Hasil identifikasi gugus fungsi pada setiap variasi sampel disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian FTIR Bioplastik

Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Gugus Fungsi	Jenis Vibrasi	Keterangan
3290	O–H	Stretching	Gugus hidroksil dari pati dan gliserol
2924	C–H	Stretching	Gugus alifatik CH_2/CH_3
1645	H–O–H	Bending	Air terikat dalam matriks bioplastik
1145	C–O–C	Stretching	Ikatan glikosidik polisakarida
1005	C–O	Stretching	Daerah sidik jari pati
925	C–O–C	Bending	Ikatan glikosidik
852	C–O–C	Bending	Struktur polisakarida
566	Skeletal vibration	—	Vibrasi rangka cincin glukosa



Gambar 2. Spektrum FTIR Bioplastik pada Setiap Sampel

Berdasarkan hasil spektrum FTIR, ketiga sampel bioplastik menunjukkan pola serapan yang relatif sama. Pita serapan utama terdeteksi pada bilangan gelombang sekitar 3290 cm^{-1} , 2924 cm^{-1} , 1645

cm^{-1} , 1145 cm^{-1} , 1005 cm^{-1} , 925 cm^{-1} , 852 cm^{-1} , dan 566 cm^{-1} . Kesamaan posisi pita serapan tersebut menunjukkan bahwa penambahan arang aktif tidak menghasilkan gugus fungsi baru pada bioplastik berbahan dasar pati singkong, sehingga struktur kimia utama material tetap dipertahankan.

Pita serapan pada 3290 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur (stretching) gugus O–H yang berasal dari pati singkong dan gliserol, sedangkan pita pada 2924 cm^{-1} mengindikasikan vibrasi ulur gugus C–H alifatik. Pita serapan pada 1645 cm^{-1} berkaitan dengan vibrasi tekuk (bending) molekul air yang terikat pada matriks bioplastik. Selanjutnya, pita serapan pada 1145 cm^{-1} dan 1005 cm^{-1} menunjukkan vibrasi gugus C–O–C dan C–O yang merupakan daerah sidik jari (fingerprint region) khas polisakarida penyusun pati. Sementara itu, pita serapan pada 925 cm^{-1} , 852 cm^{-1} , dan 566 cm^{-1} berhubungan dengan vibrasi ikatan glikosidik dan rangka cincin glukosa penyusun pati. Hasil ini sesuai dengan karakteristik bioplastik berbasis pati yang telah dilaporkan oleh Amaraweera et al. (2021).

Tidak ditemukannya pita serapan baru maupun pergeseran bilangan gelombang yang signifikan menunjukkan bahwa penambahan arang aktif hingga 0,5 g tidak mengubah struktur kimia utama bioplastik, melainkan diduga hanya berperan sebagai *filler* yang meningkatkan kerapatan matriks melalui interaksi fisik. Hasil ini sejalan dengan penelitian Tan et al. (2022) yang menyatakan bahwa penambahan *filler* pada bioplastik berbasis pati umumnya memengaruhi sifat fisik material tanpa membentuk gugus fungsi baru.

Uji Tarik

Pengujian kuat tarik dilakukan untuk mengetahui kemampuan bioplastik dalam menahan gaya tarik serta mengevaluasi pengaruh penambahan arang aktif terhadap sifat mekanik bioplastik berbahan dasar pati singkong. Hasil pengujian kuat tarik disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tarik Bioplastik

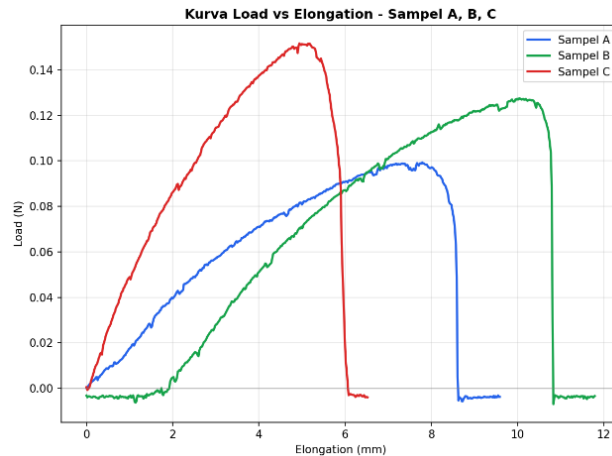
Sampel	Komposisi	Kekuatan Tarik (MPa)
A	Pati singkong + gliserol + asam asetat	0,0993
B	Pati singkong + gliserol + asam asetat + arang aktif 0,3 g	0,1134
C	Pati singkong + gliserol + asam asetat + arang aktif 0,5 g	0,1261

Berdasarkan Tabel 3., nilai kekuatan tarik bioplastik meningkat seiring dengan bertambahnya massa arang aktif. Sampel A menghasilkan nilai kuat tarik sebesar 0,0993 MPa, kemudian meningkat menjadi 0,1134 MPa pada Sampel B dan mencapai 0,1261 MPa pada Sampel C. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa penambahan arang aktif memberikan pengaruh positif terhadap sifat mekanik bioplastik.

Arang aktif diduga berperan sebagai bahan pengisi (*filler*) yang memperbaiki kerapatan matriks pati sehingga distribusi tegangan selama proses penarikan menjadi lebih merata. Kondisi tersebut menyebabkan bioplastik memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menahan beban tarik.

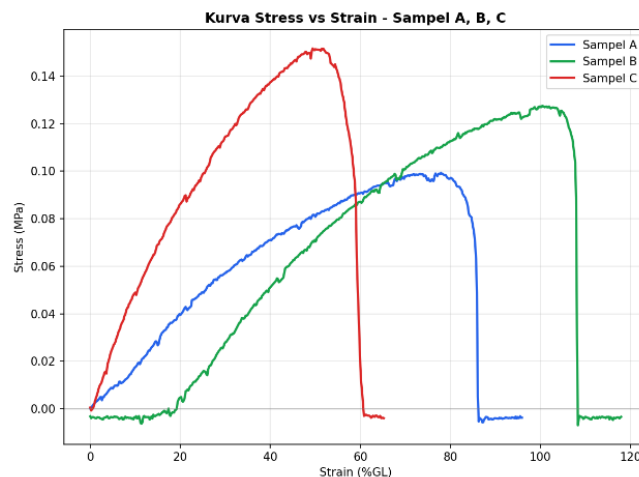
Hasil ini didukung oleh analisis FTIR yang menunjukkan tidak adanya gugus fungsi baru setelah penambahan arang aktif, sehingga peningkatan kuat tarik diduga lebih dipengaruhi oleh interaksi fisik antara partikel arang aktif dan matriks pati dibandingkan perubahan struktur kimia. Selain itu, hasil

pengujian kadar air yang semakin rendah pada setiap variasi arang aktif mengindikasikan bahwa struktur bioplastik menjadi lebih rapat, sehingga turut berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan tarik. Hasil penelitian ini sejalan dengan Tan et al. (2022) yang menyatakan bahwa penambahan *filler* pada bioplastik berbasis pati dapat meningkatkan sifat mekanik melalui penguatan matriks polimer apabila partikel pengisi terdispersi secara baik. Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai perilaku mekanik bioplastik selama pengujian tarik, hasil hubungan antara beban (*load*) dan pertambahan panjang (*elongation*) pada masing-masing sampel dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Hubungan Beban (*Load*) Terhadap Pertambahan Panjang (*Elongation*) Pada Setiap Sampel

Untuk melihat bagaimana setiap sampel merespons gaya yang diberikan selama uji tarik, hubungan antara tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Hubungan Tegangan (*Stress*) Terhadap Regangan (*Strain*) Pada Setiap Sampel.

Kedua kurva itu kita bisa lihat karakter masing-masing sampel bioplastik. Pada kurva Load vs Elongation, terlihat gaya tarik yang ditahan tiap sampel sebelum putus: Sampel C paling kuat menahan beban dengan puncak sekitar 0,15 N, tapi ia juga yang paling cepat putus, yaitu di sekitar 6 mm elongasi. Sampel B justru sebaliknya, paling mulur di antara ketiganya sampai sekitar 10,8 mm sebelum putus,

meski beban puncaknya berada di tengah-tengah. Sampel A tergolong paling lemah, dengan penurunan gaya yang lebih cepat setelah mencapai titik puncaknya.

Sementara itu, kurva *Stress* vs *Strain* memberi gambaran yang lebih adil karena sudah dinormalisasi terhadap luas penampang dan panjang gauge, sehingga benar-benar mencerminkan kekuatan material itu sendiri. Pola yang muncul pun serupa: Sampel C tetap menjadi yang paling kaku dan kuat dengan tegangan tertinggi, namun paling getas karena regangan putusnya paling kecil, sekitar 60%. Sampel B kebalikannya, paling elastis dan lentur dengan regangan putus terbesar mencapai sekitar 108%, walau tegangannya lebih rendah. Sampel A lagi-lagi berada di posisi tengah di antara keduanya.

Uji Kadar Air

Pengujian kadar air dilakukan untuk mengetahui jumlah air yang terkandung di dalam sampel bioplastik. Kadar air merupakan salah satu parameter penting yang memengaruhi sifat fisik dan stabilitas bioplastik, karena kandungan air yang tinggi dapat menurunkan kekuatan mekanik, mempercepat proses degradasi, serta memengaruhi umur simpan material. Oleh karena itu, pengujian kadar air dilakukan untuk mengevaluasi kualitas bioplastik yang dihasilkan. Hasil pengujian kadar air ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kadar Air Bioplastik

Sampel	W_0 (g)	W_1 (g)	Hasil Uji (%)
A	0,08	0,06	25
B	0,09	0,07	22,2
C	0,10	0,08	20

Berdasarkan hasil uji kadar air yang didapatkan, nilai kadar air berada pada rentang 20%-25%. Nilai tertinggi didapatkan pada sampel A dan terendah pada sampel C. Nilai kadar air bioplastik mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya massa arang aktif. Sampel 1 yang hanya terdiri atas pati singkong, asam asetat, dan gliserol memiliki kadar air sebesar 25%. Setelah ditambahkan arang aktif sebanyak 0,3 g pada Sampel 2, kadar air menurun menjadi 22,2%. Penambahan arang aktif hingga 0,5 g pada Sampel 3 kembali menurunkan kadar air menjadi 20%. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan arang aktif mampu mengurangi kandungan air dalam bioplastik.

Penurunan kadar air diduga disebabkan oleh peran arang aktif sebagai bahan pengisi (*filler*) yang membuat struktur matriks bioplastik menjadi lebih rapat. Struktur yang lebih padat mengurangi ruang kosong di dalam matriks sehingga jumlah air yang tertahan di dalam bioplastik menjadi lebih sedikit. Selain itu, adanya interaksi antara pati singkong, asam asetat, dan arang aktif dapat meningkatkan kekompakan struktur bioplastik sehingga kandungan air yang tersisa setelah proses pengeringan semakin rendah. Dengan demikian, semakin besar penambahan arang aktif, semakin rendah nilai kadar air yang dihasilkan. Nilai kadar air yang rendah menunjukkan bioplastik memiliki stabilitas yang lebih baik terhadap kelembapan dan berpotensi memiliki umur simpan yang lebih lama.

Uji Daya Serap

Pengujian terhadap kemampuan menyerap air dilakukan untuk mengukur penyerapan sampel saat berinteraksi dan terkena oleh air. Pengujian daya serap air dapat digunakan untuk memperkirakan

umur simpan plastik, mengidentifikasi risiko pertumbuhan mikroba seperti jamur/bakteri. Hasil daya serap air ditunjukkan oleh Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Daya Serap Bioplastik

Sampel	Daya Serap Air (%)	ASTM D570-98
A	70	
B	45,45	Min 16,63%
C	61,54	

Dari Tabel 5. dapat dilihat daya serap air sampel A yaitu 70%, sampel B yaitu 45,45% dan sampel C yaitu 61,54%. Dengan demikian ketiga sampel bioplastik memenuhi standar ASTM-D570-98 karena melebihi nilai minimum yaitu 16,63%. Dari ketiga sampel tersebut dapat di ambil kesimpulan bahwa sampel A memiliki daya serap yang paling bagus di 70%, lalu sampel C di 61,54% dan sampel B di 45,45%.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, bioplastik berbahan dasar pati singkong berhasil dibuat dengan penambahan gliserol dan arang aktif. Hasil analisis FTIR menunjukkan bahwa penambahan arang aktif tidak mengubah gugus fungsi utama pada bioplastik. Penambahan arang aktif mampu meningkatkan kekuatan tarik bioplastik, dengan nilai tertinggi sebesar 0,1261 MPa pada Sampel C, serta menurunkan kadar air dari 25% menjadi 20%. Hasil uji daya serap air menunjukkan bahwa seluruh sampel memenuhi standar ASTM D570-98, dengan nilai daya serap tertinggi sebesar 70% pada Sampel A. Secara keseluruhan, penambahan arang aktif memberikan pengaruh positif terhadap sifat mekanik dan karakteristik fisik bioplastik berbasis pati singkong.

DAFTAR PUSTAKA

- Annisa, N. Q., Santosa, S., & Ismanto, S. D. (2024). Analisis sifat fisik dan mekanik plastik biodegradable berbahan dasar pati singkong dengan penambahan plasticizer sorbitol. *GreenTech*, 1(2), 158–172. <https://doi.org/10.25077/greentech.v1i2.13>
- Argananda, M., Pratama, R. A., & Sari, D. P. (2025). Bioplastik dari kombinasi pati aren-singkong dengan filler arang kulit kopi. *Metana: Jurnal Rekayasa Proses*, 21(1), 45–53. <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/metana/article/view/78008>
- Dewi, K. S. D. N., Yulianti, N. L., & Setiyo, Y. (2023). Karakteristik fisik kemasan bioplastik dari pati singkong dan karagenan dengan variasi durasi gelatinisasi dan jenis plasticizer. *Jurnal BETA*, 11(2), 184–193. <https://doi.org/10.24843/JBETA.2023.v11.i02.p06>
- Fadhallah, M., Putra, A. R., & Lestari, D. (2025). Physicomechanical properties of bioplastics from kappa-carrageenan and cassava peel starch. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 28(2), 112–120. <https://journal.ipb.ac.id/jphpi/article/view/61874>
- Hanifah, N., Aulia, R., & Prasetyo, B. (2024). Tinjauan sistematis peningkatan ketahanan kemasan ramah lingkungan berbasis pati singkong. *Journal of Science and Engineering*, 5(1), 33–41. <https://jse.serambimekkah.id/index.php/jse/article/view/627>
- Masahid, A. D., Aprillia, N. A., Witono, Y., & Azkiyah, L. (2023). Karakteristik fisik dan mekanik plastik biodegradable berbasis pati singkong dengan penambahan whey keju dan plastisiser gliserol. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 24(1), 23–34. <https://doi.org/10.21776/ub.jtp.2023.024.01.3>

- Muharam, A., Saputra, D., & Hidayat, R. (2022). Karakteristik daya serap air dan biodegradabilitas pada bioplastik berbasis pati singkong dengan penambahan polyvinyl alcohol. *Jurnal Rekayasa Material dan Energi*, 10(3), 201–210.
- Nurhidayah, P., Fajarwati, Y. E., & Fitri, A. C. K. (2024). Analisa uji biodegradasi bioplastik dari pati kulit singkong dengan variasi volume gliserol, selulosa jerami padi dan kitosan. *Prosiding SENTIKUIN*.
- Suryati, S., Meriatna, M., & Marlina, M. (2017). Optimasi proses pembuatan bioplastik dari pati limbah kulit singkong. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 5(1), 78–91. <https://doi.org/10.29103/jtku.v5i1.81>
- Wening, D. N., & Amalia, R. (2023). Optimasi kondisi operasi pembuatan plastik biodegradable dari selulosa tongkol jagung dan pati kulit singkong dengan penambahan PVA dan TiO₂ sebagai smart packaging. *Jurnal Rekayasa Proses*, 17(2), 98–107. <https://journal.ugm.ac.id/jrekpros/article/view/11016>
- Widiastuti, E., & Marlina, L. (2022). Sintesis nanofiller dari rumput alang-alang untuk pembuatan film bioplastik berbahan dasar pati-kitosan. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 44(1), 15–23. <https://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/kimia/article/view/3268>