

Analisis Perlakuan Asap Cair Pada Serat Ampas Batang Sagu (Metroxylon Sago) terhadap Morfologi Dan Kekuatan Tarik Serat Tunggal

Mukhlis Muslimin^{1*}, Bambang Tjiroso¹, Irwanda Yahya¹

¹Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Khairun, Ternate

*E-mail : mukhlis@unkhair.ac.id

Received: 31 Juli 2026; Received in revised form: 11 Agustus 2026; Accepted: 11 Agustus 2026

Abstract

Metroxylon sago is a palm that grows widely in tropical wetlands and has high economic and ecological value. The sago stem pulp waste contains cellulose fibers that have potential as reinforcement in composite materials. However, the hydrophilic nature and surface impurities of natural fibers limit their mechanical performance. Therefore, this study aims to analyze the effect of liquid smoke treatment on the morphology and tensile strength of single fibers from sago stem pulp. This study used an experimental method. The fibers were soaked in coconut shell liquid smoke for 1, 2, and 3 hours, followed by drying in an oven at 40°C for 30 minutes. Morphological observations were performed using a JEOL JCM 6000 Scanning Electron Microscope, and single fiber tensile tests were conducted according to ASTM D3379-02 standard. The results were compared with untreated fibers as control. The results showed that liquid smoke treatment altered the fiber morphology in all treatment variations. The most optimal surface morphology was obtained at 1 hour of treatment, characterized by a cleaner and rougher surface due to the removal of hemicellulose and impurities. In terms of mechanical properties, liquid smoke treatment increased the tensile strength of single fibers. The highest tensile strength was achieved at 1 hour of treatment with a value of 49.232 MPa, while the lowest was at 2 hours of treatment with 16.694 MPa. Prolonged soaking beyond 1 hour caused fiber degradation and a decrease in tensile strength. It can be concluded that 1 hour of liquid smoke treatment is the optimum duration to improve the morphology and tensile strength of single sago stem pulp fibers. This treatment can be used as an environmentally friendly alternative to enhance the quality of natural fibers for composite reinforcement applications.

Keywords: *Metroxylon Sago Fiber; Liquid Smoke; Scanning Electron Microscopy; Tensile Strength*

Abstrak

Metroxylon sago merupakan tanaman palma yang tumbuh luas di daerah tropis basah dan memiliki nilai ekonomi serta ekologi yang tinggi. Limbah ampas batang sagu mengandung serat selulosa yang berpotensi digunakan sebagai penguat pada material komposit. Namun sifat hidrofilik dan adanya pengotor pada permukaan serat alam membatasi kinerja mekaniknya. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perlakuan asap cair terhadap morfologi dan kekuatan tarik serat tunggal dari ampas batang sagu. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Serat direndam dalam asap cair tempurung kelapa dengan variasi waktu perendaman 1, 2, dan 3 jam, kemudian dilanjutkan dengan proses pengeringan dalam oven pada suhu 40°C selama 30 menit. Pengamatan morfologi dilakukan menggunakan Scanning Electron Microscope tipe JEOL JCM 6000, dan pengujian tarik serat tunggal dilakukan sesuai standar ASTM D3379-02. Hasil dibandingkan dengan serat tanpa perlakuan sebagai kontrol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan asap cair mengubah morfologi serat pada semua variasi perlakuan. Morfologi permukaan paling optimal diperoleh pada perlakuan 1 jam, yang ditandai dengan permukaan yang lebih bersih dan kasar akibat terlepasnya hemiselulosa dan pengotor. Dari segi sifat mekanik, perlakuan asap cair dapat meningkatkan kekuatan tarik serat tunggal. Kekuatan tarik tertinggi dicapai pada perlakuan asap cair 1 jam sebesar 49,232 MPa, sedangkan terendah pada perlakuan 2 jam sebesar 16,694 MPa. Perendaman lebih dari 1 jam menyebabkan degradasi serat dan penurunan kekuatan tarik. Dapat disimpulkan bahwa perlakuan asap cair selama 1 jam merupakan waktu optimum untuk

meningkatkan morfologi dan kekuatan tarik serat tunggal ampas batang sagu. Perlakuan ini dapat dijadikan alternatif ramah lingkungan untuk meningkatkan kualitas serat alam sebagai penguat komposit.

Kata kunci: Serat Ampas Batang Sagu; Asap Cair; SEM; Kekuatan Tarik.

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi biomassa yang sangat besar [1], terutama di wilayah Indonesia Timur seperti Maluku utara yang memiliki tanaman sagu menghasilkan pati sebagai produk utama, namun menyisakan limbah berupa ampas batang sagu dalam jumlah besar. Limbah ini mengandung serat selulosa dengan kandungan selulosa 35-45%, hemiselulosa 20-30%, dan lignin 15-25% sehingga berpotensi dimanfaatkan serat alam sebagai penguat komposit[2].

Pemanfaatan ampas sagu menjadi serat tunggal bernilai tambah tinggi sejalan dengan program hilirisasi limbah pertanian dan pengurangan pencemaran lingkungan [3]. Serat alam memiliki keunggulan berupa ramah lingkungan, dapat diperbarui, ringan, dan memiliki kekuatan spesifik yang baik [4]. Namun kelemahan utama serat alam adalah sifat hidrofilik, ketidakstabilan dimensi, dan ikatan antar muka yang lemah dengan matriks polimer. Hal ini menyebabkan kekuatan tarik serat tunggal dan kompositnya masih rendah. Oleh karena itu diperlukan perlakuan permukaan untuk menghilangkan pengotor, mengurangi gugus hidroksil, dan meningkatkan kekasaran permukaan serat.

Salah satu metode yang mulai dikembangkan adalah perlakuan menggunakan asap cair. Asap cair merupakan hasil kondensasi dari asap pembakaran biomassa yang mengandung senyawa fenol, asam organik, dan karbonil. Senyawa fenol dalam asap cair berfungsi sebagai anti jamur dan anti bakteri, sedangkan asam organik mampu menghidrolisis sebagian hemiselulosa dan lignin pada permukaan serat[5].

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa perlakuan asap cair dapat meningkatkan kekuatan tarik serat rami dan serat kelapa sawit hingga 18-22% karena terjadi pengikisan permukaan dan peningkatan luas kontak dengan matriks. Selain itu asap cair bersifat ramah lingkungan dan lebih aman dibandingkan NaOH. Di Indonesia, penelitian tentang perlakuan asap cair pada serat alam masih sangat terbatas. Beberapa telah meneliti pengaruh perendaman asap cair

tempurung kelapa terhadap sifat fisis dan mekanik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perendaman asap cair dapat meningkatkan keteguhan patah dan keteguhan rekat internal papan partikel [6].

Hal ini mengindikasikan bahwa asap cair mampu memperbaiki ikatan antar serat dan mengurangi sifat hidrofilik serat sagu. Pada penelitian yang lain juga di ungkap bahwa perlakuan serat dengan asap cair dapat mengubah sifat akustik komposit [7].

Kajian morfologi dan kekuatan Tarik serat sangat penting untuk memahami mekanisme peningkatan kekuatan setelah perlakuan. Beberapa penelitian sebelumnya mengungkapkan bahwa perlakuan serat dengan asap cair dapat mengubah morfologi dan kekuatan tarik serat [8].

Pengamatan dengan SEM menunjukkan bahwa perlakuan dapat menghilangkan lapisan lilin dan pengotor pada permukaan serat rami dan kenaf [9]. sehingga menghasilkan permukaan lebih kasar dan meningkatkan interlocking mekanis. Pada serat sagu, perubahan morfologi akibat perlakuan permukaan akan mempengaruhi diameter, luas penampang, dan permukaan yang secara langsung berkorelasi dengan kekuatan tarik serat tunggal[10]

Pengujian tarik serat tunggal menjadi dasar untuk memprediksi performa komposit berbahan dasar serat. Berdasarkan uraian di atas, diperlukan penelitian untuk menganalisis pengaruh perlakuan asap cair pada serat ampas batang sagu terhadap perubahan morfologi dan kekuatan tarik serat tunggal. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif perlakuan ramah lingkungan selain NaOH, serta mendukung pengembangan material komposit berbasis serat sagu di wilayah penghasil sagu. Hasil penelitian juga diharapkan mendukung visi hilirisasi limbah pertanian menjadi material bernilai tambah tinggi.

2. METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan Serat Ampas Batang Sagu, metode penelitian menggunakan metode experimental dimana serat di rendam dengan asap cair dengan variasi perendaman 1, 2, dan 3 jam, lalu dilanjutkan dengan proses pengeringan dengan oven pada suhu 40 derajat celcius dengan waktu pengeringan 30 menit. Adapun proses pengamatan dan pengujian akan

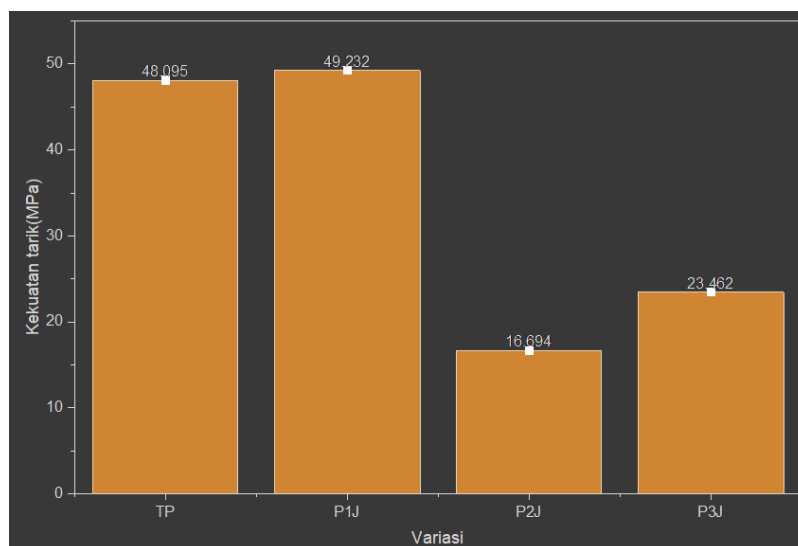
membandingkan antara serat tanpa perlakuan dengan serat dengan perlakuan asap cair, dimana pengamatan morfologi di lakukan dengan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) tipe JEOL JCM 6000 dan pengujian tarik serat tunggal dilakukan dengan menyiapkan bahan uji yang telah melewati proses pembuatan spesimen dengan standar ASTM 3379-02.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Perlakuan Serat Ampas Batang Sagu Dengan Asap Cair terhadap Kekuatan Tarik Serat Tunggal

Hasil rata-rata pengujian tarik serat tunggal Tabel 1 menunjukkan bahwa tanpa perlakuan memiliki kekuatan tarik rata-rata

sebesar 48.095 MPa, kemudian meningkat secara signifikan pada perlakuan 1 jam sebesar 49.232 MPa, 2 jam sebesar 16,694 MPa, dan pada perlakuan 3 jam mengalami penurunan sebesar 23.462 MPa. Dari data diatas dapat dilihat pada Gambar 1, hubungan antara variasi perendaman dengan kekuatan tarik serat tunggal.



Gambar 1. Hasil Uji tarik (TP, P1J, P2J, dan P3J)

Kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada perlakuan asap cair selama 1 jam yaitu 49.232 MPa. Nilai ini naik 2.36% dibandingkan tanpa perlakuan 48.095 MPa. Hal ini diduga karena senyawa asam organik dalam asap cair mampu menghidrolisis sebagian hemiselulosa dan lignin serta menghilangkan pengotor pada permukaan serat. Akibatnya luas permukaan kontak meningkat dan terjadi penguatan struktur selulosa. Hal ini sejalan dengan yang menyatakan bahwa perlakuan asap cair dapat meningkatkan kekuatan tarik serat [5]. Sedangkan pada serat perlakuan 2 jam menyebabkan penurunan drastic Kekuatan

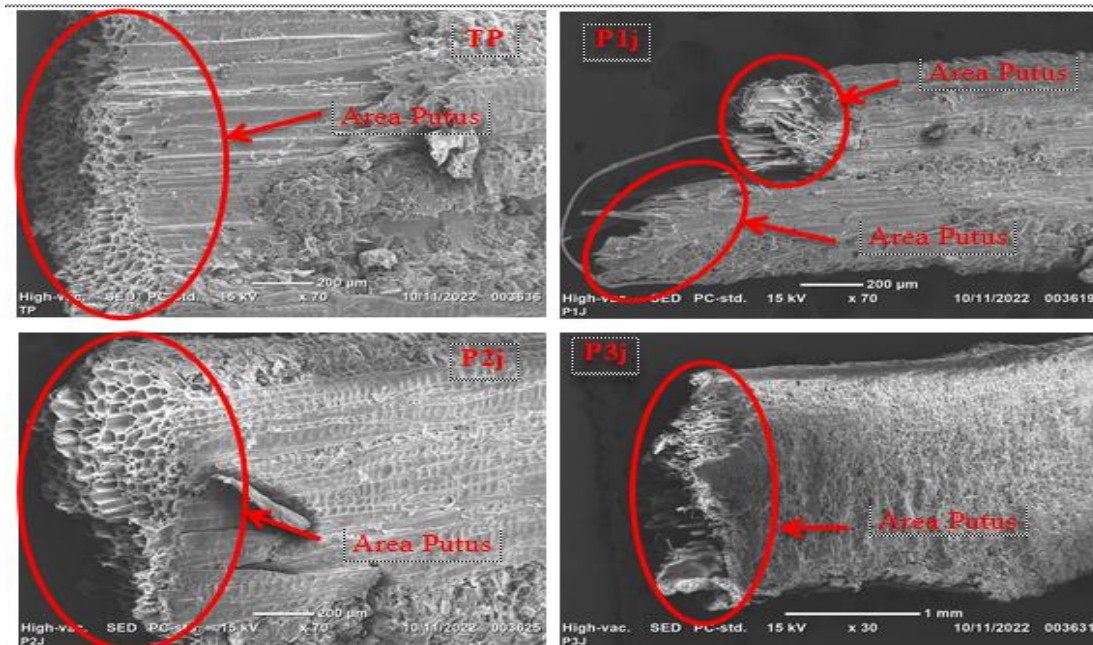
tarik turun tajam menjadi 16.694 MPa atau turun 65.28% dari kontrol. Penurunan ini diduga akibat perendaman terlalu lama menyebabkan degradasi selulosa dan kerusakan struktur mikro serat. Senyawa asam dalam asap cair yang bersifat hidrolitik jika terlalu lama akan memutus rantai polimer selulosa sehingga serat menjadi rapuh.

Perlakuan 3 jam mengalami peningkatan kembali kekuatan tarik naik menjadi 23.462 MPa. Meskipun masih 51.2% lebih rendah dari kontrol, ada kecenderungan pemulihan. Diduga pada jam ke-3 terjadi proses pengendapan senyawa fenol dari asap cair yang melapisi permukaan serat dan

memberikan efek proteksi. Namun kerusakan struktur internal akibat 2 jam sebelumnya belum pulih sepenuhnya. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya bahwa semakin lama perendaman berpengaruh pada penurunan kekuatan serat [11].

Pengaruh Perlakuan Serat Ampas Batang Sagu Dengan Asap Cair Terhadap Morfologi

Berdasarkan hasil pengamatan SEM (*scanning electron mycroscopy*) terdapat perbedaan morfologi serat tanpa perlakuan, dan serat dengan perlakuan 1, 2, dan 3 jam seperti terlihat pada gambar berikut



Gambar 5. Hasil pengamatan morfologi (TP, P1J, P2J, dan P3J)

Pengamatan morfologi serat tunggal ampas batang sagu dilakukan menggunakan SEM dengan perbesaran 30x - 70x. Gambar di atas menunjukkan penampang patahan serat setelah perlakuan asap cair dengan variasi TP, P1J, P2J, dan P3J. Area yang dilingkari merah menunjukkan area patah sebagai fokus pengamatan. Pada gambar TP terlihat permukaan serat relatif halus dan kompak. Struktur dinding sel masih tertutup rapat oleh lapisan lilin, hemiselulosa, dan lignin. Area patah terlihat rata dengan sedikit fibrilasi. Kondisi ini akan menyebabkan saat aplikasi ikatan antar muka dengan matriks lemah karena minimnya kekasaran permukaan. [12] bahwa serat alam tanpa perlakuan memiliki permukaan yang dilapisi pengotor non-selulosa sehingga mengurangi adhesi. Morfologi Serat Perlakuan 1 Jam terlihat perubahan morfologi yang paling signifikan. Permukaan serat menjadi lebih kasar dan berpori. Area patah menunjukkan adanya pengelupasan lapisan luar dan munculnya fibril-fibril kecil. Hal ini mengindikasikan bahwa senyawa asam

organik dalam asap cair berhasil menghidrolisis sebagian hemiselulosa dan melarutkan pengotor. Pengikisan ini meningkatkan luas permukaan spesifik dan menciptakan "mechanical interlocking" yang baik. Hasil ini berkorelasi dengan data kekuatan tarik tertinggi pada P1J = 49.232 MPa.

Temuan ini didukung yang menyatakan bahwa perlakuan permukaan dapat membersihkan permukaan serat tanpa merusak struktur selulosa inti [13]. Morfologi Serat Perlakuan 2 Jam terjadi kerusakan morfologi yang paling parah. Area patah terlihat sangat berongga, dinding sel kolaps, dan struktur serat menjadi tidak teratur. Terjadi degradasi berlebih pada lignin dan selulosa akibat paparan asam terlalu lama. Rongga dan retakan mikro yang terbentuk menjadi titik konsentrasi tegangan.

Kondisi ini menjelaskan mengapa kekuatan tarik pada P2J turun drastis menjadi 16.694 MPa atau turun 65.28%. Hal ini sejalan dengan [14] bahwa perendaman berlebih dalam larutan asam dapat menyebabkan

delignifikasi total dan pengurangan diameter efektif serat. Morfologi Serat Perlakuan 3 Jam bahwa morfologi serat sedikit lebih baik dibanding P2J, namun masih jauh dari kontrol. Area patah terlihat ada lapisan tipis yang menutupi permukaan. Diduga senyawa fenol dan karbonil dalam asap cair mengalami polimerisasi dan membentuk lapisan tipis pada permukaan serat setelah perendaman lama. Lapisan ini memberikan efek "coating" sehingga kerusakan tidak separah P2J.

Namun struktur internal sudah terlanjur rusak pada jam ke-2, sehingga kekuatan tarik hanya pulih sebagian menjadi 23.462 MPa. Fenomena pelapisan oleh asap cair juga dilaporkan oleh[6] pada papan partikel serat sagu, dimana asap cair mampu menurunkan daya serap air karena efek hidrofobik dari senyawa fenol.

4. SIMPULAN

Perlakuan asap cair memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan tarik serat tunggal ampas batang sagu. Kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada perlakuan asap cair selama 1 jam yaitu sebesar 49.232 MPa, meningkat 2.36% dibandingkan tanpa perlakuan 48.095 MPa. Perendaman selama 2 jam menyebabkan penurunan drastis menjadi 16.694 MPa, dan pada 3 jam mengalami peningkatan kembali menjadi 23.462 MPa namun masih lebih rendah dari kontrol. Pengaruh terhadap Morfologi

Hasil pengamatan SEM menunjukkan bahwa perlakuan asap cair 1 jam mampu membersihkan pengotor, menghidrolisis sebagian hemiselulosa, dan menghasilkan permukaan serat yang lebih kasar dengan fibrilasi. Hal ini meningkatkan mechanical interlocking. Perlakuan 2 jam menyebabkan degradasi berlebih, dinding sel kolaps dan berongga sehingga struktur serat rusak. Pada perlakuan 3 jam terlihat adanya pelapisan senyawa fenol pada permukaan serat, namun kerusakan internal akibat 2 jam sebelumnya tidak dapat pulih sepenuhnya.

Terdapat waktu optimum perlakuan asap cair pada 1 jam. Waktu kurang dari 1 jam kurang efektif membersihkan permukaan, sedangkan waktu lebih dari 1 jam menyebabkan degradasi selulosa dan penurunan sifat mekanik. Hal ini menunjukkan bahwa lama perendaman merupakan faktor kritis dalam perlakuan asap cair. Korelasi Morfologi dan Kekuatan

Terdapat korelasi langsung antara perubahan morfologi dengan kekuatan tarik. Peningkatan kekasaran permukaan pada 1 jam berbanding lurus dengan peningkatan kekuatan. Sebaliknya kerusakan struktur dan pembentukan rongga pada 2-3 jam menyebabkan penurunan kekuatan tarik serat tunggal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada pimpinan universitas atas pembiayaan penelitian pada skema PKUPT fakultas tahun 2025

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Arista, D. Ramadina, and M. Subhan, "Analisis Kekuatan Lentur Komposit Berbasis Serat Daun Alam sebagai Alternatif Material Bilah Turbin," vol. 04, no. 1, 2026.
- [2] W. S. Yong, C. S. C. Yong, Y. L. Yeu, S. K. Thangavelu, A. B. Chai, and P. P. Chung, "Valorization of sago hampas: extraction of microcrystalline cellulose and its role in enhancing bio-composite properties," *Cellulose*, vol. 33, no. 5, pp. 2857–2885, 2026, doi: 10.1007/s10570-026-07010-6.
- [3] N. Amin, N. Sabli, S. Izhar, and H. Yoshida, "SCIENCE & TECHNOLOGY," vol. 27, no. 4, pp. 1841–1862, 2019.
- [4] M. A. Azman *et al.*, "Natural Fiber Reinforced Composite Material for Product Design: A Short Review," 2021.
- [5] M. Muslimin, M. Rahim, A. Seng, and S. Rais, "Liquid Smoke Treatment for Natural Fibers: The Effect on Tensile Properties, Surface Morphology, Crystalline Properties, and Functional Groups of Banana Stem Fibers," *Appl. Syst. Innov.*, vol. 5, no. 5, Oct. 2022, doi: 10.3390/ASI5050094.
- [6] M. Muslimin, K. Umar, A. Seng, and K. Daud, "Pengaruh Perlakuan Serat Sabuk Kelapa (SSK) Terhadap Morfologi dan Sifat Akustik Komposit Berpenguat SSK," *Mach. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 58–61, 2023.
- [7] M. Muslimin, A. Seng, B. Tjiroso, and M. M. Harbelubun, "Perlakuan Serat Sabut Kelapa Dengan Asap Cair Sebagai Bahan Penguat Komposit Penyerap Suara," vol. 03, no. 1, 2025.

- [8] M. Muslimin, W. A. Wirawan, and M. B. Palungan, "Review: Various Treatments NaoH, Sea Water, Fumigation, Liquid Smoke to Improve Tensile Strength and Surface Morphology of Natural," vol. 15, no. 2, pp. 911–918, 2024, doi: 10.21776/jrm.v15i2.1600.
- [9] W. Artha, A. Sabitah, M. Agus, and M. Muslimin, "Results in Engineering Effect of chemical treatment on the physical and thermal stability of Hibiscus Tiliaceus Bark Fiber (HBF) as reinforcement in composite," *Results Eng.*, vol. 18, no. March, p. 101101, 2023, doi: 10.1016/j.rineng.2023.101101.
- [10] M. Muslimin *et al.*, "Enhancement of Sansevieria Trifasciata Laurentii Fiber Properties with Liquid Smoke Treatment Enhancement of Sansevieria Trifasciata Laurentii Fiber Properties," *J. Nat. Fibers*, vol. 22, no. 1, 2025, doi: 10.1080/15440478.2025.2453482.
- [11] M. Muslimin, M. Rahim, A. Seng, and S. Rais, "Liquid Smoke Treatment for Natural Fibers: The Effect on Tensile Properties, Surface Morphology, Crystalline Properties, and Functional Groups of Banana Stem Fibers," *Appl. Syst. Innov.*, vol. 5, no. 94, pp. 1–12, 2022, doi: 10.3390/asi5050094.
- [12] M. Mukhlis, S. A. S. Budi, I. N. G. Wardana, and K. Kamil, "Liquid Smoke Potential Solution on Texture and Bonding Sago Fiber-Matrix," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 494, no. 1, Mar. 2019, doi: 10.1088/1757-899X/494/1/012029.
- [13] A. Uddin, S. Islam, F. R. Islam, and K. Z. M. A. Motaleb, "Comprehensive Extraction and Multiscale Characterization of a Novel Lignocellulosic Fiber From *Microcos paniculata* Bark," 2026, doi: 10.1155/ijps/1694321.
- [14] I. N. G. W. Mukhlis Muslimin, Kusno Kamil, "Cross-sectional texture of sago fiber due to liquid smoke treatment," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021, pp. 1–3. doi: 10.1088/1757-899X/1125/1/012114.