

Modifikasi Kimia Serat Bambu Petung terhadap Komposit Hibrida

Raden Muhammad Yusron Maulana¹, Rahma Rei Sakura², Nasrul Iminnafik³, Sumarji⁴,
Mahros Darsin⁵

Email corresponding author: 201910101100@unej.ac.id

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

Article history: Received: 1 Agustus 2025 | Revised: 21 Oktober 2025 | Accepted: 27 Oktober 2025

Abstract. *This study evaluates the effect of alkali treatment using NaOH solution on the mechanical properties and microstructure of hybrid composites based on epoxy resin reinforced with petung bamboo fiber and fiberglass. Bamboo fibers were immersed in five NaOH concentration variations (0%, 3%, 6%, 9%, 12%) before composite fabrication using the hand lay-up method. Tensile testing was performed according to ASTM D-638 standard and microstructural characterization using Scanning Electron Microscope (SEM). The results showed that 9% alkali treatment produced the best mechanical performance with a tensile strength of 58.68 MPa, elongation of 4.15%, and elastic modulus of 1413.49 MPa. SEM analysis indicated improved fiber-matrix adhesion due to removal of lignin and hemicellulose. Optimal alkali concentration enhanced composite performance, making it a potential candidate for eco-friendly vehicle interior applications.*

Keywords - hybrid-composite; alkalization; petung bamboo fiber; fiberglass; resin epoxy; SEM

Abstrak. *Penelitian ini mengevaluasi pengaruh perlakuan alkalisasi menggunakan larutan NaOH terhadap sifat mekanik dan struktur mikro hybrid-komposit berbasis epoxy resin yang diperkuat dengan serat bambu petung dan fiberglass. Serat bambu direndam dalam lima variasi konsentrasi NaOH (0%, 3%, 6%, 9%, 12%) sebelum proses fabrikasi komposit menggunakan metode hand lay-up. Uji tarik dilakukan sesuai standar ASTM D-638 dan karakterisasi struktur mikro menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM). Hasil menunjukkan bahwa perlakuan alkalisasi 9% memberikan performa mekanik terbaik dengan kekuatan tarik sebesar 58,68 MPa, elongasi 4,15%, dan modulus elastisitas 1413,49 MPa. Analisis SEM menunjukkan peningkatan adhesi serat-matriks akibat penghilangan lignin dan hemiselulosa. Perlakuan alkalisasi pada konsentrasi optimal meningkatkan kinerja komposit, menjadikannya kandidat potensial untuk aplikasi interior kendaraan yang ramah lingkungan.*

Kata Kunci - hybrid-komposit; alkalisasi; serat bambu petung; fiberglass; epoxy resin; SEM

PENDAHULUAN

Penggunaan serat alam sebagai bahan penguat komposit semakin berkembang pesat karena sifatnya yang ringan, ramah lingkungan, dan memiliki kekuatan mekanik yang kompetitif dibanding serat sintetis[1]. Serat bambu, khususnya bambu petung (*Dendrocalamus asper*), menjadi salah satu alternatif potensial karena memiliki kekuatan tarik yang tinggi, ketersediaan melimpah, serta biaya produksi yang rendah[2]. Namun, kelemahan utama serat bambu adalah rendahnya adhesi antara serat dan matriks polimer akibat keberadaan lignin, hemiselulosa, dan pektin yang menutupi permukaan serat[3]. Untuk meningkatkan keterikatan antar muka tersebut, dilakukan perlakuan kimia seperti alkalisasi menggunakan larutan NaOH yang dapat menghilangkan senyawa non-selulosa dan memperbesar kekasaran permukaan serat[4].

Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa perlakuan alkali berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanik komposit serat alam. Djamil dan Irawan (2020) melaporkan bahwa perlakuan alkali 6% NaOH pada serat bambu meningkatkan kekuatan tarik hingga 38% dibanding serat tanpa perlakuan[5]. Penelitian oleh Harita et al. (2022) juga menunjukkan peningkatan kekuatan tarik komposit serat bambu dan serabut kelapa setelah perlakuan alkali 5% NaOH[6]. Selain itu, penelitian Rajak et al. (2021) mengemukakan bahwa kombinasi antara serat sintetis (fiberglass) dan serat alam dapat meningkatkan kekuatan mekanik serta ketahanan terhadap delaminasi pada struktur hybrid-komposit[7]. Hasil ini sejalan dengan temuan Nurazzi et al. (2021), yang menegaskan bahwa konfigurasi serat alam dan sintetis dalam satu sistem matriks dapat memberikan keseimbangan antara kekuatan dan keberlanjutan[8].

Walaupun berbagai penelitian telah dilakukan, sebagian besar hanya meninjau efek perlakuan alkali pada komposit berbasis satu jenis serat (single fiber composite). Studi mengenai pengaruh variasi konsentrasi alkali terhadap kinerja hybrid-composite yang menggabungkan serat bambu petung dan fiberglass masih sangat terbatas. Padahal, kombinasi ini berpotensi menghasilkan material dengan kekuatan tinggi sekaligus ramah lingkungan[9].

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh variasi konsentrasi NaOH terhadap sifat mekanik dan struktur mikro hybrid-komposit epoxy resin dengan penguat serat bambu petung dan fiberglass. Kebaruan penelitian ini terletak pada analisis komprehensif terhadap hubungan antara konsentrasi alkali, morfologi serat, dan performa mekanik komposit, yang belum banyak dikaji dalam literatur terdahulu. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan material komposit hibrida berbasis serat alam untuk aplikasi teknik yang berkelanjutan.

METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Uji Material Universitas Jember. Serat bambu petung terlebih dahulu dikeringkan secara alami selama 10 hari, kemudian diberi perlakuan alkalisasi dengan cara merendamnya dalam larutan NaOH dengan variasi konsentrasi 0%, 3%, 6%, 9%, dan 12% selama 4 jam. Setelah proses pencucian hingga pH netral dan pengeringan ulang, serat digunakan bersama fiberglass dan epoxy resin dalam komposisi 15:15:70 (% massa) untuk fabrikasi spesimen komposit dengan metode hand lay-up.



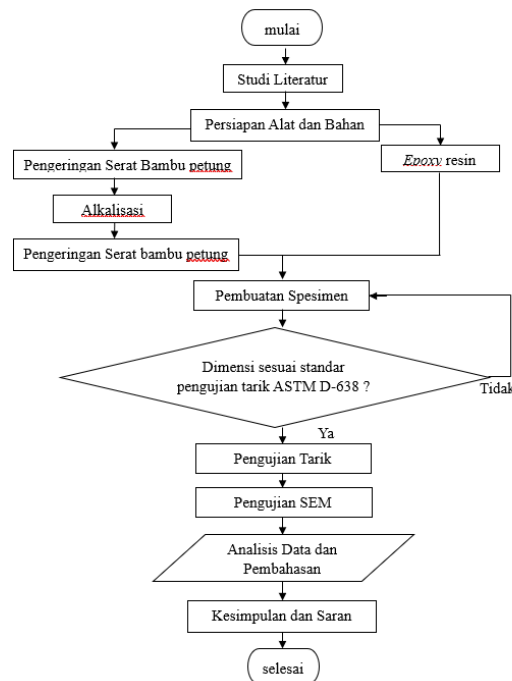
Gambar 1. Proses alkalisasi bambu



Gambar 2. Proses pencetakan spesimen

Alur penelitian secara umum ditunjukkan pada diagram alir, yang dimulai dari studi literatur dan persiapan alat serta bahan, dilanjutkan dengan proses pengeringan dan perlakuan alkali terhadap serat bambu. Setelah itu, serat yang telah siap dicampur dengan fiberglass dan epoxy resin untuk pembuatan spesimen. Spesimen yang dihasilkan diperiksa dimensinya agar sesuai dengan standar ASTM D-638 tipe I. Jika tidak sesuai, dilakukan perbaikan. Spesimen yang memenuhi standar kemudian diuji tarik menggunakan mesin uji tarik untuk memperoleh nilai

kekuatan tarik, elongasi, dan modulus elastisitas. Selain itu, struktur mikro hasil patahan juga diamati menggunakan mikroskop elektron (SEM). Data hasil pengujian dianalisis dan dibahas, kemudian ditarik kesimpulan dan diberikan saran dari hasil penelitian.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pembuatan Komposit

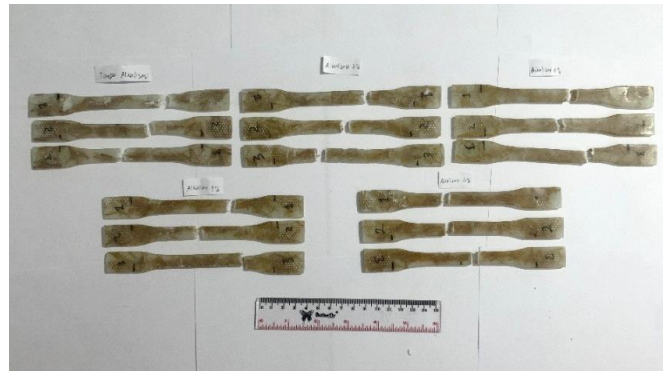
Hasil dari pembuatan hybrid-komposit dengan matriks epoxy resin dan berpenguat fiberglass dan serat bambu petung dengan variasi perlakuan alkalisasi pada bambu petung 0%, 3%, 6%, 9%, dan 12 %. Panjang komposit yang dihasilkan adalah 165 mm dengan ketebalan 3 - 3,3 mm. Dapat dilihat bahwa pada spesimen bambu petung yang mendapat perlakuan alkalisasi 12% terlihat penyebarannya lebih merata karena adanya fibrilasi pada serat bambu



Gambar 4. Spesimen uji tarik hybrid-komposit epoxy resin/fiberglass dan serat bambu petung

Hasil Uji Tarik

Pengujian tarik pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik, elongasi, serta modulus tarik dari spesimen hybrid-komposit epoxy resin dengan berpenguat fiberglass dan serat bambu petung. Pada penelitian pada penelitian ini menggunakan 5 variasi dengan pengulangan 3 kali pada setiap variasinya dengan jumlah total 15 spesimen. Hasil yang didapat yaitu nilai beban maksimum pada spesimen uji tarik. Standar uji yang digunakan pada penelitian ini adalah standar uji tarik ASTM D-638 tipe I.



Gambar 5. Spesimen setelah diuji tarik

Tabel 1. Data hasil pengujian tarik *hybrid*-komposit

Sampel	Spesimen uji	Tegangan tarik (σ)	Regangan (ϵ)	Modulus tarik (E)	Std Error Tegangan tarik	Std Error Regangan	Std Error Modulus Tarik
S0	S0A	11,88	5,22	227,59	$25,89 \pm 20,03$	$4,37 \pm 7,73$	$635,39 \pm 547,56$
	S0B	48,83	3,88	1257,73			
	S0C	16,96	4,03	420,84			
S1	S1A	36,13	4,46	809,19	$45,76 \pm 8,46$	$4,45 \pm 7,48$	$1037,42 \pm 257,56$
	S1B	51,97	3,98	1305,53			
	S1C	49,19	4,93	997,56			
S2	S2A	46,95	4,44	1057,43	$48,13 \pm 2,72$	$4,28 \pm 7,52$	$1131,67 \pm 116,58$
	S2B	50,47	4,71	1071,54			
	S2C	46,99	3,71	1266,03			
S3	S3A	50,04	4,57	1094,30	$54,12 \pm 4,34$	$4,18 \pm 0,38$	$1303,99 \pm 181,66$
	S3B	58,68	4,15	1413,49			
	S3C	53,64	3,82	1404,19			
S4	S4A	39,78	3,99	996,49	$44,08 \pm 5,82$	$3,68 \pm 6,47$	$781,57 \pm 646,45$
	S4B	50,71	3,84	1320,57			
	S4C	41,76	3,23	1293,19			

Keterangan:

- S0 = Spesimen tanpa perlakuan alkalisasi
- S1 = Sepsimen dengan perlakuan alkalisasi 3%
- S2 = Sepsimen dengan perlakuan alkalisasi 6%
- S3 = Sepsimen dengan perlakuan alkalisasi 9%
- S4 = Sepsimen dengan perlakuan alkalisasi 12%

Tabel 1 menunjukkan nilai standar error untuk tegangan tarik (σ), regangan (ϵ), dan modulus tarik (E) pada setiap variasi sampel komposit. Nilai standar error ini digunakan untuk menunjukkan tingkat ketelitian hasil pengujian tarik terhadap tiga spesimen uji pada masing-masing variasi. Semakin kecil nilai standar error, maka data hasil pengujian semakin konsisten atau memiliki sebaran data yang kecil.

Dari tabel dapat dilihat bahwa:

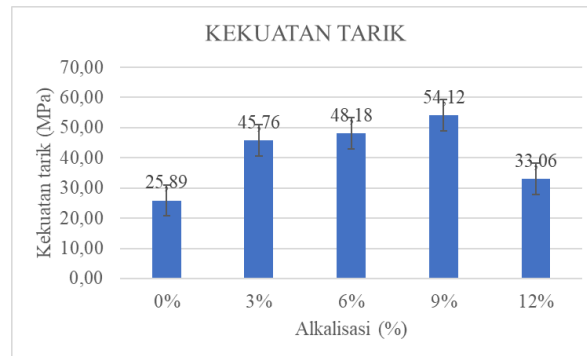
Sampel S0 (epoxy murni) memiliki nilai standar error tertinggi pada tegangan tarik sebesar 11,56 MPa, menunjukkan adanya variasi hasil yang cukup besar antar spesimen. Hal ini dapat terjadi karena sifat getas dari resin murni yang menyebabkan ketidakseragaman dalam patahan spesimen.

Sampel S2 menunjukkan nilai standar error terkecil, yaitu 1,17 MPa untuk tegangan tarik dan 0,298% untuk regangan. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengujian pada variasi ini cukup seragam dan stabil.

Sampel S4 memiliki standar error modulus tarik tertinggi (373,23 MPa), yang mengindikasikan bahwa kekakuan material pada variasi tersebut mengalami variasi cukup besar antar spesimen. Kemungkinan hal ini disebabkan oleh distribusi serat yang kurang homogen atau ketidakaturan orientasi serat saat proses hand lay-up.

Secara keseluruhan, nilai standar error yang bervariasi antar sampel menunjukkan bahwa faktor penyebab utama ketidakkonsistenan data berasal dari distribusi serat, orientasi acak serat, serta ketidaksempurnaan impregnasi matriks terhadap serat bambu dan fiberglass selama proses fabrikasi. Meski demikian, nilai SE yang relatif kecil pada sebagian besar sampel menunjukkan bahwa data hasil uji tarik memiliki reliabilitas yang cukup baik.

Analisis Kekuatan Tarik

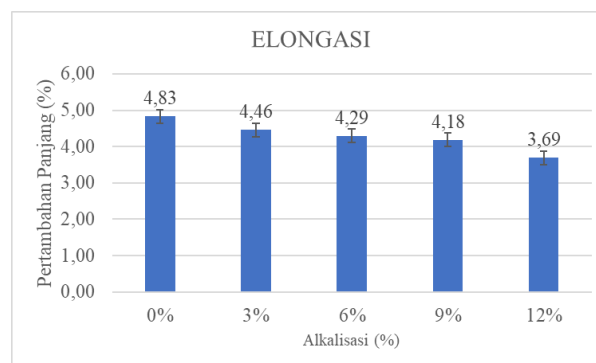


Gambar 6. Grafik kekuatan tarik

Berdasarkan Gambar 4, terjadi peningkatan signifikan kekuatan tarik seiring kenaikan konsentrasi NaOH dari 25,89 MPa (0% NaOH) menjadi 54,12 MPa (9% NaOH). Lonjakan sebesar 109% ini disebabkan oleh eliminasi lignin dan hemiselulosa melalui proses alkalisasi, yang berperan dalam meningkatkan adhesi antarmuka antara serat bambu dan matriks resin. Perlakuan alkali menyebabkan permukaan serat menjadi lebih kasar secara mikroskopis, yang meningkatkan kekasaran permukaan dan memperbesar area kontak mekanis antara serat dan matriks. Selain itu, proses ini juga membuka struktur microfibril dan menghilangkan lapisan pengotor seperti kutikula dan lilin yang sebelumnya menghambat penetrasi resin.

Peningkatan adhesi ini memungkinkan transfer beban yang lebih efektif dari matriks ke serat saat uji tarik dilakukan, sehingga meningkatkan kekuatan tarik komposit secara keseluruhan. Fenomena ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa perlakuan alkali 5% NaOH pada serat bambu dapat meningkatkan kekuatan tarik komposit hingga 54,74 MPa, yang mendekati nilai maksimum pada konsentrasi 9% NaOH dalam penelitian ini[5].

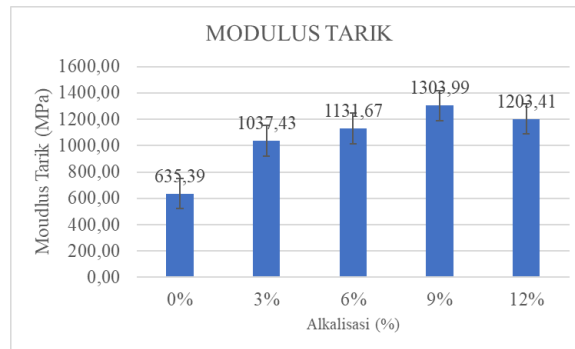
Elongasi



Gambar 7. Grafik elongasi

Berdasarkan grafik pada Gambar 5, terjadi penurunan elongasi seiring peningkatan konsentrasi NaOH dari 4,83% (0% NaOH) menjadi 3,69% (12% NaOH). Penurunan 23,6% ini menunjukkan bahwa perlakuan alkali meningkatkan kekakuan komposit melalui pembersihan permukaan serat bambu dari komponen non-selulosa seperti lignin dan hemiselulosa[6]. Fenomena ini sesuai dengan data yang menunjukkan penurunan 30,6% elongasi antara konsentrasi 9% dan 12% NaOH, dimana hidrolisis berlebihan merusak struktur serat dan mengurangi fleksibilitasnya. Temuan ini menegaskan pentingnya optimasi konsentrasi alkali untuk mempertahankan keseimbangan antara kekuatan dan daktilitas material.

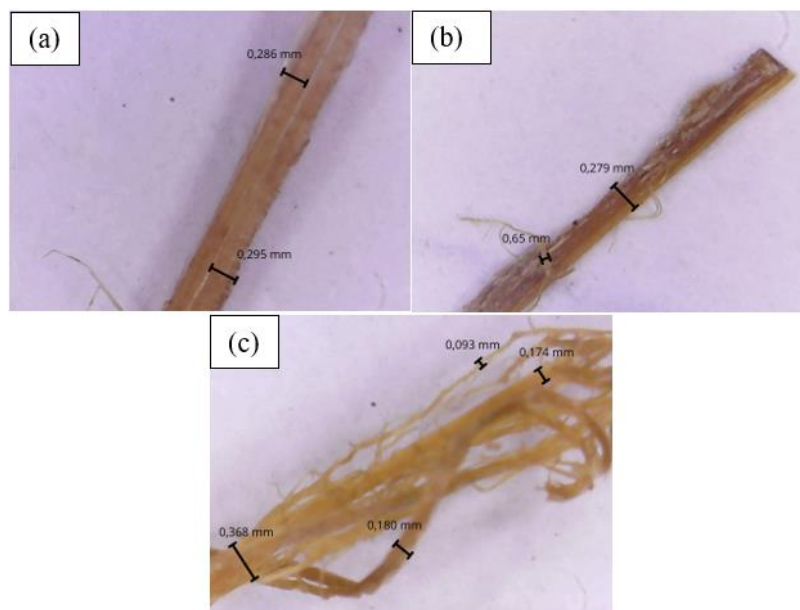
Modulus Elastisitas



Gambar 8. Grafik modulus tarik

Berdasarkan Gambar 6, modulus tarik meningkat seiring kenaikan konsentrasi NaOH dari 635,39 MPa (0% NaOH) menjadi 1303,99 MPa (9% NaOH), menunjukkan peningkatan 105%. Lonjakan ini disebabkan oleh eliminasi lignin dan hemiselulosa melalui alkalisasi yang meningkatkan adhesi antarmuka serat-matriks[7]. selaras dengan tren data pada konsentrasi 3-9% NaOH (Niswah, 2024). Mekanisme ini mengurangi kemampuan komposit mengalami deformasi plastis karena transfer beban antar komponen menjadi lebih efisien. Penurunan modulus tarik menjadi 1203,41 MPa pada konsentrasi 12% NaOH mengindikasikan degradasi struktural serat akibat over-treatment. Penelitian hybrid-komposit serat alam melaporkan penurunan modulus elastisitas 7,5% ketika konsentrasi NaOH melebihi 9% akibat kerusakan selulosa[7].

Struktur Mikro Serat Bambu Petung



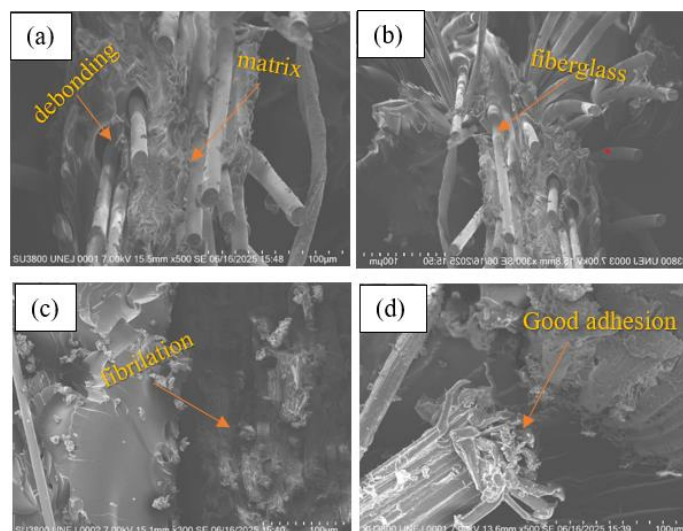
Gambar 9. Hasil pengujian struktur mikro serat (a) tanpa perlakuan alkalisasi; (b) perlakuan alkalisasi 9%; (c) perlakuan alkalisasi 12%

Berdasarkan Gambar 7 a serat bambu petung tanpa perlakuan alkalisasi menunjukkan permukaan yang relatif halus dan masih tertutup oleh lapisan pengotor alami seperti lignin dan hemiselulosa. Hal ini ditunjukkan oleh tidak adanya serabut-serabut halus yang terurai dari badan serat utama. Diameter serat juga tampak cukup besar dan seragam, yaitu sekitar 0,286 hingga 0,295 mm. Ciri-ciri ini menunjukkan minimnya fibrilasi dan rendahnya area kontak antara serat dan matriks pada saat proses pembuatan komposit, yang dapat menyebabkan ikatan antarmuka yang lemah[8]. Kondisi ini selaras dengan hasil uji tarik yang menunjukkan kekuatan tarik terendah, mengindikasikan bahwa tanpa perlakuan kimia, serat tidak mampu berkontribusi optimal terhadap peningkatan kekuatan komposit[9].

Pada Gambar 7 b spesimen serat yang mengalami perlakuan alkalisasi 9% menampilkan morfologi permukaan yang lebih terbuka dan mulai memperlihatkan proses fibrilasi. Terlihat beberapa serat mikro mulai terurai dari badan utama, dengan diameter serat bervariasi antara 0,065 hingga 0,279 mm. Permukaan serat tampak lebih kasar dan tidak homogen, menandakan terjadinya peluruhan komponen amorf seperti lignin dan hemiselulosa akibat reaksi NaOH[10]. Fibrilasi ini memberikan keuntungan berupa peningkatan luas permukaan spesifik serat, sehingga memungkinkan ikatan mekanis dan kimia yang lebih kuat dengan matriks resin epoxy[11]. Hasil ini sejalan dengan performa mekanik terbaik yang tercapai pada komposit dengan perlakuan 9%, yang menunjukkan kekuatan tarik tertinggi dibanding variasi lainnya.

Dapat dilihat di Gambar 7 c serat dengan perlakuan alkalisasi 12% menunjukkan kondisi struktur mikro yang jauh lebih terfragmentasi dan tidak stabil. Terlihat bahwa serat mengalami fibrilasi berlebih, bahkan sebagian serat tampak rusak dan terurai menjadi potongan-potongan kecil. Diameter serat sangat bervariasi dari 0,093 mm hingga 0,368 mm, menunjukkan degradasi struktural yang tidak terkontrol. Kondisi ini menandakan bahwa perlakuan NaOH yang terlalu kuat dapat merusak integritas selulosa dan menyebabkan melemahnya kekuatan tarik serat[11]. Permukaan serat yang tidak kompak juga berpotensi menimbulkan void dan debonding pada komposit, sehingga menurunkan efisiensi transfer beban. Hal ini sejalan dengan penurunan tajam kekuatan tarik yang diamati pada spesimen ini [12].

Analisa SEM



Gambar 10. Hasil pengujian SEM *hybrid*-komposit (a-b) tanpa perlakuan alkalisasi; (c-d) perlakuan alkalisasi 9%

Dapat dilihat pada Gambar 8 a-b merupakan hasil pengujian SEM pada spesimen *hybrid*-komposit epoxy resin yang diperkuat dengan serat fiberglass dan serat bambu petung tanpa perlakuan alkalisasi, tampak bahwa struktur permukaan serat masih tertutup oleh lapisan pengotor atau sisa komponen alami seperti lignin dan hemiselulosa. Serat bambu terlihat lebih kompak dan licin, dengan permukaan yang relatif utuh dan sedikit fibrilasi, menandakan bahwa tidak terjadi proses pembersihan kimia pada dinding selulosa [13]. Selain itu, terlihat bahwa ikatan antara serat dan matriks resin tidak terlalu kuat, ditunjukkan oleh adanya celah atau debonding antara serat dan resin di beberapa bagian[13]. Hal ini menunjukkan lemahnya interaksi antar muka (*interfacial bonding*), yang dapat menurunkan kemampuan komposit dalam mentransfer beban tarik secara efektif[13]. Serat fiberglass tampak menonjol dengan permukaan yang bersih, tetapi masih kurang menyatu dengan baik terhadap sistem serat bambu yang belum dimodifikasi[14].

Pada Gambar 8 c-d merupakan hasil pengujian SEM dari spesimen uji tarik *hybrid*-komposit berbasis epoxy resin dengan penguatan fiberglass dan serat bambu petung yang telah mengalami perlakuan alkalisasi 9%, terlihat struktur serat bambu yang mengalami fibrilasi dan pelepasan sebagian lapisan luar, menunjukkan keberhasilan proses alkalisasi dalam menghilangkan hemiselulosa dan lignin[13]. Permukaan serat yang kasar dan lebih terbuka ini berpotensi meningkatkan adhesi mekanis antara serat dan matriks resin [15]. Selain itu, teramati adanya indikasi ikatan yang cukup baik antara serat dan matriks, meskipun terdapat beberapa void dan sisa partikel matriks atau pengotor yang tertinggal. Struktur tersebut mendukung peningkatan kekuatan tarik komposit pada konsentrasi alkali 9%, yang sesuai dengan data mekanik terbaik dalam pengujian, serta menunjukkan bahwa perlakuan kimia mampu mengoptimalkan interaksi antarmuka pada sistem *hybrid*-komposit epoxy-fiberglass-bambu petung[13].

Hasil pengamatan SEM pada Gambar 8 menunjukkan bahwa pada spesimen hybrid-komposit dengan metode hand lay-up masih terdapat beberapa area void atau rongga kecil di sekitar permukaan patahan. Keberadaan void tersebut umumnya disebabkan oleh terperangkapnya udara selama proses pencampuran resin dan serat yang tidak sepenuhnya homogen. Menurut Tahir et al. (2024), pembentukan void pada komposit dapat menurunkan kekuatan tarik dan modulus elastisitas karena void bertindak sebagai titik inisiasi retak yang mempercepat kegagalan material [13]. Hal serupa juga dilaporkan oleh Ahmad et al. (2023), bahwa peningkatan jumlah void pada komposit serat bambu–fiberglass mengurangi efisiensi transfer beban dari matriks ke serat akibat terputusnya kontinuitas fase padat [14].

Pada penelitian ini, meskipun tidak dilakukan pengukuran kuantitatif terhadap fraksi void, hasil pengamatan mikro menunjukkan bahwa spesimen dengan jumlah void yang lebih banyak cenderung memiliki nilai kekuatan tarik lebih rendah. Fenomena ini sejalan dengan hasil uji mekanik, di mana spesimen dengan perlakuan alkali berlebih (12% NaOH) mengalami penurunan kekuatan tarik yang dapat dikaitkan dengan terbentuknya void dan degradasi struktur serat. Oleh karena itu, pada penelitian lanjutan disarankan dilakukan analisis fraksi void secara kuantitatif, misalnya menggunakan metode densitas Archimedes atau analisis citra SEM, untuk mengonfirmasi hubungan antara jumlah void dan penurunan sifat mekanik komposit secara lebih komprehensif.

KESIMPULAN

Perlakuan alkalisasi dengan larutan NaOH 9% memberikan hasil terbaik dalam meningkatkan sifat mekanik dan struktur mikro hybrid-komposit epoxy resin dengan serat bambu petung dan fiberglass. Perlakuan ini meningkatkan adhesi serat-matriks, kekuatan tarik, dan modulus elastisitas. Metode hand lay-up masih menyisakan void, sehingga disarankan penggunaan teknik fabrikasi yang lebih baik pada penelitian lanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Uji Material Fakultas Teknik Universitas Jember atas dukungan fasilitas selama penelitian berlangsung.

REFERENSI

- [1] D. W. Hermawan, Masturi, and I. Yulianti, “Ketahanan Tekan Komposit Dari Resin Epoksi Berpenguat Serat Bambu,” *J. Fis. Unnes*, vol. 5, no. 1, p. 79048, 2015.
- [2] S. Djamil and P. Irawan, Agustinus, “Karakteristik Mekanik Komposit Serat Bambu Kontinyu Dengan Perlakuan Alkali,” *J. Ilm. Tek. Mesin POROS*, vol. 15, no. 1, 2020.
- [3] D. K. Rajak, P. H. Wagh, and E. Linul, “Manufacturing technologies of carbon/glass fiber-reinforced polymer composites and their properties: A review,” *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 21, 2021, doi: 10.3390/polym13213721.
- [4] N. M. Nurazzi *et al.*, “A review on mechanical performance of hybrid natural fiber polymer composites for structural applications,” *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 13, pp. 1–47, 2021, doi: 10.3390/polym13132170.
- [5] E. A. Harita, R. Napitupulu, and S. D. Krishnaningsih, “Pengaruh Perlakuan Alkali Terhadap Kekuatan Tarik Dan Modulus Elastisitas Bahan Komposit Berpenguat Serat Bambu Dan Filler Serabut Kelapa,” *Pros. Semin. Nas. Inov. Teknol. Terap.* 2022, pp. 320–327, 2022.
- [6] H. Niswah, “Pengaruh Perlakuan Alkali NaOH terhadap Kekuatan Tarik dan Lentur pada Buku Bambu Betung,” no. Senastitan Iv, pp. 1–8, 2024.
- [7] S. Sunardi, H. Susanto, R. Lusiani, I. Saefuloh, H. A. Notonegoro, and M. Fawaid, “Pengaruh Perendaman Bambu Dengan Air Laut Terhadap Kekerasan dan Laju Keausan Komposit Kampas Rem,” *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 12, no. 1, pp. 80–87, 2023, doi: 10.24127/trb.v12i1.2444.
- [8] F. Gu *et al.*, “Can bamboo fibres be an alternative to flax fibres as materials for plastic reinforcement? A comparative life cycle study on polypropylene/flax/bamboo laminates,” *Ind. Crops Prod.*, vol. 121, no. January, pp. 372–387, 2018, doi: 10.1016/j.indcrop.2018.05.025.
- [9] N. A. Abdullah and M. Y. Hashim, “Effect of Tensile Strength on Treated Bamboo Fiber with Alkali Treatment Compared to Untreated Bamboo Fiber,” *Res. Prog. Mech. Manuf. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 393–402, 2022.
- [10] M. Jawaaid and H. P. S. Abdul Khalil, “Cellulosic/synthetic fibre reinforced polymer hybrid composites: A review,” *Carbohydr. Polym.*, vol. 86, no. 1, pp. 1–18, 2011, doi: 10.1016/j.carbpol.2011.04.043.
- [11] X. Zhang, F. Wang, and L. M. Keer, “Influence of surface modification on the microstructure and thermo-mechanical properties of bamboo fibers,” *Materials (Basel)*, vol. 8, no. 10, pp. 6597–6608, 2015, doi: 10.3390/ma8105327.

- [12] M. Asrofi, M. A. V. Hidayatulloh, G. Jatisukamto, H. Sutjahjono, and R. R. Sakura, "The effect of temperature and volume fraction of mahoni (*Swietenia mahogani*) wood charcoal on SS400 steel using pack carburizing method: Study of hardness and microstructure characteristics," *AIMS Mater. Sci.*, vol. 7, no. 3, pp. 354–363, 2020, doi: 10.3934/matersci.2020.3.354.
- [13] D. Tahir, M. R. Abdul Karim, and H. Hu, "Analysis of mechanical and water absorption properties of hybrid composites reinforced with micron-size bamboo fibers and ceramic particles," *Int. Polym. Process.*, vol. 39, no. 1, pp. 115–124, 2024, doi: 10.1515/ipp-2023-4374.
- [14] S. M. Ahmad, M. C. Gowrishankar, M. Shettar, and S. Sharma, "Experimental investigation of mechanical properties and morphology of bamboo-glass fiber-nanoclay reinforced epoxy hybrid composites," *Cogent Eng.*, vol. 10, no. 2, 2023, doi: 10.1080/23311916.2023.2279209.
- [15] N. Saba, M. Jawaid, O. Y. Alothman, M. T. Paridah, and A. Hassan, "Recent advances in epoxy resin, natural fiber-reinforced epoxy composites and their applications," *J. Reinf. Plast. Compos.*, vol. 35, no. 6, pp. 447–470, 2016, doi: 10.1177/0731684415618459.

Halaman ini sengaja dikosongkan
(This page is intentionally left blank)