

PENGARUH PROSES KEKUATAN TARIK DAN KEKAKUAN KOMPOSIT HIBRIDA SERAT DAUN NANAS-SERAT ECENG GONDOK

Kharis Setiawan

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: kharis.22111@mhs.unesa.ac.id

Tri Hartutuk Ningsih

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: triningsih@unesa.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh konsentrasi natrium hidroksida (NaOH), lama perendaman, rasio hibrida serat daun nanas (Pineapple Leaf Fiber/PALF) dan serat eceng gondok (Water Hyacinth Fiber/WHF), serta suhu *post-curing* terhadap kekuatan tarik dan modulus elastisitas komposit hibrida bermatriks Polylactic Acid (PLA). Serat diberi perlakuan alkali dengan variasi konsentrasi NaOH 30%, 50%, dan 70%, serta waktu perendaman 1, 3, dan 5 jam. Komposit difabrikasi menggunakan metode *compression moulding* dengan variasi rasio hibrida serat 3:7, 1:1, dan 7:3 serta suhu *post-curing* 80°C, 90°C, dan 100°C. Pengujian tarik dilakukan menggunakan Universal Testing Machine (UTM) untuk memperoleh nilai tegangan tarik, regangan, dan modulus elastisitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi perlakuan alkali, rasio hibrida serat, dan suhu *post-curing* memengaruhi sifat mekanik komposit. Nilai kekuatan tarik tertinggi yang diperoleh sebesar 14,46 MPa dengan modulus elastisitas 1.537,43 MPa, sedangkan nilai terendah sebesar 6,07 MPa dengan modulus elastisitas 832,90 MPa. Peningkatan sifat mekanik dipengaruhi oleh meningkatnya kualitas ikatan antarmuka antara serat dan matriks, distribusi serat yang lebih merata, serta proses *post-curing* yang menghasilkan struktur komposit lebih padat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengendalian parameter proses fabrikasi berperan penting dalam meningkatkan performa mekanik komposit hibrida berbasis serat alam bermatriks PLA sehingga berpotensi dikembangkan sebagai material ramah lingkungan untuk aplikasi teknik.

Kata kunci: komposit hibrida, serat daun nanas, serat eceng gondok, PLA, uji tarik.

Abstract

This study aims to analyze the effects of sodium hydroxide (NaOH) concentration, immersion time, the hybrid ratio of pineapple leaf fiber (PALF) and water hyacinth fiber (WHF), and post-curing temperature on the tensile strength and elastic modulus of hybrid composites reinforced with Polylactic Acid (PLA) matrix. The fibers were treated with NaOH at concentrations of 30%, 50%, and 70% for immersion times of 1, 3, and 5 hours. The hybrid composites were fabricated using the compression moulding method with fiber hybrid ratios of 3:7, 1:1, and 7:3, followed by post-curing at temperatures of 80°C, 90°C, and 100°C. Tensile testing was conducted using a Universal Testing Machine (UTM) to determine tensile strength, strain, and elastic modulus. The results indicate that variations in alkali treatment, fiber hybrid ratio, and post-curing temperature significantly influence the mechanical properties of the hybrid composites. The highest tensile strength obtained was 14.46 MPa with an elastic modulus of 1,537.43 MPa, while the lowest tensile strength was 6.07 MPa with an elastic modulus of 832.90 MPa. The improvement in mechanical properties is attributed to enhanced interfacial bonding between the fibers and the PLA matrix, more uniform fiber distribution, and the post-curing process, which produced a denser composite structure. These findings demonstrate that proper control of fabrication parameters can improve the mechanical performance of natural fiber-reinforced PLA hybrid composites, making them a promising environmentally friendly material for engineering applications.

Keywords: hybrid composite, pineapple leaf fiber, water hyacinth fiber, PLA, tensile strength

PENDAHULUAN

Perkembangan material komposit ramah lingkungan semakin meningkat sebagai alternatif pengganti material berbasis serat sintetis. Komposit serat alam memiliki beberapa keunggulan, seperti ringan, tahan korosi, mudah diperoleh, serta berasal dari sumber daya yang dapat diperbarui. Selain itu, komposit memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi sehingga berpotensi digunakan

pada bidang otomotif, konstruksi, dan manufaktur (Azman dkk., 2024).

Indonesia memiliki potensi biomassa yang melimpah, salah satunya adalah serat daun nanas (*Pineapple Leaf Fiber/PALF*) dan serat eceng gondok (*Water Hyacinth Fiber/WHF*). Serat daun nanas memiliki kandungan selulosa yang tinggi sehingga mampu meningkatkan kekuatan tarik, sedangkan serat eceng gondok berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan penguat komposit yang ringan dan ekonomis. Penggabungan kedua serat tersebut dalam

bentuk komposit hibrida diharapkan mampu menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan penggunaan serat tunggal (Ratulangi dkk., 2025).

Sifat mekanik komposit dipengaruhi oleh kualitas ikatan antara serat dan matriks. Perlakuan alkali menggunakan NaOH diketahui mampu menghilangkan lignin, hemiselulosa, dan pengotor pada permukaan serat sehingga meningkatkan daya rekat dengan matriks. Selain itu, rasio hibrida serat dan suhu post-curing juga berpengaruh terhadap distribusi serat, kekompakan struktur komposit, serta kemampuan material dalam menahan beban tarik (Yudhanto dan Sudarisman, 2016).

Polylactic Acid (PLA) merupakan salah satu polimer biodegradable yang banyak dikembangkan sebagai matriks komposit karena berasal dari sumber daya terbarukan dan memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah dibandingkan polimer berbasis petrokimia. Komposit berbasis PLA memiliki potensi sebagai material ramah lingkungan karena bersifat biodegradable, memiliki sifat mekanik yang baik, serta kompatibel dengan berbagai jenis serat alam sebagai bahan penguat (Trivedi dkk., 2023). Selain itu, PLA memiliki stabilitas termal dan kemampuan diproses yang baik sehingga banyak dimanfaatkan dalam pengembangan biokomposit untuk berbagai aplikasi teknik (Ilyas dkk., 2022; Ramezani Dana & Ebrahimi, 2023).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh konsentrasi NaOH, lama perendaman, rasio hibrida serat daun nanas dan serat eceng gondok, serta suhu post-curing terhadap kekuatan tarik dan modulus elastisitas komposit hibrida bermatriks Polylactic Acid (PLA). Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan komposit berbasis serat alam yang ramah lingkungan dan memiliki sifat mekanik yang lebih baik untuk berbagai aplikasi teknik. (Wijaya, D., & Hidayat, S. 2022)

METODE

Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen (experimental research) yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi NaOH, lama perendaman, rasio hibrida serat daun nanas (Pineapple Leaf Fiber/PALF) dan serat eceng gondok (Water Hyacinth Fiber/WHF), serta suhu post-curing terhadap sifat mekanik komposit bermatriks Polylactic Acid (PLA). Penelitian eksperimen dilakukan dengan memberikan perlakuan pada objek penelitian, kemudian mengamati perubahan respon yang dihasilkan melalui pengujian tarik. Menurut penelitian eksperimen merupakan metode penelitian yang digunakan untuk mengetahui pengaruh perlakuan tertentu terhadap variabel terikat dalam kondisi yang terkendali.

Tempat Dan Waktu Penelitian

- Lokasi Penelitian
Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Gedung A8, Universitas Negeri Surabaya.
- Waktu Penelitian
Waktu yang digunakan untuk mengerjakan penelitian dimulai pada Desember 2025 – Juli 2026 hingga segala data dan analisa yang Di butuhkan terpenuhi

Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan faktor yang divariasikan dalam penelitian, meliputi:

- Konsentrasi NaOH: 30%, 50%, dan 70%
- Lama perendaman: 1 jam, 3 jam, dan 5 jam
- Rasio hibrida serat daun nanas : serat eceng gondok:
 1. 3 : 7
 2. 1 : 1
 3. 7 : 3
- Suhu *post-curing*:
 1. 80°C
 2. 90°C
 3. 100°C

Variabel Terikat (Dependent Variable)

Variabel terikat merupakan respon yang diamati setelah dilakukan perlakuan, yaitu:

- Tegangan tarik (MPa)
- Regangan (%)
- Modulus elastisitas (MPa)

Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang dibuat tetap selama penelitian agar tidak memengaruhi hasil pengujian, yaitu:

- Matriks yang digunakan adalah Polylactic Acid (PLA).
- Dimensi spesimen mengikuti standar ASTM D638 Tipe I.
- Lebar spesimen 12 mm.
- Tebal spesimen 3 mm.
- Panjang daerah ukur (*gauge length*) 50 mm.
- Proses fabrikasi dilakukan menggunakan metode compression moulding.
- Pengujian tarik dilakukan menggunakan Universal Testing Machine (UTM) dengan prosedur yang sama untuk seluruh spesimen.

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui pengujian eksperimen dan studi literatur. Pengujian eksperimen dilakukan untuk memperoleh data primer mengenai sifat mekanik komposit hibrida bermatriks Polylactic Acid (PLA), sedangkan studi literatur digunakan sebagai dasar teori dan pembandingan terhadap hasil penelitian.

- Studi Literatur
Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan informasi dari buku, jurnal ilmiah, standar ASTM, dan hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan komposit serat alam, perlakuan alkali NaOH, proses *compression moulding*, *post-curing*, serta pengujian tarik. Informasi tersebut digunakan sebagai dasar dalam penyusunan metodologi penelitian, analisis data, dan pembahasan hasil penelitian.
- Pembuatan Spesimen
Spesimen komposit dibuat menggunakan matriks Polylactic Acid (PLA) dengan penguat serat

daun nanas dan serat eceng gondok. Sebelum proses fabrikasi, serat diberi perlakuan alkali menggunakan larutan NaOH dengan variasi konsentrasi dan lama perendaman sesuai rancangan penelitian. Selanjutnya, komposit dibentuk menggunakan metode compression moulding dan dilakukan proses post-curing pada suhu yang telah ditentukan.

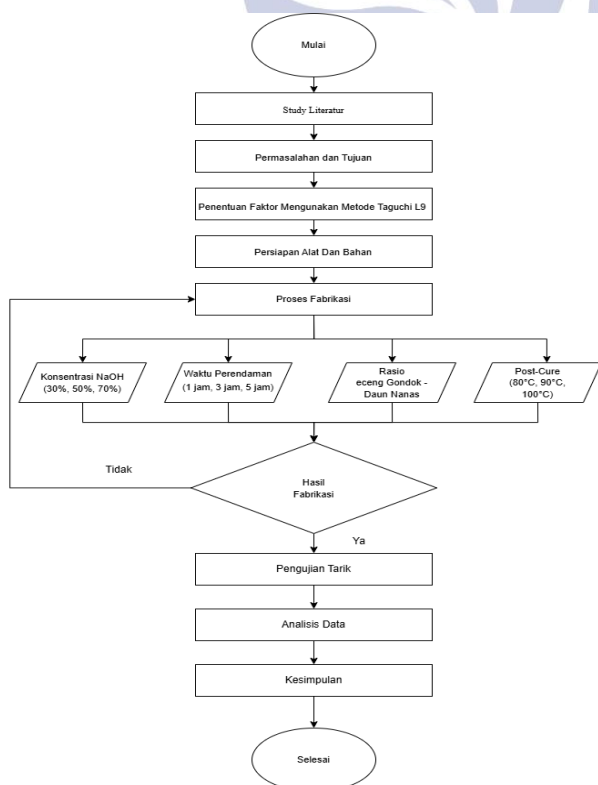
• Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan menggunakan Universal Testing Machine (UTM) sesuai standar ASTM D638. Pengujian bertujuan untuk memperoleh data beban maksimum (*load*) dan pertambahan panjang (*elongation*) spesimen. Data hasil pengujian kemudian digunakan untuk menghitung nilai tegangan tarik, regangan, dan modulus elastisitas.

• Pengolahan dan Analisis Data

Data hasil pengujian diolah dengan menghitung nilai tegangan tarik, regangan, dan modulus elastisitas pada setiap spesimen. Selanjutnya, nilai setiap replikasi dihitung rata-ratanya untuk memperoleh hasil yang mewakili masing-masing variasi perlakuan. Hasil pengujian kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik, serta dianalisis untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi NaOH, lama perendaman, rasio hibrida serat, dan suhu *post-curing* terhadap sifat mekanik komposit.

Flow Chart Penelitian



Gambar 1. Flow Chart Penelitian

Teknik Analisis Data

Data yang didapat melalui metode ini dianggap

memiliki tingkat keakuratan yang tinggi. Proses analisis data sangat berguna untuk menghasilkan kesimpulan yang akurat serta dan interpretasi hasil secara menilai keberhasilan dari penelitian yang dilakukan.

Data yang diperoleh setelah pengujian dihitung menurut persamaan sesuai dengan standart ASTM

1. Uji Tarik

1. Rumus tegangan uji tarik

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

Keterangan:

σ = Tegangan tarik maksimum (N/mm²)

P = Beban yang diberikan (N)

A = Luas penampang (mm²)

2. Rumus regangan uji tarik

$$\epsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell_0}$$

Keterangan :

ϵ = Regangan (%)

$\Delta \ell$ = Pertambahan Panjang (mm)

ℓ_0 = Panjang mula (mm)

ℓ_1 = Panjang sesudah patah (mm)

3. Rumus modulus elastisitas uji tarik

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

Keterangan :

E = Elastisitas (MPa)

σ = Tegangan tarik maksimum (N/mm²)

ϵ = Regangan (%)

Hasil Dan Pembahasan

Hasil Pengujian Tarik

Tabel 1 Data Hasil Pengujian Tarik

No	NaOH(%)	Mkali (Jam)	Rasio	Post Cure (°C)	Replikasi	Uji Tarik		Tegangan (MPa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (MPa)
						Beban (kg)	Jarak (mm)			
1	3	1	3:7	80	Rep 1	63,4	1,27	14,37	1,41	1253,84
					Rep 2	55,2	0,52			
					Rep 3	39,6	0,33			
2	3	3	1:1	90	Rep 1	31,4	0,3	8,27	0,49	1.729,63
					Rep 2	26,2	0,2			
					Rep 3	33,4	0,23			
3	3	5	7:3	100	Rep 1	62,6	0,63	14,46	0,94	1.537,43
					Rep 2	67,4	0,44			
					Rep 3	29,2	0,34			
4	5	1	1:1	100	Rep 1	25,8	0,37	6,52	0,65	1050,57
					Rep 2	29,6	0,42			
					Rep 3	16,4	0,18			
5	5	3	7:3	80	Rep 1	44,2	0,6	10,91	0,8	1.540,60
					Rep 2	32,2	0,21			
					Rep 3	43,8	0,39			
6	5	5	3:7	90	Rep 1	10,6	0,34	6,07	0,72	832,9
					Rep 2	30,6	0,41			
					Rep 3	25,6	0,33			
7	7	1	7:3	90	Rep 1	41,2	0,32	8,43	0,55	1.526,27
					Rep 2	29,2	0,29			
					Rep 3	22,4	0,21			
8	7	3	3:7	100	Rep 1	13,4	0,06	6,34	0,87	1.459,53
					Rep 2	18,8	0,73			
					Rep 3	37,6	0,52			
9	7	5	1:1	80	Rep 1	17,6	0,22	7,51	0,57	1296,6
					Rep 2	27,4	0,28			
					Rep 3	37,6	0,35			

Berdasarkan Tabel 1, terlihat adanya perbedaan nilai beban, jarak (displacement), tegangan tarik, regangan tarik, dan modulus elastisitas pada setiap variasi susunan

serat acak (random). Perbedaan hasil pengujian tarik antarspesimen disebabkan oleh karakteristik komposit serat alam yang bersifat tidak homogen. Penyebaran serat yang tidak sepenuhnya merata, ukuran dan bentuk serat yang bervariasi, terbentuknya void, serta perbedaan ketebalan spesimen menyebabkan setiap spesimen memiliki kemampuan yang berbeda dalam menahan beban tarik. Variasi kekuatan tarik juga dipengaruhi oleh terbentuknya void dan distribusi serat yang kurang merata sehingga menyebabkan transfer beban dari matriks ke serat menjadi tidak optimal (Widodo dkk., 2024). Selain itu, proses pencampuran manual dan distribusi tekanan selama proses compression moulding juga memengaruhi kualitas ikatan antara serat dan matriks sehingga menghasilkan variasi nilai kekuatan tarik dan modulus elastisitas (Yudhanto & Sudarisman, 2016; Jaramillo dkk., 2016).

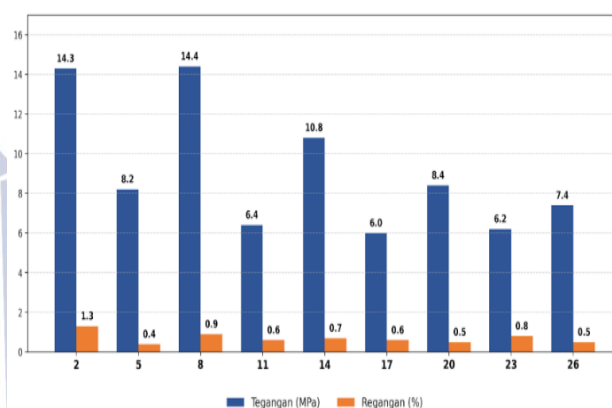
Selain faktor distribusi serat, perbedaan rasio hibrida serat daun nanas dan serat eceng gondok juga memengaruhi kemampuan komposit dalam menerima dan mendistribusikan beban tarik. Komposisi serat yang sesuai akan menghasilkan transfer beban yang lebih efektif antara matriks dan serat, sehingga nilai kekuatan tarik dan modulus elastisitas dapat meningkat. Sebaliknya, rasio serat yang kurang optimal dapat menyebabkan distribusi beban tidak merata sehingga menurunkan sifat mekanik komposit (Wijaya & Hidayat, 2022).

Meskipun demikian, seluruh spesimen yang menggunakan matriks PLA tetap dapat dilanjutkan ke tahap pengujian tarik karena telah memenuhi dimensi standar ASTM D638, memiliki bentuk yang utuh, dan tidak mengalami cacat makroskopis yang menyebabkan kegagalan dini selama pengujian. Berdasarkan hasil uji tarik, nilai beban maksimum dan pertambahan panjang (displacement) pada setiap replikasi menunjukkan perbedaan meskipun menggunakan parameter perlakuan yang sama. Hal ini merupakan karakteristik umum komposit serat alam karena setiap serat memiliki diameter, kandungan selulosa, dan kekuatan mekanik yang berbeda sehingga kemampuan menahan beban juga berbeda (Ratulangi dkk., 2025).

Selain faktor serat, kualitas ikatan antarmuka (interfacial bonding) antara serat dan matriks PLA juga memengaruhi kemampuan komposit dalam mentransfer beban. PLA memiliki sifat yang ramah lingkungan dan mampu memberikan sifat mekanik yang baik, namun kompatibilitasnya dengan serat alam dipengaruhi oleh kondisi permukaan serat. Oleh karena itu, perlakuan alkali diperlukan untuk meningkatkan adhesi antara serat dan matriks sehingga beban dapat ditransfer secara lebih efektif (Ilyas dkk., 2022; Ramezani Dana & Ebrahimi, 2023).

Matriks Polylactic Acid (PLA) mempunyai sifat *biodegradable*, stabil secara termal, serta memiliki potensi membentuk ikatan yang baik dengan serat alam setelah dilakukan modifikasi permukaan. Karakteristik tersebut menjadikan PLA banyak digunakan sebagai matriks dalam pengembangan biokomposit ramah lingkungan (Ramezani Dana & Ebrahimi, 2023). Perlakuan alkali menggunakan larutan NaOH mampu menghilangkan lignin,

hemiselulosa, dan pengotor pada permukaan serat sehingga meningkatkan kekasaran permukaan dan memperbaiki ikatan antara serat dengan matriks. Namun, apabila konsentrasi NaOH atau waktu perendaman terlalu tinggi, struktur selulosa dapat mengalami degradasi yang menyebabkan penurunan kekuatan mekanik komposit. Oleh karena itu, pemilihan kondisi perlakuan alkali yang tepat sangat berpengaruh terhadap peningkatan sifat mekanik komposit (Ratulangi dkk., 2025; Jaramillo dkk., 2016)..



Grafik 1 Tegangan dan Regangan Uji Tarik

Berdasarkan Gambar 1, grafik menunjukkan hubungan antara tegangan dan regangan hasil uji tarik komposit hibrida serat daun nanas-serat eceng gondok bermatriks PLA pada sembilan kombinasi perlakuan. Nilai tegangan dan regangan pada setiap run menunjukkan variasi yang berbeda. Tegangan tertinggi diperoleh pada Run 3 sebesar 14,46 MPa dengan regangan 0,94%, sedangkan tegangan terendah terdapat pada Run 6 sebesar 6,07 MPa dengan regangan 0,72%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa variasi perlakuan pada serat dan proses fabrikasi memengaruhi kemampuan komposit dalam menahan beban tarik.

Sebaran data pada grafik yang tidak seragam menunjukkan bahwa setiap spesimen memiliki karakteristik mekanik yang berbeda. Kondisi ini dipengaruhi oleh distribusi serat yang belum homogen, orientasi serat yang masih acak (random), serta kemungkinan terbentuknya void selama proses compression moulding. Selain itu, kualitas ikatan antara serat dan matriks PLA juga berpengaruh terhadap nilai tegangan yang dihasilkan. Semakin baik ikatan antarmuka yang terbentuk, semakin besar kemampuan komposit dalam menahan beban tarik sehingga nilai tegangan yang diperoleh menjadi lebih tinggi (Yudhanto & Sudarisman, 2016; Widodo dkk., 2024).

Peningkatan sifat mekanik komposit juga dipengaruhi oleh perlakuan alkali yang mampu meningkatkan adhesi antara serat dan matriks serta mengurangi kandungan lignin dan hemiselulosa pada permukaan serat. Dengan meningkatnya kualitas ikatan antarmuka, proses transfer beban dari matriks ke serat menjadi lebih efektif sehingga kekuatan tarik komposit meningkat. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Ratulangi dkk. (2025) yang melaporkan bahwa perlakuan alkali pada serat daun nanas

mampu meningkatkan sifat mekanik komposit, serta penelitian Trivedi dkk. (2023) yang menyatakan bahwa kualitas ikatan antara serat alam dan matriks PLA merupakan salah satu faktor utama yang menentukan performa mekanik biokomposit.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai pengaruh konsentrasi NaOH, lama perendaman, rasio hibrida serat daun nanas (*Pineapple Leaf Fiber/PALF*) dan serat eceng gondok (*Water Hyacinth Fiber/WHF*), serta suhu *post-curing* terhadap sifat mekanik komposit hibrida bermatriks Polylactic Acid (PLA), dapat disimpulkan bahwa:

1. Variasi konsentrasi NaOH, lama perendaman, rasio hibrida serat, dan suhu *post-curing* memengaruhi sifat mekanik komposit hibrida bermatriks PLA. Perbedaan perlakuan menghasilkan perubahan pada nilai tegangan tarik, regangan, dan modulus elastisitas yang menunjukkan bahwa kualitas ikatan antara serat dan matriks sangat dipengaruhi oleh parameter proses yang digunakan.
2. Nilai kekuatan tarik tertinggi yang diperoleh dalam penelitian ini adalah 14,46 MPa dengan modulus elastisitas sebesar 1.537,43 MPa, sedangkan nilai kekuatan tarik terendah adalah 6,07 MPa dengan modulus elastisitas sebesar 832,90 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan yang tepat mampu meningkatkan kemampuan komposit dalam menahan beban tarik dan meningkatkan kekakuan material.
3. Peningkatan sifat mekanik komposit dipengaruhi oleh perlakuan alkali yang mampu meningkatkan daya rekat antara serat dan matriks, distribusi serat yang lebih merata, serta proses *post-curing* yang menghasilkan struktur komposit lebih padat. Sebaliknya, perlakuan yang kurang optimal dapat menyebabkan ikatan antarmuka kurang baik, terbentuknya rongga (*void*), atau penurunan kualitas serat sehingga menurunkan kekuatan tarik dan modulus elastisitas komposit.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji pengaruh variasi parameter proses lainnya, seperti tekanan dan waktu *compression moulding*, fraksi volume serat, serta jenis perlakuan permukaan serat, sehingga dapat diperoleh sifat mekanik komposit yang lebih optimal.
2. Perlu dilakukan pengujian sifat mekanik lainnya, seperti uji impak, uji lentur, uji kekerasan, serta karakterisasi mikrostruktur menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM), untuk memperoleh informasi yang lebih lengkap mengenai mekanisme kerusakan dan kualitas ikatan antara serat dengan matriks.

3. Pada proses fabrikasi komposit, perlu diperhatikan penyusunan dan distribusi serat agar lebih merata serta meminimalkan terbentuknya *void* (rongga udara), karena kondisi tersebut sangat memengaruhi kekuatan tarik dan modulus elastisitas komposit.
4. Penelitian selanjutnya juga disarankan untuk menggunakan variasi jenis matriks atau kombinasi serat alam lainnya agar dapat dibandingkan pengaruhnya terhadap sifat mekanik komposit dan memperluas potensi pemanfaatan material komposit ramah lingkungan pada berbagai aplikasi teknik.

DAFTAR PUSTAKA

- Azman, dkk. 2024. Mechanical Properties of Hybrid Natural Fiber Composites. (Sesuaikan dengan data lengkap pada daftar pustaka skripsi Anda).
- Ilyas, R. A., Ranakoti, L., Gangil, B., Mishra, S. K., Singh, T., Sharma, S., & El-Khatib, S. 2022. Critical Review on Polylactic Acid: Properties, Structure, Processing, Biocomposites, and Nanocomposites. *Materials*, 15(12). <https://doi.org/10.3390/ma15124312>
- Jaramillo, N., Hoyos, D., & Santa, J. F. 2016. Composites with Pineapple-Leaf Fibers Manufactured by Layered Compression Molding. *Dyna*, 162(2), 151–162.
- Ramezani Dana, H., & Ebrahimi, F. 2023. Synthesis, Properties, and Applications of Polylactic Acid-Based Polymers. *Polymer Engineering and Science*, 63(1), 22–43. <https://doi.org/10.1002/pen.26193>
- Ratulangi, W. R., Widyan, R., Suhada, A., & Dani, R. 2025. Fabrication and Characterization of Pineapple Leaf Fiber (PALF) as Candidate of Composite Reinforcing Material. *Prisma Sains: Jurnal Pengkajian Ilmu dan Pembelajaran Matematika dan IPA IKIP Mataram*, 13(1), 76. <https://doi.org/10.33394/j-ps.v13i1.13563>
- Trivedi, A. K., Gupta, M. K., & Singh, H. 2023. PLA Based Biocomposites for Sustainable Products: A Review. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 6(4), 382–395. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2023.02.002>
- Umam, A. F., & Irfa', M. A. 2019. Studi Fraksi Volume Serat Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Polyester Berpenguat Serat Karbon. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(1), 67–72.
- Widodo, R. D., Sutanto, H., Fitriyana, D. F., & Darsono, F. B. 2024. Kekuatan Bending dan Tarik Komposit Berpenguat Serat Eceng Gondok/Tebu Bermatrik Epoxy. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 15(1), 125–138. <https://doi.org/10.21776/jrm.v15i3.1417>
- Wijaya, D., & Hidayat, S. 2022. Effect of Fibre Volume Fraction on Hybrid Composites of Sugarcane Fibre and Coconut Coir Fibre on Tensile Strength. *Prosiding The*

13th Industrial Research Workshop and National Seminar, 78–83.

Yudhanto, F., & Sudarisman. 2016. Karakterisasi Kekuatan Tarik Komposit Hybrid Lamina Serat Anyam Sisal dan Gelas Diperkuat Polyester. Jurnal Ilmiah Semesta Teknik, 19(4)

