

Analisis Performa Material Komposit Ramah Lingkungan Berbasis Serat Alam Sebagai Alternatif Struktur Ringan Berkelanjutan

Abdul Manan, Muzaki Akbar, Zaini Ansori ¹

Abstrak: Penelitian ini menganalisis performa material komposit berbasis serat alam sebagai alternatif struktur ringan yang berkelanjutan. Kebutuhan akan material dengan rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi serta tuntutan pengurangan dampak lingkungan menjadi dasar utama kajian ini. Metode yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif melalui eksperimen, simulasi numerik, dan analisis keberlanjutan. Material yang diuji meliputi serat jute, hemp, coir, dan serat daun nanas yang dikombinasikan dengan matriks polimer sintesis dan bio. Pengujian mencakup sifat mekanik, fisik, dan termal. Simulasi dilakukan menggunakan metode Finite Element Method, sedangkan analisis lingkungan menggunakan Life Cycle Assessment. Hasil menunjukkan bahwa komposit serat alam memiliki kekuatan tarik dan lentur yang kompetitif, terutama pada orientasi serat searah dan setelah perlakuan kimia untuk meningkatkan adhesi antarmuka. Material ini juga memiliki densitas rendah yang mendukung efisiensi energi. Namun, kelemahan masih ditemukan pada tingkat penyerapan air dan stabilitas termal. Hasil simulasi konsisten dengan data eksperimen dalam memprediksi distribusi tegangan dan pola kegagalan. Dari sisi lingkungan, komposit ini berpotensi menurunkan emisi karbon. Secara keseluruhan, komposit serat alam memiliki potensi besar sebagai material struktur ringan berkelanjutan, dengan kebutuhan optimasi lanjutan.

Kata Kunci: Komposit Serat Alam, Struktur Ringan, Material Berkelanjutan, Performa Mekanik, Analisis Lingkungan

Abstract: *This study analyzes the performance of natural fiber-based composite materials as a sustainable alternative for lightweight structures. The need for materials with a high strength-to-weight ratio, along with the demand to reduce environmental impact, forms the main basis of this research. A quantitative approach is employed through experiments, numerical simulations, and sustainability analysis. The materials tested*

¹ Program Studi Kesehatan Lingkungan, Universitas Dian Nuswantoro, Semarang, Indonesia.
Abdulmanan003@gmail.com

include jute, hemp, coir, and pineapple leaf fibers combined with both synthetic and bio-based polymer matrices. The tests cover mechanical, physical, and thermal properties. Simulations are conducted using the Finite Element Method, while environmental analysis is performed using Life Cycle Assessment. The results show that natural fiber composites exhibit competitive tensile and flexural strength, particularly with unidirectional fiber orientation and after chemical treatment to enhance interfacial adhesion. These materials also have low density, which supports energy efficiency. However, limitations remain in terms of water absorption and thermal stability. Simulation results are consistent with experimental data in predicting stress distribution and failure patterns. From an environmental perspective, these composites have the potential to reduce carbon emissions. Overall, natural fiber composites show strong potential as sustainable lightweight structural materials, although further optimization is required.

Keywords: *Natural Fiber Composites, Lightweight Structures, Sustainable Materials, Mechanical Performance, Environmental Analysis*

A. Pendahuluan

Kebutuhan akan material ringan terus meningkat seiring dengan tuntutan efisiensi energi, pengurangan emisi, dan pengembangan teknologi berkelanjutan di berbagai sektor industri. Industri otomotif, konstruksi, dan aerospace secara aktif mencari material dengan rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi untuk meningkatkan performa struktural sekaligus menekan konsumsi energi (Olhan et al., 2021; Skosana et al., 2024). Penggunaan material ringan terbukti mampu mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi gas rumah kaca, sehingga menjadi bagian penting dalam strategi pembangunan berkelanjutan (Zulkarnain et al., 2024). Namun, material komposit sintetis yang selama ini mendominasi, seperti fiberglass dan carbon fiber, memiliki kelemahan signifikan dalam aspek lingkungan karena tidak biodegradable dan bergantung pada sumber daya fosil (Aker et al., 2022; Santhosh et al., 2024).

Dalam konteks ini, komposit berbasis serat alam atau Natural Fiber Composites (NFC) muncul sebagai alternatif yang menjanjikan. NFC memanfaatkan sumber daya terbarukan seperti jute, hemp, kenaf, dan coir yang memiliki

densitas rendah, sifat biodegradable, serta ketersediaan yang melimpah (Girijappa et al., 2019; Palanisamy et al., 2024). Selain itu, NFC menunjukkan rasio kekuatan terhadap berat yang kompetitif dibandingkan material konvensional, sehingga cocok untuk aplikasi struktur ringan (Mishra & Dwivedi, 2025; Santos et al., 2024). Studi terbaru menunjukkan bahwa sifat mekanik seperti kekuatan tarik, kekuatan lentur, dan elastisitas NFC dapat mendekati bahkan menyamai material sintetis dalam kondisi tertentu (Bhise, 2025; Vidal et al., 2023). Hal ini memperkuat posisi NFC sebagai kandidat utama dalam pengembangan material ramah lingkungan.

Perkembangan aplikasi NFC juga semakin luas. Dalam sektor otomotif, NFC digunakan untuk panel interior dan komponen non-struktural yang membutuhkan bobot ringan dan kekuatan moderat (Mistry et al., 2022). Dalam konstruksi, NFC dimanfaatkan sebagai bahan bangunan berkelanjutan yang mampu meningkatkan efisiensi energi bangunan (Siouta et al., 2024). Selain itu, dalam bidang arsitektur, inovasi seperti komposit berbasis mycelium dan serat alami menunjukkan potensi tinggi dalam menciptakan material yang tidak hanya kuat tetapi juga ramah lingkungan (Voutetaki & Balaskas, 2024). Penggunaan limbah biomassa sebagai bahan baku komposit juga memperkuat kontribusi NFC terhadap ekonomi sirkular (Palaniappan et al., 2025).

Meskipun memiliki banyak keunggulan, NFC masih menghadapi berbagai tantangan teknis yang menghambat penggunaannya secara luas dalam aplikasi struktural. Salah satu masalah utama adalah sifat hidrofobik matriks yang tidak kompatibel dengan sifat hidrofilik serat alam, yang menyebabkan adhesi antarmuka yang lemah (Elfaleh et al., 2023). Selain itu, penyerapan kelembaban yang tinggi pada serat alami dapat menurunkan kekuatan mekanik dan durabilitas material (Aker et al., 2022). Variabilitas sifat serat alami akibat perbedaan sumber, kondisi pertumbuhan, dan proses pengolahan juga menjadi kendala dalam menghasilkan material dengan kualitas yang konsisten (Dittenber, 2013).

Masalah durabilitas dan stabilitas termal juga menjadi perhatian penting dalam pengembangan NFC. Dalam aplikasi struktural jangka panjang, material harus mampu

mempertahankan performa mekaniknya di bawah kondisi lingkungan yang beragam. Studi menunjukkan bahwa NFC masih rentan terhadap degradasi akibat paparan kelembaban, suhu tinggi, dan beban berulang (Rangappa, 2021). Selain itu, stabilitas termal yang relatif rendah dibandingkan material sintesis membatasi penggunaannya pada kondisi ekstrem (Palaniappan et al., 2025).

Upaya untuk mengatasi kelemahan tersebut telah dilakukan melalui berbagai pendekatan, seperti modifikasi permukaan serat menggunakan perlakuan kimia, optimasi jenis matriks, dan pengaturan orientasi serat dalam struktur komposit (Elfaleh et al., 2023; Ningsih et al., 2025). Perlakuan alkali, misalnya, terbukti mampu meningkatkan kekuatan ikatan antara serat dan matriks sehingga meningkatkan performa mekanik secara signifikan. Selain itu, pemilihan resin berbasis bio juga dapat meningkatkan keberlanjutan material tanpa mengorbankan performa (Naguib et al., 2024).

Penggunaan metode simulasi seperti Finite Element Method (FEM) juga memberikan kontribusi penting dalam memahami perilaku mekanik NFC. Simulasi memungkinkan analisis distribusi tegangan dan prediksi kegagalan material secara lebih efisien dibandingkan metode eksperimental semata (Alhijazi et al., 2020). Kombinasi antara eksperimen dan simulasi memberikan pendekatan yang lebih komprehensif dalam mengevaluasi performa material (Nagarajaiah et al., 2024).

Selain aspek teknis, evaluasi keberlanjutan juga menjadi faktor penting dalam pengembangan NFC. Analisis siklus hidup atau Life Cycle Assessment (LCA) digunakan untuk mengukur dampak lingkungan dari proses produksi hingga akhir masa pakai material (Santos et al., 2026). Hasil penelitian menunjukkan bahwa NFC memiliki jejak karbon yang lebih rendah dibandingkan material sintesis, terutama karena penggunaan bahan baku terbarukan dan proses produksi yang lebih ramah lingkungan (Zulkarnain et al., 2024). Namun, optimalisasi proses manufaktur masih diperlukan untuk memaksimalkan manfaat lingkungan tersebut.

Berdasarkan uraian tersebut, terlihat bahwa meskipun NFC memiliki potensi besar sebagai material struktur ringan berkelanjutan, masih terdapat kesenjangan penelitian dalam integrasi aspek performa mekanik, durabilitas, dan

keberlanjutan secara komprehensif. Sebagian besar penelitian masih berfokus pada satu aspek tertentu, sehingga diperlukan pendekatan yang lebih holistik untuk mengevaluasi kelayakan NFC sebagai alternatif material struktural.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa material komposit berbasis serat alam dengan mempertimbangkan berbagai parameter yang memengaruhi kekuatan dan durabilitasnya. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi potensi NFC sebagai material struktur ringan berkelanjutan melalui pendekatan yang mengintegrasikan analisis mekanik, simulasi numerik, dan evaluasi lingkungan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan material komposit ramah lingkungan yang tidak hanya memiliki performa tinggi tetapi juga mendukung prinsip keberlanjutan.

B. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan kombinasi metode eksperimen, simulasi numerik, dan analisis literatur untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai performa material komposit berbasis serat alam. Pendekatan ini dipilih karena mampu mengintegrasikan pengujian langsung terhadap material dengan pemodelan teoritis, sehingga menghasilkan analisis yang lebih akurat dan sistematis (Santos et al., 2026; Alhijazi et al., 2020).

Material utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah serat alam seperti jute, hemp, coir, dan pineapple leaf fiber yang dipilih berdasarkan ketersediaan, sifat mekanik, dan potensi aplikasinya dalam struktur ringan (Santos et al., 2024; Ningsih et al., 2025). Serat-serat tersebut digunakan sebagai penguat dalam matriks polimer, baik yang berbasis sintesis seperti epoxy dan polyester maupun berbasis bio seperti resin dari minyak nabati (Vidal et al., 2023). Untuk meningkatkan kualitas ikatan antara serat dan matriks, dilakukan perlakuan kimia berupa alkali treatment menggunakan larutan NaOH yang bertujuan untuk

menghilangkan lignin dan hemiselulosa pada permukaan serat sehingga meningkatkan adhesi (Elfaleh et al., 2023).

Proses fabrikasi komposit dilakukan menggunakan metode hand lay-up dan compression molding. Metode hand lay-up digunakan untuk menghasilkan komposit dengan distribusi serat yang relatif acak, sedangkan compression molding digunakan untuk menghasilkan komposit dengan kepadatan yang lebih tinggi dan distribusi serat yang lebih seragam. Variasi parameter yang digunakan dalam proses fabrikasi meliputi orientasi serat, fraksi volume serat, dan jenis matriks. Pengaturan parameter ini mengacu pada penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa orientasi serat dan jenis resin memiliki pengaruh signifikan terhadap performa mekanik komposit (Ningsih et al., 2025; Naguib et al., 2024).

Setelah proses fabrikasi, dilakukan pengujian karakteristik material yang meliputi uji mekanik, fisik, dan termal. Uji mekanik dilakukan untuk mengukur kekuatan tarik, kekuatan lentur, dan ketahanan impak material. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan material dalam menahan beban dan deformasi (Bhise, 2025; Mishra & Dwivedi, 2025). Uji fisik dilakukan untuk mengukur densitas dan tingkat penyerapan air, yang merupakan parameter penting dalam menentukan stabilitas material terhadap lingkungan (Elfaleh et al., 2023). Selain itu, uji termal dilakukan untuk mengevaluasi stabilitas material pada suhu tinggi, yang menjadi indikator penting dalam aplikasi struktural (Palaniappan et al., 2025).

Untuk melengkapi hasil eksperimen, dilakukan simulasi numerik menggunakan metode Finite Element Method (FEM). Simulasi ini bertujuan untuk menganalisis distribusi tegangan dan regangan dalam material serta memprediksi pola kegagalan yang mungkin terjadi. Model simulasi dikembangkan berdasarkan data eksperimen dan divalidasi untuk memastikan keakuratan hasil (Alhijazi et al., 2020; Nagarajaiah et al., 2024). Penggunaan FEM memungkinkan analisis yang lebih mendalam terhadap perilaku material tanpa harus melakukan pengujian fisik secara berulang.

Selain analisis teknis, penelitian ini juga melakukan evaluasi keberlanjutan menggunakan metode Life Cycle Assessment (LCA). Analisis ini mencakup seluruh siklus hidup material, mulai dari ekstraksi bahan baku, proses produksi,

penggunaan, hingga akhir masa pakai. Parameter yang dianalisis meliputi emisi karbon, konsumsi energi, dan potensi dampak lingkungan lainnya (Santos et al., 2026; Zulkarnain et al., 2024). Hasil LCA digunakan untuk membandingkan dampak lingkungan antara komposit berbasis serat alam dan material sintetis.

Data yang diperoleh dari pengujian eksperimen dan simulasi dianalisis menggunakan metode statistik deskriptif untuk mengidentifikasi pola dan hubungan antar variabel. Analisis komparatif juga dilakukan untuk membandingkan performa berbagai jenis komposit berdasarkan parameter yang telah ditentukan. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil eksperimen dan simulasi untuk memastikan konsistensi dan keandalan data.

Alur penelitian dimulai dari studi literatur untuk mengidentifikasi gap penelitian dan menentukan parameter yang akan diuji. Selanjutnya dilakukan persiapan material dan fabrikasi komposit, diikuti dengan pengujian karakteristik material. Setelah itu, dilakukan simulasi numerik dan analisis keberlanjutan. Tahap terakhir adalah interpretasi hasil untuk menarik kesimpulan mengenai performa dan potensi aplikasi material.

Melalui pendekatan yang terintegrasi ini, penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai performa material komposit berbasis serat alam serta kontribusinya dalam pengembangan struktur ringan yang berkelanjutan.

C. Temuan dan Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa material komposit berbasis serat alam memiliki performa yang kompetitif sebagai alternatif material struktur ringan berkelanjutan. Pengujian yang dilakukan meliputi karakteristik mekanik, fisik, dan termal, serta didukung oleh hasil simulasi numerik dan analisis keberlanjutan. Integrasi berbagai pendekatan ini memberikan gambaran yang komprehensif mengenai potensi dan keterbatasan material komposit serat alam dalam aplikasi struktural.

Hasil uji mekanik menunjukkan bahwa kekuatan tarik dan kekuatan lentur komposit sangat dipengaruhi oleh jenis serat, orientasi serat, serta jenis matriks yang digunakan. Komposit dengan orientasi serat searah menunjukkan nilai kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan orientasi acak. Hal ini terjadi karena distribusi beban dapat ditransfer secara lebih efektif sepanjang arah serat, sehingga meningkatkan efisiensi mekanik material. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa orientasi serat merupakan faktor kunci dalam meningkatkan kekuatan spesifik komposit (Ningsih et al., 2025).

Selain itu, penggunaan matriks berbasis epoxy menunjukkan performa mekanik yang lebih baik dibandingkan polyester, terutama dalam hal kekuatan lentur dan ketahanan terhadap deformasi. Hal ini disebabkan oleh kemampuan epoxy dalam membentuk ikatan yang lebih kuat dengan serat, sehingga meningkatkan integritas struktural komposit. Studi oleh Santos et al. (2026) juga menunjukkan bahwa kombinasi matriks yang tepat dengan perlakuan serat dapat meningkatkan kekuatan lentur hingga signifikan. Dalam penelitian ini, perlakuan alkali menggunakan NaOH terbukti mampu meningkatkan kekuatan tarik dan lentur komposit, yang menunjukkan bahwa peningkatan adhesi antarmuka memiliki peran penting dalam menentukan performa material (Elfaleh et al., 2023).

Hasil uji impak menunjukkan bahwa komposit berbasis serat alam memiliki kemampuan menyerap energi yang cukup baik, meskipun masih lebih rendah dibandingkan komposit sintetis. Hal ini disebabkan oleh struktur alami serat yang cenderung memiliki porositas dan ketidakteraturan, sehingga memengaruhi distribusi energi saat terjadi benturan. Namun demikian, peningkatan fraksi volume serat dan optimasi orientasi dapat meningkatkan ketahanan impak secara signifikan. Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian Mishra dan Dwivedi (2025) yang menunjukkan bahwa peningkatan kandungan serat dapat meningkatkan kemampuan penyerapan energi pada komposit.

Dari sisi sifat fisik, hasil pengujian menunjukkan bahwa densitas komposit berbasis serat alam lebih rendah dibandingkan komposit sintetis, yang mengonfirmasi

keunggulan utama material ini sebagai material ringan. Densitas yang rendah berkontribusi langsung terhadap peningkatan efisiensi energi pada aplikasi seperti otomotif dan konstruksi (Olhan et al., 2021). Namun, hasil uji penyerapan air menunjukkan bahwa komposit berbasis serat alam memiliki tingkat penyerapan kelembaban yang relatif tinggi. Hal ini disebabkan oleh sifat hidrofilik serat alami yang dapat menyerap air melalui struktur selulosanya (Elfaleh et al., 2023).

Penyerapan air yang tinggi dapat berdampak negatif terhadap kekuatan mekanik dan durabilitas material. Air yang terserap dapat menyebabkan pembengkakan serat dan melemahkan ikatan antara serat dan matriks, sehingga menurunkan performa struktural. Oleh karena itu, perlakuan kimia seperti alkali treatment menjadi sangat penting untuk mengurangi sifat hidrofilik serat dan meningkatkan stabilitas material. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perlakuan tersebut mampu menurunkan tingkat penyerapan air secara signifikan, sekaligus meningkatkan kekuatan mekanik komposit.

Hasil uji termal menunjukkan bahwa komposit berbasis serat alam memiliki stabilitas termal yang cukup baik untuk aplikasi pada suhu menengah, namun masih terbatas pada suhu tinggi. Degradasi termal mulai terjadi pada suhu yang lebih rendah dibandingkan komposit sintesis, yang menunjukkan bahwa material ini memiliki keterbatasan dalam aplikasi ekstrem. Temuan ini sejalan dengan penelitian Palaniappan et al. (2025) yang menyatakan bahwa stabilitas termal NFC masih menjadi tantangan dalam pengembangan material berkelanjutan.

Meskipun demikian, penggunaan resin berbasis bio dan teknik modifikasi material dapat meningkatkan stabilitas termal secara bertahap. Selain itu, kombinasi serat alami dengan material lain dalam bentuk komposit hibrida juga dapat menjadi solusi untuk meningkatkan performa termal dan mekanik secara simultan (Naguib et al., 2024). Dengan demikian, pengembangan material komposit tidak hanya bergantung pada satu parameter, tetapi memerlukan pendekatan integratif yang mempertimbangkan berbagai aspek performa.

Hasil simulasi numerik menggunakan metode Finite Element Method (FEM) menunjukkan bahwa distribusi tegangan pada komposit sangat dipengaruhi oleh orientasi serat dan homogenitas material. Model simulasi menunjukkan bahwa daerah dengan konsentrasi tegangan tinggi cenderung terjadi pada area dengan distribusi serat yang tidak merata atau pada antarmuka antara serat dan matriks. Hal ini mengindikasikan bahwa kualitas proses fabrikasi memiliki peran penting dalam menentukan performa material.

Simulasi juga menunjukkan pola kegagalan yang konsisten dengan hasil eksperimen, di mana kegagalan umumnya terjadi akibat debonding antara serat dan matriks serta retakan yang berkembang sepanjang arah serat. Validasi antara hasil simulasi dan eksperimen menunjukkan tingkat kesesuaian yang tinggi, sehingga mengonfirmasi bahwa FEM merupakan alat yang efektif untuk memprediksi perilaku mekanik komposit (Alhijazi et al., 2020; Nagarajaiah et al., 2024). Penggunaan simulasi ini memungkinkan optimasi desain material secara lebih efisien tanpa harus melakukan pengujian berulang yang memerlukan biaya dan waktu yang besar.

Dalam konteks keberlanjutan, hasil analisis Life Cycle Assessment (LCA) menunjukkan bahwa komposit berbasis serat alam memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah dibandingkan material sintesis. Penggunaan bahan baku terbarukan dan proses produksi yang relatif sederhana berkontribusi terhadap pengurangan emisi karbon dan konsumsi energi (Zulkarnain et al., 2024). Selain itu, kemampuan material untuk terdegradasi secara alami juga mengurangi beban limbah lingkungan.

Namun demikian, hasil LCA juga menunjukkan bahwa tahap produksi masih memberikan kontribusi signifikan terhadap dampak lingkungan, terutama pada penggunaan resin sintesis dan energi dalam proses fabrikasi. Oleh karena itu, pengembangan resin berbasis bio dan optimasi proses produksi menjadi langkah penting untuk meningkatkan efisiensi lingkungan secara keseluruhan. Studi oleh Santos et al. (2026) menekankan bahwa integrasi antara performa mekanik dan efisiensi lingkungan merupakan kunci dalam pengembangan material berkelanjutan.

Pembahasan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa performa komposit berbasis serat alam tidak hanya ditentukan oleh satu faktor, tetapi merupakan hasil interaksi kompleks antara berbagai parameter material dan proses. Orientasi serat, jenis matriks, perlakuan serat, dan metode fabrikasi semuanya memiliki kontribusi yang signifikan terhadap sifat akhir material. Oleh karena itu, pendekatan yang sistematis dan terintegrasi sangat diperlukan dalam pengembangan material ini.

Dari perspektif aplikasi, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa komposit berbasis serat alam memiliki potensi besar untuk digunakan pada komponen struktural ringan yang tidak memerlukan beban ekstrem. Dalam sektor otomotif, material ini dapat digunakan untuk panel interior, dashboard, dan komponen semi-struktural yang membutuhkan kombinasi antara kekuatan dan bobot ringan (Mistry et al., 2022). Dalam sektor konstruksi, komposit ini dapat digunakan sebagai bahan bangunan ringan yang mendukung efisiensi energi dan keberlanjutan (Siouta et al., 2024).

Selain itu, inovasi dalam bidang arsitektur menunjukkan bahwa komposit berbasis serat alam dapat digunakan untuk menciptakan struktur yang tidak hanya fungsional tetapi juga estetis dan ramah lingkungan. Penggunaan material seperti mycelium dan serat alami membuka peluang baru dalam desain arsitektur berkelanjutan (Voutetaki & Balaskas, 2024). Hal ini menunjukkan bahwa pengembangan material tidak hanya berdampak pada aspek teknis, tetapi juga pada aspek desain dan inovasi.

Meskipun memiliki potensi yang besar, masih terdapat beberapa tantangan yang perlu diatasi untuk meningkatkan daya saing komposit berbasis serat alam. Salah satu tantangan utama adalah konsistensi kualitas material yang dipengaruhi oleh variabilitas alami serat. Selain itu, pengembangan standar industri dan regulasi juga diperlukan untuk memastikan keamanan dan keandalan material dalam aplikasi struktural.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa komposit berbasis serat alam memiliki performa yang cukup baik untuk digunakan sebagai material struktur ringan berkelanjutan. Meskipun masih terdapat beberapa

keterbatasan, pendekatan yang tepat dalam pemilihan material dan optimasi proses dapat meningkatkan performa secara signifikan. Dengan demikian, komposit berbasis serat alam memiliki potensi besar untuk menjadi alternatif material masa depan yang tidak hanya memenuhi kebutuhan teknis tetapi juga mendukung keberlanjutan lingkungan.

D. Simpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa material komposit berbasis serat alam memiliki potensi kuat sebagai alternatif struktur ringan yang berkelanjutan. Hasil pengujian membuktikan bahwa sifat mekanik seperti kekuatan tarik, kekuatan lentur, dan ketahanan impak dapat mencapai tingkat yang kompetitif, terutama ketika parameter material dioptimalkan dengan tepat. Orientasi serat yang terarah, penggunaan matriks yang sesuai, serta perlakuan kimia pada serat terbukti memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan performa material.

Dari sisi sifat fisik, komposit serat alam memiliki densitas rendah yang mendukung efisiensi energi dalam berbagai aplikasi. Namun, tingkat penyerapan air yang relatif tinggi masih menjadi kelemahan utama yang dapat memengaruhi durabilitas material. Perlakuan permukaan dan pemilihan matriks yang tepat mampu mengurangi dampak tersebut, meskipun belum sepenuhnya menghilangkan keterbatasan ini. Sementara itu, stabilitas termal material masih berada pada tingkat menengah, sehingga penggunaannya perlu disesuaikan dengan kondisi operasional yang tidak ekstrem.

Hasil simulasi numerik memperkuat temuan eksperimen dengan menunjukkan bahwa distribusi tegangan dan pola kegagalan sangat dipengaruhi oleh homogenitas material dan kualitas antarmuka serat-matriks. Validasi antara simulasi dan eksperimen menunjukkan bahwa pendekatan kombinasi keduanya efektif dalam menganalisis perilaku komposit secara komprehensif.

Dari aspek keberlanjutan, komposit serat alam memberikan keuntungan signifikan melalui pengurangan emisi karbon, penggunaan sumber daya terbarukan, dan potensi biodegradabilitas. Meskipun demikian, proses produksi

masih memerlukan optimalisasi agar dampak lingkungan dapat diminimalkan secara menyeluruh.

Secara keseluruhan, komposit berbasis serat alam layak dikembangkan sebagai material alternatif untuk aplikasi struktur ringan berkelanjutan. Pengembangan lebih lanjut diperlukan pada aspek durabilitas, stabilitas termal, dan standarisasi material agar dapat meningkatkan keandalan dan penerapan secara luas di berbagai sektor industri.

Daftar Pustaka

- Akter, M., Uddin, M. H., & Tania, I. S. (2022). Biocomposites based on natural fibers and polymers: A review on properties and potential applications. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 41(17-18), 705-742. <https://doi.org/10.1177/07316844211070609>
- Alhijazi, M., Zeeshan, Q., Qin, Z., Safaei, B., & Asmael, M. (2020). Finite element analysis of natural fibers composites: A review. *Nanotechnology Reviews*, 9(1), 853-875. <https://doi.org/10.1515/NTREV-2020-0069>
- Bhise, P. P. (2025). Development and Characterization of Eco-Friendly Fiber-Reinforced Composite Materials for Structural Applications. *Journal of Research and Review in Fluid Mechanics*, 1(1), 10–13. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15260111>
- Dittenber, D. B., (2013). Natural Kenaf Fiber Reinforced Composites as Engineered Structural Materials. *Graduate Theses, Dissertations, and Problem Reports*. 280. <https://doi.org/10.33915/ETD.280>
- Elfaleh, I., Abbassi, F., Habibi, M., Ahmad, F., Guedri, M., Nasri, M., & Garnier, C. (2023). A comprehensive review of natural fibers and their composites: An eco-friendly alternative to conventional materials. *Results in engineering*, 19, 101271. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101271>
- Girijappa, Y. G. T., Rangappa, S. M., & Parameswaranpillai, J. & Siengchin, S. (2019). Natural fibers as sustainable and renewable resource for development of eco-friendly composites: a comprehensive review. *Frontiers in materials*, 6, 481024. <https://doi.org/10.3389/fmats.2019.00226>

- Mishra, A., & Dwivedi, V. (2025). Mechanical and Physical Behavior of Sisal, Jute, Banana, and Hybrid Natural Fiber Composites: A Review. *Research and Reviews: Journal of Mechanics and Machines*, 7(2), 24–35. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15976815>
- Mistry, P., Barman, N. K., & Bihola, D. (2022). Natural Fibre Composites for Sustainable and Lightweight Automotive Materials. *SAMRIDDHI: A Journal of Physical Sciences, Engineering and Technology*, 14(04), 185-193. <https://doi.org/10.18090/samriddhi.v14i04.37>
- Nagarajaiah, M., Yadav, A., Prasannakumar, S., Mahadevaiah, R. R., & Hiremath, P. (2024). Finite Element Study on Coconut Inflorescence Stem Fiber Composite Panels Subjected to Static Loading. *Engineering Proceedings*, 59(1), 215. <https://doi.org/10.3390/engproc2023059215>
- Naguib, H. M., Taha, E. O., Ahmed, M. A., Shaker, N. O., & Kandil, U. F. M. (2024). Advancing sustainable development through polymer-natural fiber composites: A comprehensive review of structure, properties, and processing techniques. *Egyptian Journal of Chemistry*, 67(9), 669-683. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2024.263100.9194>
- Ningsih, T. H., Fahrurrozi, M., Khine, E. E., & Zakiyya, H. (2025). Toward Sustainable Lightweight Composite: Effect of Resin and Pineapple Leaf Fiber Orientation on Mechanical Performance. *E3S Web of Conferences*, 645, 01012 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202564501012>
- Olhan, S., Khatkar, V., & Behera, B. K. (2021). Textile-based natural fibre-reinforced polymeric composites in automotive lightweighting. *Journal of Materials Science*, 56(34), 18867-18910. <https://doi.org/10.1007/S10853-021-06509-6>
- Palaniappan, M., Palanisamy, S., Louhichi, B., & Ayrilmis, N. (2025). Environmentally Friendly Composites from Agricultural Residue Biomass for Lightweight Applications in New Generation Structures: A Review. *BioResources*, 20(4). <https://doi.org/10.15376/biores.20.4.Palaniappan>
- Palanisamy, S., Murugesan, T. M., Palaniappan, M., Santulli, C., & Ayrilmis, N. (2024). Fostering sustainability: The environmental advantages of natural fiber composite materials—a mini review. *Environmental Research and Technology*, 7(2), 256-269. <https://doi.org/10.35208/ert.1397380>
- Rangappa, S. M. (2021). Natural fiber composites-performance and durability perspective. <https://doi.org/10.3390/CMDWC2021-10001>

- Santhosh, N., Praveena, B. A., Gowda, A. C., Duhduh, A. A., Rajhi, A. A., Alamri, S., ... & Wodajo, A. W. (2024). Innovative eco-friendly bio-composites: A comprehensive review of the fabrication, characterization, and applications. *Reviews on Advanced Materials Science*, 63(1), 20240057. <https://doi.org/10.1515/rams-2024-0057>
- Santos, J. C., Braga, G. G., Christóforo, A. L., Santos Freire, R. T., Tarpani, J. R., Panzera, T. H., & Scarpa, F. (2026). Mechanical Performance Assessment and Streamlined Life-Cycle Analysis of Random-Waste Coir-Fiber Metal Laminates. *Polymer Composites*, 47(4), 3582-3600. <https://doi.org/10.1002/pc.70375>
- Santos, T. F., Santos, C. M., Aquino, M. S., Suyambulingam, I., Kamil Hussein, E., Verma, A., ... & Nascimento, J. H. O. (2024). Towards sustainable and ecofriendly polymer composite materials from bast fibers: a systematic review. *Engineering Research Express*, 6(1), 012501. <https://doi.org/10.1088/2631-8695/ad2640>
- Siouta, L., Apostolopoulou, M., & Bakolas, A. (2024). Natural fibers in composite materials for sustainable building: A state-of-the-art review on treated hemp fibers and hurds in mortars. *Sustainability*, 16(23), 10368. <https://doi.org/10.3390/su162310368>
- Skosana, S. J., Khoathane, C., & Malwela, T. (2025). Driving towards sustainability: A review of natural fiber reinforced polymer composites for eco-friendly automotive lightweighting. *Journal of thermoplastic composite materials*, 38(2), 754-780. <https://doi.org/10.1177/08927057241254324>
- Vidal, J., Ponce, D., Mija, A., Rymarczyk, M., & Castell, P. (2023). Sustainable Composites from Nature to Construction: Hemp and Linseed Reinforced Biocomposites Based on Bio-Based Epoxy Resins. *Materials*, 16(3), 1283. <https://doi.org/10.3390/ma16031283>
- Voutetaki, M. E., & Mpalaskas, A. C. (2024). Natural fiber-reinforced mycelium composite for innovative and sustainable construction materials. *Fibers*, 12(7), 57. <https://doi.org/10.3390/fib12070057>
- Zulkarnain, A., Wibowo, H., Wirawan, W. A., & Dwipayana, A. D. (2024). A review of the environmental benefits of natural fiber composites (NFCs): A step toward sustainable

manufacturing. *Community Practitioner*, 21, 584-591.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.12704387>