



Pengaruh Variasi Fraksi Volume Komposit Serat Kelapa dan Serat Tebu terhadap Kekuatan Impak dan Struktur Makro

Dio Farrel Firmansyah¹, Fahri Ilham Ramadhan², Indah Nurpriyanti^{3*}

^{1,2,3}Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

E-mail : indahnurpriyanti@untag-sby.ac.id

Masuk : xx bulan tahun

Direvisi : xx bulan tahun

Disetujui : xx bulan tahun

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi fraksi volume serat campuran (hibrid) terhadap kekuatan impak dan struktur makro komposit bermatriks resin epoksi. Material komposit dibuat menggunakan penguat serat kelapa dan serat tebu yang telah diberi perlakuan alkali (NaOH 5%) selama 2 jam, dengan metode pencetakan *hand lay up*. Variasi komposisi yang digunakan memiliki total fraksi volume serat 40%, yang terdiri dari spesimen K1 (tebu 30% : kelapa 10%), K2 (tebu 20% : kelapa 20%), dan K3 (tebu 10% : kelapa 30%), dengan masing-masing spesimen dikonfigurasi ke dalam 1, 2, dan 3 lapisan. Pengujian yang dilakukan meliputi uji impak metode Charpy dan pengamatan struktur makro pada permukaan patahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan impak tertinggi dicapai oleh spesimen K3 berlapis tiga (K3L3) sebesar 568,125 kJ/m², sedangkan kekuatan terendah terdapat pada spesimen K1 berlapis satu (K1L1) sebesar 126,250 kJ/m². Pengamatan struktur makro membuktikan bahwa spesimen K3 memiliki distribusi serat yang lebih homogen dengan jumlah cacat *void* dan *fiber pull-out* yang minim, menandakan kualitas ikatan antarmuka yang optimal antara serat dan matriks. Komposit hibrid dengan dominasi serat kelapa 30% ini memiliki potensi yang sangat baik untuk diaplikasikan sebagai material alternatif pembuatan cangkang helm yang kuat, ringan, dan ramah lingkungan.

Kata kunci: Komposit hibrid, serat kelapa, serat tebu, kekuatan impak, struktur makro.

Abstract: This study aims to analyze the effect of varying hybrid fiber volume fractions on the impact strength and macrostructure of epoxy-matrix composites. The composites were fabricated using the hand lay-up method, utilizing coconut and sugarcane fibers that had been treated with a 5% NaOH alkaline solution for two hours to improve interfacial adhesion. A total fiber volume fraction of 40% was maintained across three composition variations: K1, K2, and K3, with each variation configured into one, two, and three-layer laminates. Mechanical performance was evaluated using the Charpy impact test, while macrostructural characteristics were observed on the fracture surfaces. The results revealed that the highest impact strength was achieved by the three-layered K3 specimen at 568.125 kJ/m², whereas the lowest was recorded for the single-layered K1 specimen at 126.250 kJ/m². Furthermore, macrostructural observations demonstrated that the K3 composition exhibited a more homogeneous fiber distribution with minimal voids and fiber pull-out defects, indicating superior interfacial bonding between the reinforcement and the matrix. In conclusion, the hybrid composite with a 30% coconut fiber dominance demonstrates excellent potential for application as a strong, lightweight, and environmentally friendly alternative material for helmet shells.

Keywords: Hybrid composite, coconut fiber, sugarcane fiber, impact strength, macrostructure.

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara tropis memiliki potensi besar dalam pemanfaatan sumber daya alam untuk pengembangan material komposit, khususnya dari limbah pertanian seperti kelapa dan tebu [1]. Meskipun ketersediaannya di perkebunan sangat melimpah, pemanfaatan sabut kelapa dan ampas tebu saat ini masih belum optimal karena umumnya hanya dibuang atau dijadikan bahan bakar. Padahal, kedua jenis limbah tersebut memiliki kandungan selulosa yang tinggi serta karakteristik struktural yang menjanjikan [2]. Sifat mekanik yang baik dari serat kelapa dan tebu ini sangat berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan penguat (*reinforcement*) pada pembuatan material komposit hibrid yang ringan, ramah lingkungan, dan berkelanjutan [3].

Pengembangan komposit hibrid menjadi sebuah solusi inovatif untuk memaksimalkan potensi limbah serat alam tersebut sekaligus menciptakan material baru yang lebih unggul. Komposit hibrid ini menggabungkan dua jenis penguat yang berbeda, yaitu serat kelapa dan serat ampas tebu, ke dalam satu kesatuan matriks dengan tujuan memperoleh kombinasi sifat mekanik yang jauh lebih baik dibandingkan dengan penggunaan satu jenis serat saja [4]. Dalam perancangan komposit ini, resin epoksi diaplikasikan sebagai matriks pengikat karena material ini mampu memberikan daya adhesi yang sangat tinggi terhadap permukaan serat alam [5]. Karakteristik resin epoksi yang memiliki penyusutan rendah, ketahanan termal yang baik, serta mampu mentransfer beban dengan efektif menjadikannya pilihan yang ideal untuk mengikat dan melindungi serat penguat [6].

Kualitas dan performa mekanik material komposit hibrid secara keseluruhan sangat bergantung pada pengaturan parameter fabrikasinya, terutama variasi fraksi volume serat dan kualitas ikatan antarmukanya [7]. Distribusi serat yang homogen serta proporsi fraksi volume yang tepat akan sangat menentukan kemampuan material dalam menahan tegangan dan menyerap energi saat terjadi benturan secara tiba-tiba [8]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi fraksi volume campuran serat kelapa dan serat tebu yang dicetak menggunakan metode *hand lay up* terhadap struktur makro dan nilai kekuatan impaknya. Melalui analisis ini, diharapkan material komposit hibrid berbasis serat alam tersebut dapat diaplikasikan secara optimal sebagai material alternatif pengganti bahan sintetis untuk pembuatan cangkang helm yang kuat, ringan, dan aman.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan membuat komposit berbahan dasar Serat Tebu, Serat Kelapa, dan resin epoksi. Komposit dibuat dengan tiga variasi komposisi bahan. Variasi pertama diberi simbol K1, yaitu komposisi serat tebu 30%, epoksi resin 60%, dan serat kelapa 10%. Variasi kedua diberi simbol K2, yaitu komposisi serat tebu 20%, epoksi resin 60%, dan serat kelapa 20%. Sementara itu, variasi ketiga diberi simbol K3, yaitu komposisi serat tebu 10%, epoksi resin 60%, dan serat kelapa 30%.

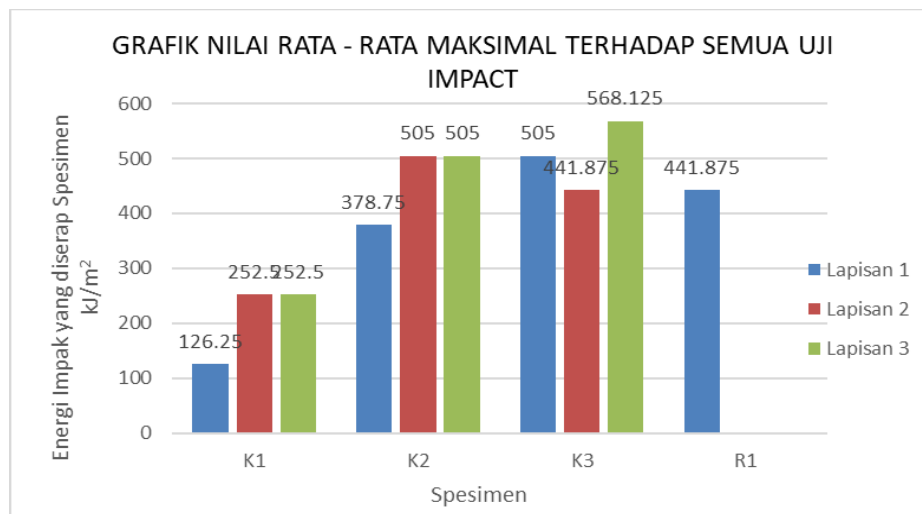
Tabel 1. Variasi Komposisi Bahan dan Perlakuan Lapisan Spesimen

<i>Kode Sampel</i>	<i>Komposisi Bahan</i>	<i>Perlakuan Lapisan 1,2 & 3</i>
K1L1	Tebu 30%, Epoksi Resin 60%, Kelapa 10 %	ST (0,84gr) SK (0,07gr)
K1L2	Tebu 30%, Epoksi Resin 60%, Kelapa 10 %	ST (0,42gr)2 SK (0,047gr)3
K1L3	Tebu 30%, Epoksi Resin 60%, Kelapa 10 %	ST (0,28gr)3 SK (0,035gr)4
K2L1	Tebu 20%, Epoksi Resin 60%, Kelapa 20%	ST (0,56gr) SK (0,15gr)
K2L2	Tebu 20%, Epoksi Resin 60%, Kelapa 20%	ST (0,28gr)2 SK (0,1gr)3
K2L3	Tebu 20%, Epoksi Resin 60%, Kelapa 20%	ST (0,18gr)3 SK (0,07gr)4
K3L1	Tebu 10%, Epoksi Resin 60%, Kelapa 30%	ST (0,28gr) SK (0,205gr)
K3L2	Tebu 10%, Epoksi Resin 60%, Kelapa 30%	ST (0,14gr)2 SK (0,13gr)3
K3L3	Tebu 10%, Epoksi Resin 60%, Kelapa 30%	ST (0,09gr)3 SK (0,1gr)4

Setiap variasi komposisi kemudian diberi perlakuan perendaman selama 2 jam menggunakan larutan NaOH 5% [9]. Untuk memudahkan identifikasi sampel, Perlakuan Lapisan 1 diberi kode L1, Lapisan 2 yaitu L2, Lapisan 3 yaitu L3. Dengan demikian, setiap sampel memiliki kode khusus berdasarkan komposisi bahan dan perlakuan Lapisan yang diberikan. Selanjutnya, dari setiap kode sampel tersebut dibuat spesimen untuk uji Impak dan uji Makro. Uji Impak dilakukan untuk mengetahui kemampuan komposit serat kelapa serat tebu dalam menyerap energi benturan sebelum mengalami kerusakan atau patah [10], sedangkan uji makro dilakukan untuk mengamati karakteristik permukaan patahan komposit setelah uji impak [11]. Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk melihat pengaruh variasi komposisi bahan dan perlakuan lapisan terhadap sifat mekanik komposit. Dengan pemberian kode sampel ini, proses pengujian dan analisis data menjadi lebih mudah, karena setiap spesimen dapat dikenali berdasarkan komposisi bahan dan perlakuan Lapisan yang digunakan. Hasil analisis selanjutnya digunakan untuk menentukan sampel mana yang memiliki kekuatan mekanik paling baik.

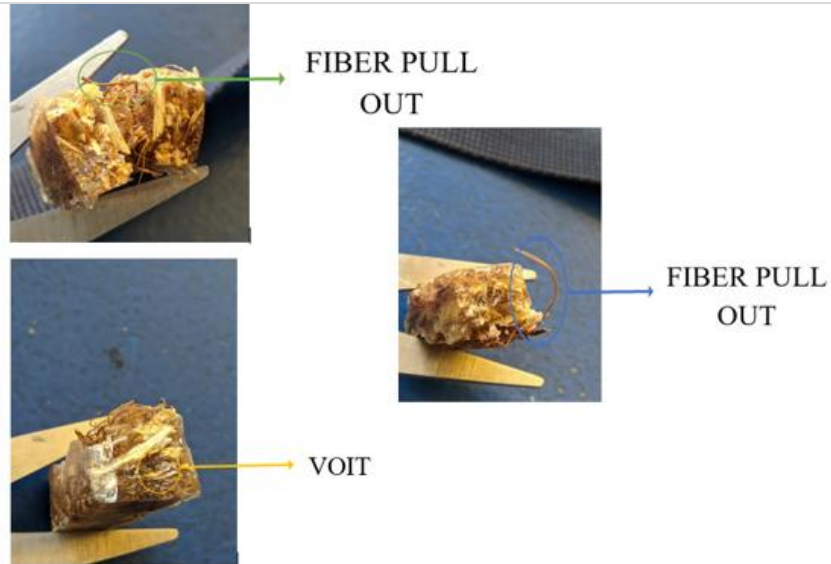
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian impak dilakukan untuk mengevaluasi ketangguhan material komposit hibrid dalam menyerap energi kinetik akibat pembebanan dinamis secara tiba-tiba. Hasil rata-rata kekuatan impak dari berbagai variasi fraksi volume dan ketebalan lapisan direpresentasikan secara visual melalui grafik batang pada Gambar 1.



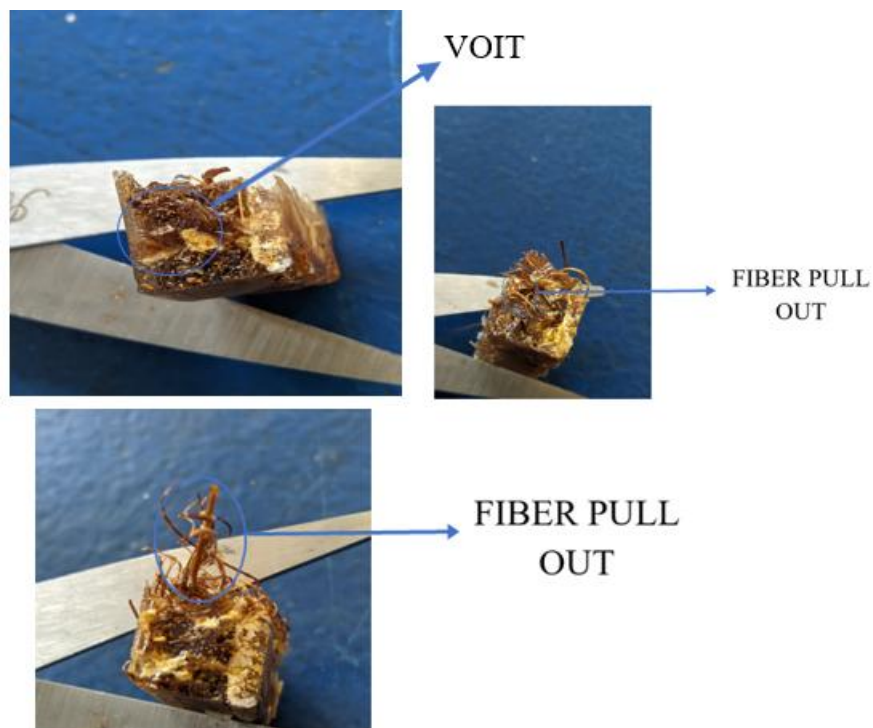
Gambar 1. Nilai Rata-rata Maksimum Terhadap Semua Uji Impact

. Berdasarkan fluktuasi data pada Gambar 1, terlihat bahwa ketangguhan material berbanding lurus dengan peningkatan persentase serat kelapa dan jumlah lapisan laminat. Spesimen K1 yang didominasi oleh serat tebu menunjukkan tingkat ketangguhan paling rendah, hanya mampu menyerap energi sebesar 126,25 kJ/m² pada konfigurasi satu lapisan. Sebaliknya, energi impak memuncak secara drastis pada spesimen K3 berlapis tiga, mencapai nilai 568,125 kJ/m². Secara interpretatif, lonjakan performa ini didorong oleh karakteristik kimiawi sabut kelapa yang kaya akan lignin, sehingga memberikan tingkat keuletan (*ductility*) yang jauh lebih superior dibandingkan selulosa kaku milik serat tebu. Kehadiran lapisan ekstra juga berfungsi sebagai zona transisi efektif yang mendistribusikan gaya benturan, mencegah terjadinya akumulasi tegangan lokal yang dapat menyebabkan patah prematur. Untuk memvalidasi temuan dari data mekanik tersebut, analisis struktur makro pada permukaan spesimen patah dilakukan guna mengidentifikasi mekanisme cacat struktural. Kondisi visual dari spesimen dengan kekuatan terendah dapat diamati dengan jelas pada Gambar 2.

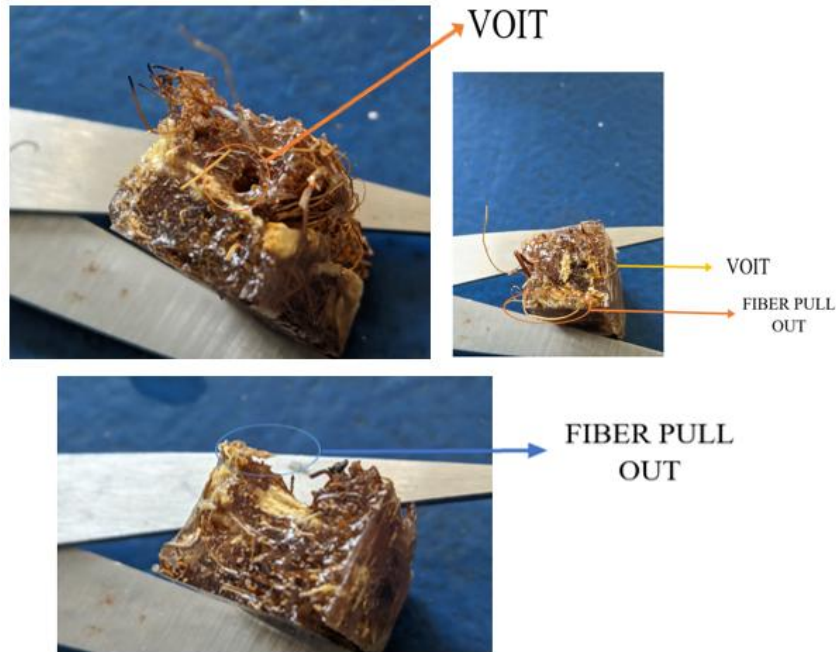


Gambar 2. Hasil Pengujian Struktur Makro Spesimen K1

Merujuk pada Gambar 2, morfologi patahan spesimen K1 memperlihatkan kegagalan struktural tingkat tinggi yang ditandai oleh kemunculan rongga udara (*void*) dan tercabutnya serat dari matriks secara masif (*fiber pull-out*). Cacat visual ini mengindikasikan bahwa rasio dominasi serat tebu menyulitkan resin epoksi untuk melakukan pembasahan (*wetting*) secara komprehensif, sehingga mengunci gelembung udara di dalam komposit. *Void* ini beroperasi sebagai titik konsentrasi tegangan yang mempercepat laju perambatan retak saat terjadi benturan, sedangkan *fiber pull-out* membuktikan rapuhnya kekuatan adhesi antarmuka, di mana serat tergelincir tanpa sempat memberikan resistensi tarik yang berarti. Ketika komposisi fraksi volume disesuaikan menjadi lebih seimbang, karakteristik kerusakan mekanik komposit mulai memperlihatkan perbaikan. Transisi perubahan bentuk patahan tersebut terdokumentasi pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Pengujian Struktur Makro Spesimen K2



Gambar 4. Hasil Pengujian Struktur Makro Spesimen K3

Melalui pengamatan pada Gambar 3, patahan spesimen K2 menunjukkan penurunan intensitas rongga udara, meskipun fenomena *fiber pull-out* masih tersebar di beberapa titik kritis. Kombinasi hibrid yang seimbang ini (20% tebu dan 20% kelapa) berhasil menciptakan distribusi jalinan yang lebih proporsional. Secara interpretatif, serat tebu yang berdimensi lebih kecil secara efektif mengisi kekosongan mikroskopis di antara serat kelapa yang lebih tebal, memfasilitasi pemerataan penyusupan epoksi dan meningkatkan daya cengkram antarmuka dibandingkan spesimen K1. Efektivitas optimal dari interaksi serat dan matriks pada akhirnya tervisualisasikan dengan sangat baik pada spesimen yang menahan beban dampak tertinggi. Integritas struktur pasca-benturan dari komposisi terbaik ini disajikan pada Gambar 4.

Patahan pada Gambar 4 mendemonstrasikan bahwa spesimen K3 memiliki kepadatan penampang yang jauh lebih homogen dengan tingkat kemunculan void yang tereduksi sangat signifikan. Minimnya jejak *fiber pull-out* yang parah menandakan bahwa modifikasi komposisi dengan dominasi serat kelapa memberikan afinitas terbaik terhadap matriks epoksi. Interlocking mekanis yang terbentuk secara sempurna ini mencegah pergeseran serat, sehingga seluruh material bekerja sebagai satu kesatuan yang solid untuk meredam dan menghamburkan energi kinetik palu Charpy sebelum akhirnya patah. Korelasi linear antara integritas morfologi material dengan ketahanannya terhadap tegangan dinamis menjadi parameter kunci fabrikasi komposit ini. Ringkasan klasifikasi cacat struktural dari ketiga komposisi tersebut dikonsolidasikan secara komparatif pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Perbandingan Hasil Pengamatan Struktur Makro Spesimen

<i>Spesimen</i>	<i>Void</i>	<i>Fiber Pull Out</i>	<i>Keterangan</i>
K1	Tinggi	Tinggi	Permukaan patahan menunjukkan banyak rongga dan serat yang tercabut dari matriks. Hal ini menandakan proses pembasahan serat oleh resin kurang optimal serta ikatan antarmuka serat–matriks belum kuat. Banyaknya cacat tersebut menyebabkan energi dampak K1 menjadi paling rendah.

K2	Sedang	Sedang	Jumlah void dan fiber pull-out masih ditemukan pada setiap lapisan, namun distribusi serat yang lebih seimbang dibanding K1 menghasilkan ikatan yang lebih baik. Hal ini menyebabkan nilai impact K2 meningkat dibanding K1.
K3	Rendah hingga sedang	Sedang	K3 memiliki distribusi serat kelapa yang lebih dominan sehingga meningkatkan kemampuan penyerapan energi impact karena sifat serat yang lebih ulet. Meskipun masih ditemukan fiber pull-out dan beberapa void, keberadaan cacat tersebut tidak sebesar K1 dan kualitas ikatan dengan matriks lebih baik, sehingga K3 menghasilkan nilai impact tertinggi.

Pasca evaluasi terhadap Tabel 2, dapat disimpulkan secara tegas bahwa eksistensi cacat makro secara langsung memengaruhi nilai degradasi kemampuan impact material. Spesimen K1 terpuruk secara mekanik karena gagal mempertahankan ikatan antarmuka, terlihat dari metrik cacat void dan *pull-out* yang berada pada level tinggi. Sebaliknya, spesimen K3 membuktikan bahwa pengelolaan fraksi volume yang berpihak pada peningkatan keuletan dari serat kelapa mampu mereduksi porositas ke level rendah, mengoptimalkan transfer tegangan, dan pada akhirnya membukukan nilai impact tertinggi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis pengujian, dapat disimpulkan bahwa variasi fraksi volume serat dan jumlah lapisan laminat memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap kekuatan impact dan integritas struktur makro komposit hibrid bermatriks resin epoksi. Kemampuan serap energi tertinggi berhasil dicapai oleh spesimen K3 berlapis tiga (komposisi 30% serat kelapa dan 10% serat tebu) dengan nilai kekuatan impact sebesar 568,125 kJ/m², sedangkan spesimen K1 berlapis satu mencatatkan nilai terendah yakni 126,250 kJ/m². Pengamatan makrostruktur memvalidasi pencapaian tersebut dengan membuktikan bahwa spesimen K3 memiliki kepadatan penampang paling homogen yang ditandai dengan minimnya cacat rongga udara (*void*) dan kegagalan ikatan serat (*fiber pull-out*). Fenomena ini menegaskan bahwa proporsi serat kelapa yang mendominasi dipadukan dengan struktur laminasi mampu menyempurnakan kualitas adhesi antarmuka serat-matriks, sehingga material bekerja lebih efektif dalam menghamburkan tegangan benturan. Oleh karena itu, rumusan komposisi optimum dari komposit hibrid ini sangat layak dan berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai material manufaktur alternatif untuk cangkang helm pelindung yang tangguh, ringan, dan berkelanjutan.

Untuk pengembangan pada riset selanjutnya, disarankan agar proses fabrikasi komposit menggunakan metode pencetakan yang dibantu dengan tekanan vakum, seperti *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI) atau *Vacuum Bagging*. Metode ini jauh lebih mutakhir dibandingkan *hand lay up* manual karena mampu secara signifikan membuang udara yang terjebak di dalam matriks, sehingga menekan angka cacat *void* dan mengoptimalkan pembasahan serat. Mengingat material ini diproyeksikan untuk aplikasi cangkang helm, sangat penting bagi peneliti berikutnya untuk tidak hanya melakukan uji impact dasar, melainkan menambahkan pengujian mekanik lanjutan seperti uji tarik, uji kelenturan (*flexural*), serta pengujian benturan jatuh bebas (*free-fall drop test*) secara komprehensif menggunakan standar helm SNI 1811-2007. Terakhir, modifikasi bentuk penguat alam dari wujud serat acak menjadi bentuk anyaman (*woven mat*) disarankan untuk dieksplorasi karena arsitektur anyaman dapat mendistribusikan beban mekanis secara lebih merata ke seluruh penampang komposit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. J. Suriani *et al.*, "Critical Review of Natural Fiber Reinforced Hybrid Composites : Processing , Properties , Applications and Cost," pp. 1–43, 2021.
- [2] M. Asrofi *et al.*, "The Effect of Alkalization Fiber on Mechanical , Microstructure , and Thermal Properties of Sugarcane Bagasse Fiber Reinforced PLA Biocomposite," pp. 1–14, 2025, doi: 10.32604/jrm.2025.02025-0033.

-
- [3] Y. T G, S. M R, J. Parameswaranpillai, and S. Siengchin, "Natural Fibers as Sustainable and Renewable Resource for Development of Eco-Friendly Composites: A Comprehensive Review," *Front. Mater.*, vol. 6, Sep. 2019, doi: 10.3389/fmats.2019.00226.
- [4] N. M. Nurazzi, M. R. M. Asyraf, S. F. Athiyah, S. S. Shazleen, and S. A. Rafiqah, "A Review on Mechanical Performance of Hybrid Natural Fiber Polymer Composites for Structural Applications," pp. 1–47, 2021.
- [5] A. M. Seid and S. A. Adimass, "Review on the impact behavior of natural fiber epoxy based composites," *Heliyon*, vol. 10, no. 20, p. e39116, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39116>.
- [6] I. Malashin, V. Tynchenko, A. Gantimurov, and V. Nelyub, "A Multi-Objective Optimization of Neural Networks for Predicting the Physical Properties of Textile Polymer Composite Materials," pp. 1–21, 2024.
- [7] M. Mochane *et al.*, "Recent progress on natural fiber hybrid composites for advanced applications: A review," *Express Polym. Lett.*, vol. 13, pp. 159–198, Jan. 2019, doi: 10.3144/expresspolymlett.2019.15.
- [8] M. Barcikowski, "Mode II fracture characterization of toughened epoxy resin composites," *Int. J. Fract.*, vol. 234, no. 1, pp. 223–233, 2022, doi: 10.1007/s10704-022-00616-4.
- [9] A. Fikri, A. Razi, M. Mainisa, A. Fadhillah, and A. Mila, "Development and Characterization of HDPE Waste/Ramie Fiber Composites for Geomembrane Applications in *Litopenaeus vannamei* Shrimp Cultivation," *Indones. J. Fundam. Appl. Chem.*, vol. 11, pp. 10–17, Feb. 2026, doi: 10.24845/ijfac.v11.i1.10.
- [10] Ż. Daria, "Analysis of Strength Parameters of Polymer – Glass Composites Modified with Rubber Recyclate Through Bending Tests," 2024.
- [11] V. Vantri, "Pengaruh Panjang Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit pada Pembuatan Palmfiber Reinforced Concrete terhadap Uji Lentur dan Struktur Makro," vol. 3, no. April, 2025.