

Pengembangan Biokomposit Ramah Lingkungan Serat Bambu

Rudianto Raharjo^{a,1}, Djarot Bangun Darmadi^a, Teguh Dwi Widodo^a, Redi Bintarto^a, Haslinda Kusumaningsih^a

^aDepartemen Teknik Mesin, Universitas Brawijaya, Malang, 65145

¹rudiantoraharjo@ub.ac.id

ABSTRACT

Synthetic fiber composite materials have been widely used in various high-performance applications due to their lightweight and high strength. However, synthetic fibers' non-renewable and non-biodegradable nature has caused environmental problems. As industrial materials, biocomposites reinforced with natural fibers, such as bamboo, silk, sisal, jute, coconut fiber, banana, and sisal, have received significant attention. This study investigated the mechanical properties of bamboo fibers and developed reinforced composites using hand lay-up and VARTM methods. Three composites were prepared with natural bamboo fibers and bamboo fabric as reinforcement and epoxy resin matrix. Tensile properties were depicted to evaluate the performance of the biocomposites. The biocomposites prepared using the VARTM method with bamboo fabric showed significantly improved mechanical properties. Compared with the hand lay-up method, the biocomposites prepared by the VARTM method showed higher tensile strength. Compared with the combination of the biocomposites prepared by the VARTM method and bamboo fabric reinforcement, the biocomposites prepared by this method withstood the load better. The results of this study show this. Bamboo fiber can be a sustainable alternative to synthetic fibers in composite materials. This will be an environmentally friendly and environmentally responsible solution in several high-performance industries.

Keywords: biocomposite, bamboo, VARTM, Hand Lay-up

Received 2 September 2024; Presented 2 Oktober 2024; Publication 20 Januari 2025

DOI: 10.71452/590894

PENDAHULUAN

Sifat-sifat unik serat alami, seperti kelimpahan ekonomi, keberlanjutan, biodegradabilitas, dan tidak korosif, menarik perhatian penelitian sebagai alternatif yang berkelanjutan untuk komposit serat sintetis[1]. Bambu telah dibudidayakan secara luas selama berabad-abad di negara-negara seperti Indonesia, Cina, dan negara-negara lain[2]. Namun, sumber daya ini belum sepenuhnya digunakan. Komposit serat bambu (BF), di mana serat bambu digunakan sebagai komponen penguat, memiliki potensi yang luar biasa untuk digunakan dalam berbagai konteks, seperti bahan konstruksi, produk konsumen, dan bagian mobil. Efektivitas biaya, kepadatan rendah, kekuatan tarik yang luar biasa, dan modulus tarik yang tinggi menunjukkan kemampuan ini. Serat bambu terutama memiliki kandungan selulosa yang tinggi, yang merupakan faktor penting dalam kekuatan mekanisnya[3].

Dibandingkan dengan bahan berkayu lainnya, bambu memiliki sifat mekanik yang berharga dan murah. Dengan sekitar 1200 spesies bambu yang diketahui, ada sekitar 36 juta hektar bambu yang tumbuh di Asia,

Afrika, dan Amerika Latin. Fokus pengembangan material baru telah beralih ke bambu karena sifat mekanik dan lainnya yang dimiliki bambu lebih baik daripada serat alami yang berasal dari tumbuhan lainnya[4]. Studi telah menunjukkan bahwa sifat mekanik komposit dari serat alami, termasuk komposit yang diperkuat bambu, sebanding dengan komposit yang diperkuat kaca. Sekitar 7% bahan tambahan, 32,2% lignin, dan 60,8% selulosa ditemukan dalam serat bambu. Namun, jumlah ini berbeda di antara spesies bambu karena unsur kimianya. Dibandingkan dengan serat alami yang berasal dari tumbuhan lainnya, serat bambu lebih rapuh karena kandungan lignin yang lebih tinggi[5].

Karakteristik komposit serat alami dipengaruhi oleh sejumlah parameter. Ini termasuk pilihan matriks, perawatan kimia, proses pembuatan, metode pemrosesan, dan parameter yang mempengaruhi kekuatan antarmuka, kandungan/jumlah pengisi, orientasi serat, dan porositas[6]. Jika seseorang dapat mencapai distribusi dan orientasi serat yang seragam, teknik manufaktur apa pun dapat digunakan untuk menghasilkan karakteristik mekanis yang ditingkatkan, seperti kekuatan impak, lentur, dan

tarik[7]. Teknik manufaktur yang dapat diulang, membutuhkan waktu lebih sedikit, dan memberikan sifat yang sangat baik adalah komponen utama dalam komersialisasi biokomposit[8].

Studi ini memulai dengan mengeksplorasi secara menyeluruh bio-komposit yang diperkuat serat bambu dan memberikan penekanan khusus pada karakterisasi mekanis bahan-bahan tersebut. Dengan menggunakan berbagai teknik fabrikasi, seperti lay-up tangan dan Vacuum-Assisted Resin Transfer Molding (VARTM), dan menggunakan resin epoksi sebagai matriks dan serat bambu sebagai bahan penguat utama, tujuan penelitian ini adalah untuk mengungkap perilaku mekanis bio-komposit.

METODOLOGI

Bahan

Karena sifat-sifatnya yang luar biasa dan manfaatnya bagi lingkungan, serat bambu dipilih sebagai bahan penguat utama studi ini. Karena sifatnya yang mirip dengan tekstil, serat bambu yang berasal dari batang bambu, terutama yang dikumpulkan dari desa Wagir kabupaten Malang, memberikan fleksibilitas dalam pembuatan komposit. Bersama dengan serat bambu, kain bambu meningkatkan kinerja dan kekuatan mekanis komposit. Untuk berfungsi sebagai matriks biokomposit, seperti resin epoksi disukai karena sifat perekatnya yang luar biasa, kompatibilitas dengan serat alami, dan kemampuan untuk memberikan integritas struktural pada material komposit. Namun, suhu curing ideal adalah 45 °C sebelum pelepasan cetakan. Serat bambu, kain bambu, dan epoksi adalah komponen utama bio-komposit yang diteliti dalam studi ini. Kelebihan dari bahan-bahan ini dan kemungkinan bahwa mereka dapat bekerja sama untuk membangun komposit dengan sifat mekanis yang unggul yang memiliki kinerja tinggi dan ramah lingkungan adalah alasan mengapa bahan-bahan ini dipilih.

Proses pembuatan

Dalam penelitian ini, dua teknik fabrikasi metode *hand lay-up* dan VARTM dipelajari. Dalam metode lay-up tangan, serat bambu dan kain dilapisi secara manual di dalam cetakan, sedangkan dalam VARTM, lingkungan tertutup vakum memudahkan infus epoksi ke dalam kain bambu. Sesuai dengan standar ASTM, spesimen disiapkan dengan hati-hati untuk pengujian mekanis. Uji tarik dilakukan menggunakan Mesin Uji

Universal (UTM). Data yang dikumpulkan dari pengujian ini dianalisis dengan berfokus pada cara karakteristik mekanis bio-komposit dipengaruhi oleh proses manufaktur. Metodologi komprehensif ini memastikan hasil yang mendalam dan andal, dan membantu kita memahami bahan komposit berkelanjutan untuk aplikasi berkinerja tinggi.

Proses ini dimulai dengan pembersihan dan pengeringan serat bambu untuk meningkatkan kompatibilitasnya dengan matriks resin. Setelah itu, campuran resin epoksi dan pengeras dalam rasio yang tepat disiapkan dengan hati-hati untuk bertindak sebagai matriks perekat dan mengikat serat bambu ke dalam struktur komposit. Selanjutnya, serat bambu dipotong dengan dimensi yang tepat dan massanya diukur dengan cermat untuk memastikan jumlah yang tepat dimasukkan ke dalam komposit. Setelah itu, *hand lay-up* digunakan, di mana cetakan diletakkan untuk mengatur serat bambu yang disiapkan di atasnya dengan cara yang tepat. Sampel representatif diekstraksi dengan hati-hati untuk evaluasi setelah proses pengawetan. Uji mekanis kemudian dilakukan pada spesimen ini, yang mungkin mencakup kekuatan tarik.

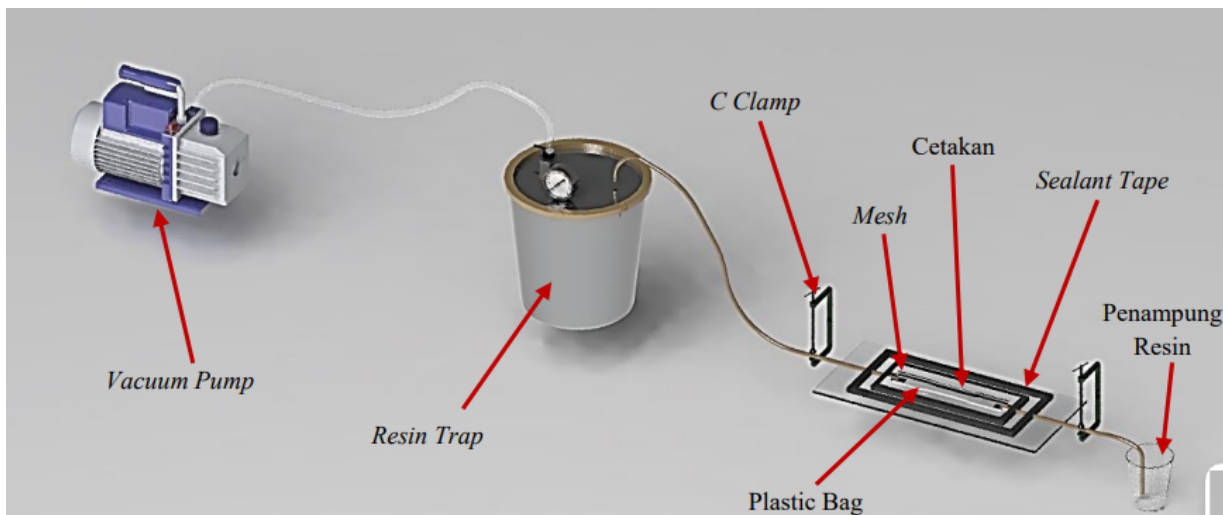
Serat bambu dengan panjang yang telah ditentukan diletakkan secara sistematis pada pelat dasar dalam percobaan yang dilakukan dengan metode *hand lay-up*[9]. Untuk memastikan pengikatan yang baik, campuran resin epoksi dan pengeras harus disiapkan dengan perbandingan 1:10. Rol digunakan untuk mendistribusikan resin epoksi secara merata di seluruh permukaan serat bambu, mengurangi celah udara dan memastikan bahwa tekanan diterapkan secara merata. Selama 24 jam, sampel dibiarkan mengering di udara pada suhu kamar.

Untuk memastikan infus resin yang tepat, percobaan yang dilakukan menggunakan metode VARTM, yang sangat bergantung pada tekanan. Pompa vakum bekerja dengan tekanan atmosfer untuk membuat cetakan tertutup. Dengan menarik resin ke dalam cetakan, vakuum ini mendorong epoksi untuk terbentuk secara menyeluruh dan tersebar merata di seluruh komposit[10]. Untuk memulai infus resin, resin dimasukkan ke dalam cetakan melalui ujung pengaturan yang dihubungkan ke pompa vakum. Infus resin berbantuan vakum ini memastikan bahwa resin didistribusikan secara merata di seluruh cetakan, yang meningkatkan keseragaman bio-komposit yang dihasilkan. Faktor-faktor seperti viskositas resin, desain cetakan, susunan serat, dan vakum yang digunakan memengaruhi aliran resin.

Kekuatan tarik

Ketahanan komposit terhadap beban tarik atau beban aksial luar dikenal sebagai kekuatan tarik komposit. Proporsi fraksi massa dan volume yang tersedia dalam komposit menentukan bagaimana beban yang

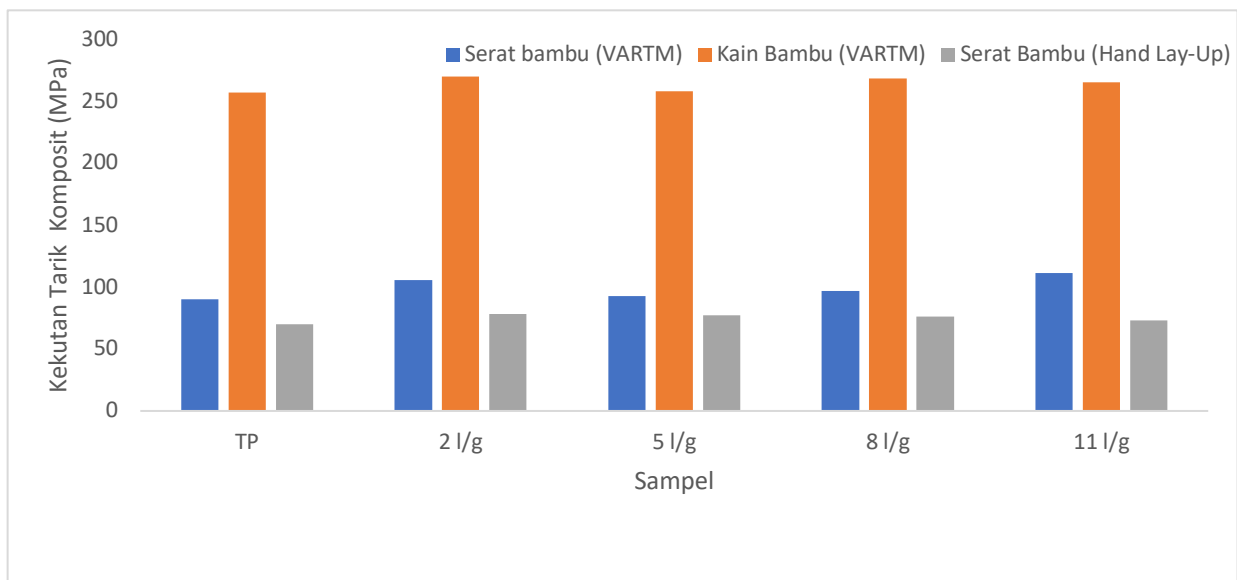
diberikan dibagi. Metode yang paling umum digunakan untuk menilai sifat mekanis material adalah uji tarik. Percobaan dilakukan menggunakan mesin uji universal (UTM) elektronik yang memiliki kapasitas maksimum 100 kN dan kecepatan uji 0,05-500 mm/menit. Pengujian tarik dan lentur dilakukan dengan kecepatan pembebanan 2 mm/menit.



Gambar 1. Gambar Skema VARTM

Tabel 1. Perbandingan kekuatan tarik dari berbagai kombinasi

| Sampel | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Serat bambu (VARTM) (MPa) | 90,27 | 105,67 | 92,57 | 97,11 | 111,58 |
| Kain bambu (VARTM) (MPa) | 257,11 | 270,01 | 258,07 | 268,78 | 265,57 |
| Serat bambu (Hand lay-up) (MPa) | 70,02 | 78,23 | 77,09 | 76,45 | 72,98 |



Gambar 2. Perbandingan kekuatan tarik dari berbagai kombinasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kekuatan Tarik

Gambar 2 menunjukkan Perbandingan kekuatan tarik dari berbagai kombinasi. Komposit serat bambu dengan menggunakan metode VARTM mempunyai kekuatan Tarik sebesar 90,27 MPa, 105,67 MPa, 92,57 MPa, 97,11 MPa dan 111,58 MPa. Rata-rata kekuatan tarik komposit serat bambu dengan menggunakan metode VARTM sebesar 99,44 MPa. Komposit kain bambu dengan menggunakan metode VARTM mempunyai kekuatan Tarik sebesar 257,11 MPa, 270,01 MPa, 258,07 MPa, 268,57 MPa dan 265,57 MPa. Rata-rata kekuatan tarik komposit kain bambu dengan menggunakan metode VARTM sebesar 263,91 Mpa. Komposit serat bambu dengan menggunakan metode *Hand Layup* mempunyai kekuatan Tarik sebesar 70,02 MPa, 78,23 MPa, 77,09 MPa, 76,45 MPa, dan 72,98 MPa. Rata-rata kekuatan tarik komposit serat bambu dengan menggunakan metode *Hand Layup* sebesar 74, 95 Mpa

Dari gambar 2 dapat terlihat bahwa sampel yang terbuat dari kain bambu dan metode VARTM memiliki sifat tarik yang lebih unggul dibandingkan jenis sampel lainnya. Secara umum, komposit yang terbuat dari kain bambu memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit serat bambu untuk semua sampel yang diuji. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan kain bambu sebagai

KESIMPULAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik mekanis bio-komposit yang dibuat dengan metode *Hand Layup* dan metode VARTM, yang menggabungkan kain bambu dan serat bambu dalam matriks epoksi. Studi eksperimental menghasilkan beberapa kesimpulan yang signifikan. Penelitian ini menunjukkan bahwa bio-komposit yang dibuat dengan metode VARTM menggunakan kain bambu memiliki kekuatan tarik yang luar biasa; komposit yang dibuat dengan kain bambu dan metode VARTM memiliki kekuatan tarik rata-rata 263,91 Mpa, sementara komposit yang dibuat dengan serat bambu bambu memiliki kekuatan tarik yang jauh lebih rendah, 99,44 MPa. Studi ini

penguat dalam matriks resin memberikan kekuatan tarik yang lebih baik. Terdapat fluktuasi kekuatan tarik pada setiap sampel, baik untuk komposit serat maupun kain bambu. Fluktuasi ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor, seperti variasi dalam kualitas bahan baku, proses pembuatan, atau cacat pada sampel[7],[11],[12] Meskipun ada fluktuasi, secara umum tren yang terlihat adalah kekuatan tarik cenderung konsisten untuk masing-masing jenis komposit (serat atau kain bambu) di seluruh sampel. Ini mengindikasikan bahwa metode VARTM yang digunakan mampu menghasilkan komposit dengan kekuatan tarik yang relatif stabil[13],[14] Variasi kekuatan tarik antar sampel menunjukkan bahwa faktor lain seperti kualitas bahan baku, proses pembuatan, atau cacat pada sampel dapat mempengaruhi hasil akhir.

Penggunaan metode VARTM pada kedua jenis komposit menunjukkan bahwa metode ini efektif dalam menghasilkan komposit dengan kekuatan tarik yang cukup baik, namun variasi kekuatan tarik antar sampel mengindikasikan adanya ruang untuk perbaikan proses[13]. Hasil ini menunjukkan potensi besar kain bambu sebagai bahan penguat dalam komposit[15]. Kekuatan tarik yang lebih tinggi mengindikasikan bahwa komposit kain bambu dapat diaplikasikan pada produk yang membutuhkan kekuatan mekanik yang lebih tinggi[16].

menunjukkan bahwa metode VARTM bekerja dengan baik dengan kain bambu untuk meningkatkan kapasitas menahan beban. Ini juga menunjukkan bahwa serat bambu dapat berfungsi sebagai alternatif yang berkelanjutan untuk komposit yang diperkuat serat sintetis.

DANA PENELITIAN

Penelitian ini telah didanai dan hibah internal penelitian Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Nomor: 19 /LN10.F07/PN/2024

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Saba, M. T. Paridah, and M. Jawaid, "Mechanical properties of kenaf fibre reinforced polymer composite: A review," *Constr Build Mater*, vol. 76, pp. 87–96, Feb.

- 2015, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2014.11.043.
- [2] Z. Lou *et al.*, “Modification and Application of Bamboo-Based Materials: A Review—Part II: Application of Bamboo-Based Materials,” *Forests*, vol. 14, no. 11, 2023, doi: 10.3390/f14112266.
- [3] H. Wang, R. Chang, K. chuan Sheng, M. Adl, and X. qun Qian, “Impact Response of Bamboo-Plastic Composites with the Properties of Bamboo and Polyvinylchloride (PVC),” *J Bionic Eng*, vol. 5, no. SUPPL., pp. 28–33, Sep. 2008, doi: 10.1016/S1672-6529(08)60068-2.
- [4] L. Osorio, E. Trujillo, A. W. van Vuure, and I. Verpoest, “Morphological aspects and mechanical properties of single bamboo fibers and flexural characterization of bamboo/ epoxy composites,” *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 30, pp. 396–408, 2011, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:136677971>
- [5] N. T. Phong, T. Fujii, B. Chuong, and K. Okubo, “Study on How to Effectively Extract Bamboo Fibers from Raw Bamboo and Wastewater Treatment,” *Journal of Materials Science Research*, vol. 1, no. 1, pp. 144–155, 2011, doi: 10.5539/jmsr.v1n1p144.
- [6] mohd yussni Hashim, M. N. Roslan, A. Mohd Amin, A. M. A. Zaidi, and S. Ariffin, “Mercerization treatment parameter effect on natural fibre reinforced polymer matrix composite: A brief review,” *World Acad Sci Eng Technol*, vol. 68, pp. 1638–1644, Jan. 2012.
- [7] F. M. Zhao and N. Takeda, “Effect of interfacial adhesion and statistical fiber strength on tensile strength of unidirectional glass fiber/epoxy composites. Part I: experiment results,” *Compos Part A Appl Sci Manuf*, vol. 31, no. 11, pp. 1203–1214, Nov. 2000, doi: 10.1016/S1359-835X(00)00085-3.
- [8] Z. Samouh, K. Molnár, S. Hajba, F. Boussu, O. Cherkaoui, and R. El Moznine, “Elaboration and characterization of biocomposite based on polylactic acid and Moroccan sisal fiber as reinforcement,” *Polym Compos*, vol. 42, no. 8, pp. 3812–3826, Aug. 2021, doi: <https://doi.org/10.1002/pc.26095>.
- [9] V. Haripriya, S. Kumbha, S. Manickam, and T. S. Arul Jeevan, “Study the materials behavior for kevlar chopped mate with kenef fiber composites by hand layup technique,” *Mater Today Proc*, vol. 69, pp. 650–653, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.06.545.
- [10] C.-Y. Chang and J.-T. Huang, “VARTM process of composites using double-bag air cushion method,” *Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering*, vol. 47, no. 1, pp. 131–142, Mar. 2023, doi: 10.1139/tcsme-2022-0086.
- [11] S. Sethi and B. C. Ray, “Environmental effects on fibre reinforced polymeric composites: evolving reasons and remarks on interfacial strength and stability.,” *Adv Colloid Interface Sci*, vol. 217, pp. 43–67, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.cis.2014.12.005.
- [12] A. Md Shah, M. Sultan, M. Jawaid, F. Cardona, and A. R. Abu Talib, “A Review on the Tensile Properties of Bamboo Fiber Reinforced Polymer Composites,” *Bioresources*, vol. 11, Sep. 2016, doi: 10.15376/biores.11.4.Shah.
- [13] V. R. Tamakuwala, “Manufacturing of fiber reinforced polymer by using VARTM process: A review,” *Mater Today Proc*, vol. 44, pp. 987–993, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.11.102.
- [14] J.-H. Kim, P.-S. Shin, D.-J. Kwon, K. L. DeVries, and J.-M. Park, “Evaluation of interfacial, dispersion, and thermal properties of carbon Fiber/ABC added epoxy composites manufactured by VARTM and RFI methods,” *Compos Part A Appl Sci Manuf*, vol. 151, p. 106660, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.compositesa.2021.106660.
- [15] G. M. Kanaginahal *et al.*, “Leverage of weave pattern and composite thickness on dynamic mechanical analysis, water absorption and flammability response of bamboo fabric/epoxy composites,” *Heliyon*, vol. 9, no. 1, p. e12950, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e12950.
- [16] H. Yao *et al.*, “A novel multiscale prediction strategy for simulating the progressive damage behavior of plain-woven bamboo fabrics reinforced epoxy resin composites,” *Compos Sci Technol*, vol. 253, p. 110662, Jul. 2024, doi: 10.1016/j.compscitech.2024.110662.