

## BIOKOMPOSIT BERPENGUAT SERAT BAMBU: TANTANGAN DAN INOVASI DALAM MENGEMBANGKAN MATERIAL RAMAH LINGKUNGAN UNTUK APLIKASI STRUKTURAL

Elok Hidayah<sup>1</sup>, Umi L. Jamilah<sup>2</sup>, Aminatur Rosyidah<sup>3</sup>, Eva Lailia<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup> Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, Universitas KH. Mukhtar Syafaat

<sup>2</sup> Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember

Email: [elokhidayah@iaida.ac.id](mailto:elokhidayah@iaida.ac.id)

---

Received  
Maret 2025

Revised  
April 2025

Published  
April 2025

---

### Abstract

*Bamboo fiber-reinforced biocomposites (BFRCs) are increasingly attracting attention as sustainable alternatives to synthetic composites. This review article highlights the mechanical and thermal performance of bamboo fibers, the innovations in fiber treatment and processing techniques, and the challenges such as fiber-matrix incompatibility and environmental degradation. The study discusses advances in nanofiller integration, hybrid biocomposites, and life cycle assessment. Furthermore, it provides a future outlook on the standardization, biodegradability, and industrial scalability of BFRCs. The review concludes that BFRCs have significant potential for structural applications if key material and processing challenges are addressed.*

**Keywords:** *bamboo fiber, biocomposites, sustainability, fiber treatment, green materials*

---

### Abstrak

*Biokomposit berpenguat serat bambu (BFRCs) semakin mendapat perhatian sebagai alternatif berkelanjutan terhadap komposit sintetis. Artikel tinjauan ini menyoroti kinerja mekanik dan termal serat bambu, inovasi dalam perlakuan serat dan teknik pemrosesan, serta tantangan seperti ketidakcocokan serat-matriks dan degradasi lingkungan. Kajian ini membahas kemajuan dalam integrasi nanofiller, biokomposit hibrida, dan penilaian daur hidup. Selain itu, artikel ini menyajikan pandangan ke depan mengenai standarisasi, biodegradabilitas, dan skala industri dari BFRCs. Kajian ini menyimpulkan bahwa BFRCs memiliki potensi besar untuk aplikasi struktural jika tantangan material dan proses dapat diatasi.*

**Katakunci:** *serat bambu, biokomposit, keberlanjutan, perlakuan serat, material hijau*

---

## PENDAHULUAN

Dalam beberapa dekade terakhir, perhatian terhadap pengembangan material berkelanjutan telah meningkat secara signifikan, terutama dalam upaya mengurangi ketergantungan pada sumber daya tak terbarukan. Serat alam, seperti serat bambu, telah menjadi fokus utama dalam penelitian karena ketersediaannya yang melimpah, sifat biodegradabel, dan potensi pengurangan dampak lingkungan dibandingkan dengan serat sintetis. Penelitian sebelumnya menyoroti bahwa serat bambu memiliki kekuatan tarik yang tinggi dan dapat digunakan sebagai alternatif yang menjanjikan dalam komposit struktural [1], [2], [3]. Selain itu, Gao et al. menunjukkan bahwa struktur dinding sel bambu yang unik memberikan kontribusi signifikan terhadap kekuatan mekaniknya [4]. Studi oleh Xu et al. juga menegaskan bahwa serat bambu dapat meningkatkan sifat mekanik komposit, menjadikannya kandidat ideal untuk aplikasi struktural [5].

Serat bambu memiliki keunggulan dalam hal kekuatan spesifik yang tinggi, ringan, dan kemampuan tumbuh cepat, menjadikannya sumber daya terbarukan yang efisien. Penelitian oleh Lokesh et al. menunjukkan bahwa serat bambu memiliki kekuatan tarik yang sebanding dengan serat sintetis [6], sementara itu Mili et al. menekankan potensi serat bambu dalam aplikasi struktural karena sifat mekaniknya yang unggul [7]. Yang et al. mengidentifikasi bahwa serat bambu memiliki struktur mikro berongga yang berkontribusi pada insulasi termal dan ringan, menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi konstruksi dan otomotif [8].

Meskipun serat bambu menawarkan banyak keunggulan, tantangan teknis masih menjadi hambatan dalam pengembangannya sebagai bahan penguat komposit. Salah satu masalah utama adalah ketidakcocokan antara serat bambu yang bersifat hidrofilik dan matriks polimer yang bersifat hidrofobik, yang dapat

menyebabkan lemahnya ikatan antarmuka. Penelitian oleh Hidayah et al.; Sujito et al.; dan Zhan et al. menunjukkan bahwa perlakuan kimia seperti alkalisasi dapat meningkatkan adhesi serat-matriks, namun penggunaan konsentrasi tinggi atau durasi yang terlalu lama dapat merusak struktur serat [9], [10], [11]. Studi oleh Raucci et al. dan Bartos et al. juga menekankan pentingnya optimasi metode perlakuan permukaan serat untuk meningkatkan kompatibilitas dan kinerja komposit [12], [13].

Inovasi dalam teknik pemrosesan dan perlakuan serat bambu telah menjadi fokus penelitian untuk mengatasi tantangan teknis yang ada. Metode seperti compression molding dan resin transfer molding telah digunakan untuk meningkatkan kualitas dispersi serat dan mengurangi porositas dalam komposit. Moran et al. dan Lee et al. melaporkan bahwa integrasi material nano seperti nanoselulosa dan grafena oksida dapat meningkatkan ketahanan dan multifungsi komposit [14], [15]. Selain itu, Pan et al. menunjukkan bahwa penggunaan nanofiller dapat meningkatkan sifat penghalang dan tahan api dari komposit berbasis serat bambu [16]. Penelitian oleh Siagian et al. serta Siagian dan Putra, juga menekankan pentingnya pengembangan metode sintesis ramah lingkungan untuk menghasilkan biokomposit bambu yang efisien dan andal [17], [18].

Penilaian daur hidup (Life Cycle Assessment/LCA) dan analisis teknis-ekonomis menjadi aspek penting dalam mengevaluasi keberlanjutan dan keekonomian dari biokomposit berpenguat serat bambu. Meskipun bambu bersifat terbarukan dan biodegradable, proses ekstraksi, perlakuan kimia, serta konsumsi energi selama siklus hidup produk dapat memengaruhi performa keberlanjutannya. Syduzzaman et al. dan Radu et al. menekankan perlunya integrasi alat LCA dan kalkulasi jejak karbon dalam tahap pengembangan material untuk memastikan bahwa BFRCs benar-benar layak sebagai alternatif ramah lingkungan [19] [20]. Yang et al. juga menunjukkan bahwa strategi proses ramah lingkungan dan sumber daya lokal dapat membantu BFRCs memenuhi standar material berkelanjutan [8]. Studi oleh Ramesh et al. mendukung pentingnya pendekatan holistik dalam evaluasi dampak lingkungan dari BFRCs [21].

Standarisasi dan pengendalian kualitas dalam proses ekstraksi, perlakuan, dan manufaktur serat bambu merupakan kebutuhan mendesak untuk memastikan konsistensi dan keandalan produk akhir. Variasi spesies, kondisi iklim, dan metode panen bambu dapat menyebabkan fluktuasi signifikan pada sifat serat, sehingga mempersulit proses reproduksi skala industri. Jiyas et al. menyoroti perlunya pengembangan sistem standar internasional dan sertifikasi material berbasis bambu untuk memperluas penerimaan pasar dan jaminan mutu global [22]. Ramesh et al. juga menunjukkan bahwa pengendalian kualitas yang ketat dapat meningkatkan kepercayaan konsumen terhadap produk BFRCs [21]. Hal ini didukung oleh hasil penelitian Pan et al. yang mendukung pentingnya standarisasi dalam mempercepat adopsi BFRCs di berbagai industri [16].

Biodegradabilitas dan opsi akhir masa pakai (end-of-life) BFRCs perlu dikaji secara sistematis untuk memastikan bahwa material ini benar-benar ramah lingkungan sepanjang siklus hidupnya. Meskipun serat bambu dan beberapa polimer alami dapat terurai di lingkungan, degradasi di kondisi nyata seperti tanah, laut, atau tempat pembuangan akhir dapat berlangsung lambat atau tidak lengkap.

Biodegradabilitas dan opsi akhir masa pakai (end-of-life) BFRCs perlu dikaji secara sistematis untuk memastikan bahwa material ini benar-benar ramah lingkungan sepanjang siklus hidupnya. Meskipun serat bambu dan beberapa polimer alami dapat terurai di lingkungan, degradasi di kondisi nyata seperti tanah, laut, atau tempat pembuangan akhir dapat berlangsung lambat atau tidak lengkap.

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam kajian ini adalah studi literatur (*literature review*) dengan menelaah berbagai artikel ilmiah dan jurnal terakreditasi yang membahas pemanfaatan serat ampas tebu dalam biokomposit. Prosedur penelitian dilakukan melalui tahapan sebagai berikut ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur prosedur penelitian

Sumber data pada artikel ini berasal dari literatur nasional dan internasional, mulai tahun 2015–2024. Sumber data diperoleh dari jurnal ilmiah bereputasi menggunakan mesin pencari Google Scholar, ScienceDirect, dan Scopus dengan kata kunci “bamboo fiber biocomposites”, “fiber treatment”, dan “natural fiber composites”. Literatur diseleksi berdasarkan relevansi terhadap tema artikel, fokus pada kinerja mekanik dan termal, perlakuan serat, serta tantangan keberlanjutan. Data dianalisis secara deskriptif kualitatif dengan

pendekatan tematik. Hasil analisis disintesis berdasarkan subtema kajian yang mencakup potensi serat bambu, teknik pengolahan, tantangan, dan arah masa depan, sebagai bentuk pelaporan dalam wujud artikel ilmiah.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Serat bambu telah menjadi fokus utama dalam pengembangan material komposit ramah lingkungan karena sifat mekaniknya yang unggul dan ketersediaannya yang melimpah. Penelitian oleh Martijanti et al. menunjukkan bahwa serat bambu memiliki kekuatan tarik yang tinggi dan dapat digunakan sebagai alternatif yang menjanjikan dalam komposit struktural [3]. Jiyas et al. juga menyoroti bahwa struktur dinding sel bambu yang unik memberikan kontribusi signifikan terhadap kekuatan mekaniknya [22]. Selain itu, Mili et al. menegaskan bahwa serat bambu dapat meningkatkan sifat mekanik komposit, menjadikannya kandidat ideal untuk aplikasi struktural [7].

Meskipun serat bambu menawarkan banyak keunggulan, tantangan teknis masih menjadi hambatan dalam pengembangannya sebagai bahan penguat komposit. Salah satu masalah utama adalah ketidakcocokan antara serat bambu yang bersifat hidrofilik dan matriks polimer yang bersifat hidrofobik, yang dapat menyebabkan lemahnya ikatan antarmuka. Penelitian oleh Naidu dan Rao menunjukkan bahwa perlakuan kimia seperti alkalisasi dapat meningkatkan adhesi serat-matriks, namun penggunaan konsentrasi tinggi atau durasi yang terlalu lama dapat merusak struktur serat [23]. Studi oleh Kaouche et al. [24] dan Goncalves et al. [25] juga menekankan pentingnya optimasi metode perlakuan permukaan serat untuk meningkatkan kompatibilitas dan kinerja komposit.

Berbagai metode perlakuan permukaan telah dikembangkan untuk meningkatkan kinerja serat bambu dalam komposit. Penelitian oleh Ang menunjukkan bahwa perlakuan dengan *silane coupling agents* (SCA) dapat meningkatkan adhesi antara serat dan matriks, serta mengurangi sifat hidrofilik serat [26]. Studi oleh Zahari et al. [27] dan Orue et al. [28] juga menegaskan bahwa penggunaan SCA dapat meningkatkan kekuatan mekanik dan ketahanan terhadap degradasi lingkungan pada komposit berbasis serat bambu.

Perlakuan alkali, seperti dengan larutan NaOH, telah terbukti efektif dalam meningkatkan sifat mekanik serat bambu. Penelitian oleh Jamilah [29] dan Hidayah et al. [30] menunjukkan bahwa konsentrasi dan durasi perlakuan yang optimal dapat meningkatkan kekuatan tarik serat tanpa merusak struktur serat. Studi oleh Ramesh et al. [21] juga mendukung temuan ini, menekankan pentingnya kontrol parameter perlakuan untuk mencapai kinerja komposit yang optimal.

Integrasi nanofiller, seperti nanoselulosa dan grafena oksida, dalam biokomposit berbasis serat bambu telah menunjukkan peningkatan signifikan dalam sifat mekanik dan termal komposit. Penelitian oleh George et al. [31] menunjukkan bahwa penambahan nanofiller dapat meningkatkan kekuatan tarik dan modulus elastisitas komposit. Studi oleh Sun et al. [32] dan Rashid et al. [33] juga menegaskan bahwa integrasi nanofiller dapat meningkatkan ketahanan terhadap degradasi lingkungan dan memperpanjang umur pakai komposit.

Evaluasi daur hidup (Life Cycle Assessment/LCA) menjadi aspek penting dalam menilai keberlanjutan biokomposit berbasis serat bambu. Penelitian oleh Sapuan et al. [34] menunjukkan bahwa meskipun serat bambu bersifat terbarukan dan biodegradable, proses ekstraksi dan produksi komposit dapat memiliki dampak lingkungan yang signifikan. Ramesh et al. [21] menekankan perlunya pendekatan holistik dalam evaluasi dampak lingkungan dari BFRCs untuk memastikan bahwa material ini benar-benar ramah lingkungan sepanjang siklus hidupnya.

Standarisasi dan pengendalian kualitas dalam proses ekstraksi, perlakuan, dan manufaktur serat bambu merupakan kebutuhan mendesak untuk memastikan konsistensi dan keandalan produk akhir. Variasi spesies, kondisi iklim, dan metode panen bambu dapat menyebabkan fluktuasi signifikan pada sifat serat, sehingga mempersulit proses reproduksi skala industri. Ramesh et al. [21] menyoroti perlunya pengembangan sistem standar internasional dan sertifikasi material berbasis bambu untuk memperluas penerimaan pasar dan jaminan mutu global. Ramesh et al. [21] juga menunjukkan bahwa pengendalian kualitas yang ketat dapat meningkatkan kepercayaan konsumen terhadap produk BFRCs. Standarisasi juga penting dalam mempercepat adopsi BFRCs di berbagai industri.

Biokomposit berpenguat serat bambu (BFRCs) telah mendapatkan perhatian sebagai alternatif material ramah lingkungan karena sifat biodegradabilitasnya. Namun, laju dan mekanisme degradasi BFRCs sangat bergantung pada jenis matriks polimer yang digunakan, kondisi lingkungan, dan desain komposit secara keseluruhan [35]. Komposit yang menggunakan matriks polilaktat (PLA) menunjukkan waktu paruh biodegradasi sekitar 46 hari dalam kondisi kompos terkontrol, lebih lama dibandingkan PLA murni yang terdegradasi dalam 25 hari [36]. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan serat bambu dapat memperlambat degradasi PLA dengan menghambat penetrasi mikroba dan kelembaban ke dalam matriks.

Studi lain menunjukkan bahwa BFRCs yang menggunakan matriks poliester sintetis seperti polipropilena (PP) memiliki ketahanan biodegradasi yang lebih tinggi. Analisis termogravimetri (TGA) menunjukkan bahwa penambahan serat bambu ke dalam PP menurunkan suhu awal degradasi, namun tidak secara signifikan mempengaruhi suhu degradasi utama, menunjukkan bahwa PP tetap stabil secara termal meskipun ada penambahan serat bambu [37] [38]. Hal ini menunjukkan bahwa BFRCs dengan matriks PP mungkin tidak terdegradasi secara signifikan dalam kondisi lingkungan alami, membatasi opsi akhir masa pakai mereka.

Beberapa penelitian telah mengeksplorasi penggunaan matriks biodegradable seperti poli(caprolactone) (PCL) untuk mengatasi keterbatasan biodegradabilitas matriks sintetis. Komposit PCL yang diperkuat dengan bubuk bambu menunjukkan degradasi lebih dari 20% dalam 4 minggu dalam uji degradasi asam dan lebih dari 5% dalam uji degradasi tanah, menunjukkan potensi sebagai material *biodegradable* [39]. Namun, laju degradasi ini masih tergolong lambat, menunjukkan perlunya modifikasi lebih lanjut untuk meningkatkan biodegradabilitas.

Selain itu, studi tentang produk berbasis bambu, seperti kotak makan siang dari serat bambu, menunjukkan bahwa kekuatan tarik menurun secara signifikan setelah 21 hari penguburan tanah, menunjukkan degradasi struktural yang cepat. Namun, penurunan ini sebagian besar disebabkan oleh degradasi komponen seperti pati tapioka dan hemiselulosa, bukan lignin atau selulosa utama [40]. Hal ini menunjukkan bahwa komponen tertentu dalam BFRCs lebih rentan terhadap degradasi, yang dapat dimanfaatkan untuk merancang komposit dengan degradasi yang dapat diprediksi.

Evaluasi daur hidup (LCA) BFRCs menunjukkan bahwa produk berbasis bambu umumnya memiliki potensi pemanasan global (GWP) yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan konvensional seperti baja atau beton [41]. Namun, hasil LCA sangat dipengaruhi oleh asumsi yang digunakan, seperti metode budidaya bambu, proses manufaktur, dan sumber energi. Konsumsi listrik selama pemrosesan bambu merupakan kontributor utama terhadap GWP, menunjukkan perlunya penggunaan sumber energi terbarukan dalam produksi BFRCs [42].

Studi lain menunjukkan bahwa BFRCs yang diperkuat dengan serat bambu murni memiliki kinerja lingkungan yang lebih baik dibandingkan dengan komposit yang diperkuat dengan serat rami atau serat bambu viskosa. Penambahan agen kompatibilitas seperti polipropilena yang dimodifikasi maleat anhidrida (MAPP) meningkatkan kinerja mekanik dan lingkungan BFRCs [43]. Selain itu, opsi akhir masa pakai seperti daur ulang dan insinerasi lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan pembuangan ke tempat pembuangan akhir.

Secara keseluruhan, biodegradabilitas dan opsi akhir masa pakai BFRCs bergantung pada pilihan matriks, desain komposit, dan kondisi lingkungan. Untuk meningkatkan keberlanjutan BFRCs, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengembangkan matriks biodegradable yang kompatibel dengan serat bambu, serta strategi desain yang memungkinkan degradasi yang dapat diprediksi. Selain itu, penerapan praktik manufaktur yang ramah lingkungan dan penggunaan sumber energi terbarukan akan meningkatkan profil lingkungan BFRCs secara keseluruhan.

## KESIMPULAN

Biokomposit berpenguat serat bambu menunjukkan potensi besar sebagai solusi material ramah lingkungan untuk aplikasi struktural. Meskipun demikian, masih terdapat berbagai tantangan teknis yang harus diatasi, seperti ketidakcocokan serat-matriks dan variabilitas sifat serat. Inovasi dalam perlakuan serat, teknik pemrosesan, dan integrasi teknologi nano dapat menjadi kunci peningkatan performa BFRCs. Penelitian lintas disiplin dan dukungan kebijakan akan berperan penting dalam pengembangan material ini ke arah industrialisasi. Dengan pendekatan yang tepat, BFRCs dapat menjadi pelopor dalam revolusi material hijau masa depan.

## DAFTAR RUJUKAN

- [1] M. Sara, "Embracing Bamboo Composite for a Sustainable Furniture Design: A study of an Eco-Friendly Material," Barcelona, 2020.
- [2] M. Balasubramanian *et al.*, "Opportunities and challenges of bamboo fiber composites in additive manufacturing: A comprehensive review," Sep. 01, 2024, *American Institute of Physics*. doi: 10.1063/5.0227267.
- [3] M. Martijanti, A. L. Juwono, and S. Sutarno, "Investigation of characteristics of bamboo fiber for composite structures," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, May 2020. doi: 10.1088/1757-899X/850/1/012028.

- [4] X. Gao, D. Zhu, S. Fan, M. Z. Rahman, S. Guo, and F. Chen, "Structural and mechanical properties of bamboo fiber bundle and fiber/bundle reinforced composites: a review," Jul. 01, 2022, *Elsevier Editora Ltda.* doi: 10.1016/j.jmrt.2022.05.077.
- [5] D. Xu, S. He, W. Leng, Y. Chen, and Z. Wu, "Replacing Plastic with Bamboo: A Review of the Properties and Green Applications of Bamboo-Fiber-Reinforced Polymer Composites," Nov. 01, 2023, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/polym15214276.
- [6] P. Lokesh, T. S. A. Surya Kumari, R. Gopi, and G. B. Loganathan, "A study on mechanical properties of bamboo fiber reinforced polymer composite," in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2020, pp. 897–903. doi: 10.1016/j.matpr.2019.11.100.
- [7] M. Mili *et al.*, "Advances in Bamboo Composites for Structural Applications: A Review," India, 2023. [Online]. Available: [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com)
- [8] F. Yang *et al.*, "Mechanical and biodegradation properties of bamboo fiber-reinforced starch/polypropylene biodegradable composites," *J Appl Polym Sci*, vol. 137, no. 20, May 2020, doi: 10.1002/app.48694.
- [9] J. Zhan *et al.*, "Effect of the compatilizer and chemical treatments on the performance of poly(lactic acid)/ramie fiber composites," *Composites Communications*, vol. 27, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.coco.2021.100843.
- [10] E. Hidayah, H. Wildana Sofia, U. Fitriyah, and F. Amanah, "Kajian Literatur: Analisis Metode Alkalisasi Menggunakan NaOH untuk Meningkatkan Gaya Adhesi Antarmuka Serat-Matriks dalam Sintesis Biokomposit," *Jurnal Matematika dan Ilmu Pengelatan Alam*, vol. 1, no. 4, pp. 348–360, 2023, doi: 10.59581/konstanta-widyakarya.v1i4.2742.
- [11] S. Sujito, E. Hidayah, A. Sjaifullah, L. Rohman, and E. Supriyanto, "Influence of Citric Acid Addition and Fiber Treatment on Tensile Properties of Ramie Fiber Reinforced Poly-lactic Acid (PLA) Green Composite," *Jour of adv research in dynamical & control systems*, vol. 12, p. 2, 2020, doi: 10.5373/JARDCS/V12SP2/SP20201136.
- [12] M. G. Raucci *et al.*, "Effect of citric acid crosslinking cellulose-based hydrogels on osteogenic differentiation," *J Biomed Mater Res A*, vol. 103, no. 6, pp. 2045–2056, 2015, doi: 10.1002/jbm.a.35343.
- [13] A. Bartos *et al.*, "Alkali treatment of lignocellulosic fibers extracted from sugarcane bagasse: Composition, structure, properties," *Polym Test*, vol. 88, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.polymertesting.2020.106549.
- [14] J. I. Morán, V. A. Alvarez, V. P. Cyras, and A. Vázquez, "Extraction of cellulose and preparation of nanocellulose from sisal fibers," *Cellulose*, vol. 15, no. 1, pp. 149–159, 2008, doi: 10.1007/s10570-007-9145-9.
- [15] K. Y. Lee, Y. Aitomäki, L. A. Berglund, K. Oksman, and A. Bismarck, "On the use of nanocellulose as reinforcement in polymer matrix composites," *Compos Sci Technol*, vol. 105, pp. 15–27, 2014, doi: 10.1016/j.compscitech.2014.08.032.
- [16] C. Pan *et al.*, "Bamboo as a Nature-Based Solution (NbS) for Climate Change Mitigation: Biomass, Products, and Carbon Credits," Sep. 01, 2023, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/cli11090175.
- [17] D. E. N. Siagian and M. H. S. Putra, "Serat Alam Sebagai Bahan Komposit Ramah Lingkungan," *Serat Alam Sebagai Bahan Komposit Ramah Lingkungan*, vol. 5, no. 1, pp. 55–60, 2024.
- [18] D. E. N. Siagian, M. Hakiem, and S. Putra, "SERAT ALAM SEBAGAI BAHAN KOMPOSIT RAMAH LINGKUNGAN NATURAL FIBER AS AN ENVIRONMENTALLY FRIENDLY COMPOSITE MATERIAL," 2024. [Online]. Available: <http://jurnalnasional.ump.ac.id/index.php/civeng>
- [19] M. Syduzzaman, M. A. Al Faruque, K. Bilisik, and M. Naebe, "Plant-based natural fibre reinforced composites: A review on fabrication, properties and applications," Oct. 01, 2020, *MDPI AG*. doi: 10.3390/coatings10100973.
- [20] I. C. Radu, A. M. Vadureanu, D. E. Cozorici, E. Blanzeanu, and C. Zaharia, "Advancing Sustainability in Modern Polymer Processing: Strategies for Waste Resource Recovery and Circular Economy Integration," Feb. 01, 2025, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/polym17040522.
- [21] K. Ramesh, R. Saha, S. Goswami, Sekar, and R. Dahiya, "Consumer's response to CSR activities: Mediating role of brand image and brand attitude," *Corp Soc Responsib Environ Manag*, vol. 26, no. 2, pp. 377–387, Mar. 2019, doi: 10.1002/csr.1689.

- [22] N. Jiyas, I. Sasidharan, K. Bindu Kumar, B. Gopakumar, M. Dan, and B. Sabulal, "Mechanical superiority of Pseudoxytenanthera bamboo for sustainable engineering solutions," *Sci Rep*, vol. 13, no. 1, Dec. 2023, doi: 10.1038/s41598-023-45523-3.
- [23] A. L. Naidu and P. S. V. R. Rao, "A REVIEW ON CHEMICAL BEHAVIOUR OF NATURAL FIBER COMPOSITES," 2016. [Online]. Available: [www.sadgurupublications.com](http://www.sadgurupublications.com)
- [24] N. Kaouche, M. Mebrek, A. Mokaddem, B. Doumi, M. Belkheir, and A. Boutaous, "Theoretical study of the effect of the plant and synthetic fibers on the fiber-matrix interface damage of biocomposite materials based on PHAs (polyhydroxyalkanoates) biodegradable matrix," *Polymer Bulletin*, vol. 79, no. 9, pp. 7281–7301, Sep. 2022, doi: 10.1007/s00289-021-03849-w.
- [25] B. M. M. Gonçalves *et al.*, "Surface treatments of coffee husk fiber waste for effective incorporation into polymer biocomposites," *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 19, Oct. 2021, doi: 10.3390/polym13193428.
- [26] C. Kit Ang, "Mechanical Strength and Water Absorption Analysis of Silane Treated Kenaf Natural Composites With Silicon Nanoparticles," 2021, doi: 10.21203/rs.3.rs-297917/v1.
- [27] W. Z. W. Zahari, R. N. R. L. Badri, H. Ardyananta, D. Kurniawan, and F. M. Nor, "Mechanical Properties and Water Absorption Behavior of Polypropylene / Ijuk Fiber Composite by Using Silane Treatment," in *Procedia Manufacturing*, Elsevier B.V., 2015, pp. 573–578. doi: 10.1016/j.promfg.2015.07.099.
- [28] A. Orue, A. Jauregi, U. Unsuaín, J. Labidi, A. Eceiza, and A. Arbelaiz, "The effect of alkaline and silane treatments on mechanical properties and breakage of sisal fibers and poly(lactic acid)/sisal fiber composites," *Compos Part A Appl Sci Manuf*, vol. 84, pp. 186–195, 2016.
- [29] U. L. Jamilah, "THE IMPROVEMENT OF RAMIE FIBER PROPERTIES AS COMPOSITE MATERIALS USING ALKALIZATION TREATMENT: NaOH CONCENTRATION," 2021.
- [30] E. Hidayah, A. Rosyidah, and F. Rizka Tamami, "NAOH EFFECT ON BIOCOMPOSITES: STUDI PENGARUH NAOH TERHADAP KEKUATAN TARIK BIOKOMPOSIT BERPENGUAT SERAT ALAM," *Journal of Educational and Applied Science*, vol. 1, no. 2, 2024, [Online]. Available: <https://ejournal.iaida.ac.id/index.php/jeas>
- [31] G. George, H. Manikandan, T. M. A. Kumar, S. Joshy, A. C. Sanju, and S. Anandhan, "Effect of nanofillers on the crystalline and mechanical properties of EVACO polymer nanocomposites," in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2021, pp. 5024–5028. doi: 10.1016/j.matpr.2021.04.613.
- [32] J. Sun *et al.*, "Nanofiller reinforced biodegradable PLA/PHA composites: Current status and future trends," May 07, 2018, *MDPI AG*. doi: 10.3390/polym10050505.
- [33] A. Bin Rashid, M. Haque, S. M. M. Islam, and K. M. R. Uddin Labib, "Nanotechnology-enhanced fiber-reinforced polymer composites: Recent advancements on processing techniques and applications," Jan. 30, 2024, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e24692.
- [34] F. L. Pua, S. M. Sapuan, E. S. Zainudin, and M. Z. Adib, "Effect of fibre surface modification on properties of Kenaf/Poly(vinyl alcohol) composite film," *J Biobased Mater Bioenergy*, vol. 7, no. 1, pp. 95–101, Feb. 2013, doi: 10.1166/jbmb.2013.1270.
- [35] S. M. Hussain, S. Z. H. Shah, P. S. M. Megat-Yusoff, and M. Z. Hussain, "Degradation and mechanical performance of fibre-reinforced polymer composites under marine environments: A review of recent advancements," Sep. 01, 2023, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2023.110452.
- [36] E. Trofimchuk *et al.*, "Degradation of Structurally Modified Polylactide under the Controlled Composting of Food Waste," *Polymers (Basel)*, vol. 15, no. 19, Oct. 2023, doi: 10.3390/polym15194017.
- [37] S. Wasti, S. Kore, P. Yeole, H. Tekinalp, S. Ozcan, and U. Vaidya, "Bamboo fiber reinforced polypropylene composites for transportation applications," *Front Mater*, vol. 9, Oct. 2022, doi: 10.3389/fmats.2022.967512.
- [38] I. Widiastuti, D. H. Pratama, M. L. Hakim, D. S. Wijayanto, and B. Harjanto, "Mechanical and thermal properties of recycled polypropylene bamboo fibre-reinforced composites," *International Journal of Advances in Applied Sciences*, vol. 12, no. 3, pp. 205–213, Sep. 2023, doi: 10.11591/ijaas.v12.i3.pp205-213.
- [39] S. G. Nukala, I. Kong, V. I. Patel, A. B. Kakarla, W. Kong, and O. Buddrick, "Development of Biodegradable Composites Using Polycaprolactone and Bamboo Powder," *Polymers (Basel)*, vol. 14, no. 19, Oct. 2022, doi: 10.3390/polym14194169.
- [40] H. Jiang, G. Wang, X. Chen, X. Wei, and F. Chen, "Degradation Characteristics of Environment-Friendly Bamboo Fiber Lunch Box Buried in the Soil," *Forests*, vol. 13, no. 7, Jul. 2022, doi: 10.3390/f13071008.

- [41] O. J. Adebowale and J. N. Agumba, “Bamboo in sustainable construction: effects on productivity and safety,” 2024, *Emerald Publishing*. doi: 10.1108/IJPPM-06-2023-0307.
- [42] J. Gan, M. Chen, K. Semple, X. Liu, C. Dai, and Q. Tu, “Life cycle assessment of bamboo products: Review and harmonization,” *Sci Total Environ*, 2022.
- [43] F. Gu *et al.*, “Can bamboo fibres be an alternative to flax fibres as materials for plastic reinforcement? A comparative life cycle study on polypropylene/flax/bamboo laminates,” *Ind Crops Prod*, vol. 121, pp. 372–387, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.indcrop.2018.05.025.