



Pembuatan Lengan Senapan Angin 300x100x30 mm, Kaliber 4 mm, Komposit Sabut Kelapa, Kapasitas 0,67 Pasang/Jam

Lazuardi¹, Syamsul Hadi^{2*}, Nundiah Zuhrohfi Immarah³, Muhammad Akhlis Rizza⁴, Sugeng Hadi Susilo⁵, Maryono⁶

^{1,2,4,5}Program Studi Doktor Terapan, Optimasi Desain Mekanik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

³Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi dan Sains, PGRI Pasuruan Indonesia

⁶Program Studi Teknik Rekayasa Persenjataan Militer, Politeknik Angkatan Darat, Batu, Indonesia

Email: atingthok99@gmail.com¹, syamsul.hadi@polinema.ac.id^{2*}, nundiahzi@gmail.com³, muh.akhlis@polinema.ac.id⁴, maryono250375@gmail.com⁵

*Penulis Korespondensi: syampol2003@yahoo.com

Abstract. The weight of the 4 mm caliber air rifle arm (hand grip) with an initial weight of 450 g and the abundance of underutilized coconut fiber are the problems faced. The purpose of the manufacture is to obtain an air rifle arm measuring 300x100x30 mm, 4 mm caliber from coconut fiber composite material with an air rifle arm weight of around 250 g. The manufacturing method includes: air rifle arm design; selection of coconut fiber material with a diameter of 0.3-0.6 mm with drying at a temperature of 80°C for 2 hours; making a left and right pair of air rifle arm molds; molding coconut fiber composites with polyester resin and 0.5% hardener with a random fiber arrangement with a length of 10 mm and a volume fraction of 20%; natural hardening (curing) for 24 hours; making a standard specimen of coconut fiber composite with the composition for impact tests with three replications; analysis of impact test results data; quality and dimension inspection of the air rifle arm composite. The result of the manufacturing process is an air rifle arm weighing 238 g, with a specific impact strength of 0.087 J/mm², with a total production cost of IDR 157,000/pair, and a production duration of 90 minutes/pair, which results in the total weight of the rifle decreasing from 6.5 kg to 6.3 kg.

Keywords: 4 mm Caliber; Air Rifle Arm; Coconut Fiber; Impact Test; Polyester Resin.

Abstrak. Beratnya lengan senapan angin (hand grip) kaliber 4 mm yang berbobot awal 450 g dan melimpahnya serat kelapa yang kurang dimanfaatkan sebagai permasalahan yang dihadapi. Tujuan pembuatan untuk memperoleh lengan senapan angin ukuran 300x100x30 mm, kaliber 4 mm dari bahan komposit sabut kelapa dengan berat lengan senapan angin sekitar 250 g. Metode pembuatan meliputi: desain lengan senapan angin; pemilihan bahan serat kelapa berdiameter 0,3-0,6 mm dengan pengeringan pada temperatur 80°C selama 2 jam; pembuatan cetakan lengan senapan angin setangkup sebelah kiri dan sebelah kanan; pencetakan komposit serat kelapa dengan resin poliester dan hardener 0,5% dengan susunan serat secara acak dengan panjang 10 mm dan fraksi volume 20%; pengerasan alami (curing) selama 24 jam; pembuatan spesimen standar komposit serat kelapa dengan komposisi tersebut untuk uji pukul dengan replikasi tiga kali; analisis data hasil uji pukul; pemeriksaan mutu dan dimensi komposit lengan senapan angin. Hasil pembuatan berupa lengan senapan angin berbobot 238 g, hasil kekuatan pukul spesifik 0,087 J/mm², dengan total biaya produksi Rp 157.000/pasang, dan durasi produksi 90 menit/pasang yang berkonsekuensi bahwa berat total senapan secara keseluruhan menurun dari 6,5 kg menjadi 6,3 kg.

Kata Kunci: Kaliber 4 mm; Lengan Senapan Angin; Resin Poliester; Serat Kelapa; Uji Pukul.

1. LATAR BELAKANG

Pemanfaatan bahan komposit berbasis serat alam terus berkembang sebagai alternatif pengganti bahan sintesis yang kurang ramah lingkungan. Satu bahan yang banyak diteliti adalah komposit serabut kelapa (*coir fiber composite*), yang memiliki keunggulan berupa ketersediaan melimpah, biaya rendah, dan sifat mekanik yang cukup baik untuk berbagai aplikasi rekayasa ringan (Kumar et al., 2022; Vélez et al., 2022). Serabut kelapa diketahui memiliki ketahanan terhadap abrasi yang baik, kemampuan menyerap energi, dan karakteristik fisik yang mendukung penggunaannya pada produk teknik dan struktural. Dalam bentuk komposit, sifat

mekanik serabut kelapa dapat ditingkatkan melalui kombinasi dengan matriks polimer untuk poliester, epoksi, maupun perekat berbasis bio, sehingga menghasilkan bahan dengan kekuatan dan kekakuan yang lebih baik (Kumar et al., 2021). Selain hal tersebut, berbagai parameter manufaktur untuk fraksi volume serat, orientasi serat, distribusi serat, dan metode fabrikasi terbukti memberikan pengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan ketahanan bahan terhadap beban mekanik (Goyat et al., 2022). Penelitian terbaru juga menunjukkan bahwa pengaturan arah serat mampu meningkatkan efisiensi transfer beban dan memperbaiki kinerja mekanik komposit berbasis serabut kelapa (Ramadhan et al., 2025). Oleh karenanya, analisis karakteristik komposit serabut kelapa menjadi penting untuk mendukung pengembangan desain lengan senapan angin kaliber 4,5 mm yang ergonomis, ringan, nyaman digunakan, dan memiliki kinerja mekanik yang optimal. Komposit polimer yang diperkuat serat alami berperan penting dalam produksi bahan ramah lingkungan karena modulusnya yang tinggi dan jejak karbon yang rendah terhadap lingkungan yang mana serat tersebut sebagian besar dibuang sebagai limbah dan dapat difungsikan sebagai pemerkuat komposit polimer (Adeniyi et al., 2019). Limbah serat kelapa dapat dimanfaatkan sebagai penguat komposit polimer.

Kekuatan tarik serat sabut kelapa berkurang sedikit setelah diperlakukan dengan plasma cair dengan media air dan natrium bikarbonat (NaHCO_3), kecuali pada 12 wt% natrium bikarbonat, durasi paparan 5 menit, kekuatan geser antarmuka matriks serat sabut kelapa-epoksi meningkat, karena adhesi antarmuka yang baik antara serat dan matriks akibat mikropori pada permukaan serat yang saling mengunci (Putra dkk., 2020). Perlakuan dengan plasma cair dengan media air dan natrium bikarbonat (NaHCO_3) pada 12 wt% bermanfaat menaikkan kekuatan geser antarmuka matriks serat sabut kelapa-epoksi.

Produk sampingan biji-bijian untuk tempurung kelapa (*coconut shell*/CS), sebagai pengisi untuk bahan termoplastik dengan 30 wt% CS dalam matriks PP komposit yang diproduksi dengan mesin mixer pada 3000 rpm selama 5 menit menghasilkan meningkatkan 36% kekuatan tarik dan 30% modulus tarik komposit CS/PP. Kekuatan lentur 16% dan modulus lentur naik 13% dari komposit CS/PP (Ahmad & Puasa, 2025). Tempurung kelapa dalam komposit matriks PP dapat menaikkan 36% kekuatan tarik dan 16% kekuatan lentur. Perlakuan natrium hidroksida 5% pada serat tangkai daun kelapa dalam komposit menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik dengan susunan lapisan tunggal dan muatan serat 1,5% berkekuatan tarik, 46 MPa dan kekuatan lentur, 149 MPa tertinggi (Surnam & Imrith, 2023). Serat tangkai daun kelapa (pelepah) dalam komposit dapat menaikkan kekuatan tarik menjadi 46 MPa dan kekuatan lentur menjadi 149 MPa.

Komposit polimer termoset yang diperkuat dengan serat sabut kelapa dan bahan pengisi kalsium karbonat (CaCO_3) peningkat daya rekat komposit terhadap cetakan dengan epoksi, poliester, dan vinil ester. Perilaku mekaniknya (kekuatan tarik, kekuatan lentur, dan kekuatan pukul) dihitung untuk parameter komposisi yang bervariasi yaitu Panjang Serat, Diameter Serat, Kadar Serat, dan Kadar Pengisi (Rajamuneeswaran et al., 2020). Bahan pengisi kalsium karbonat dalam komposit polimer termoset diperkuat dengan serat sabut kelapa telah diteliti dengan variasi panjang serat, diameter serat, kadar serat, dan kadar pengisi terhadap kekuatan tarik, kekuatan lentur, dan kekuatan pukul.

Partikel tempurung kelapa setelah dikarbonisasi pada 400 °C menjadi serat karbon untuk komposit multifungsi polimer yang diamati pengaruhnya terhadap perisai interferensi elektromagnetik dengan fraksi berat 1% hingga 5% dalam resin epoksi sebagai matriks komposit hibrida yang mana pada partikel hingga 3% menunjukkan efektivitas perisai interferensi elektromagnetik yang cocok untuk aplikasi industri (Feni et al., 2023). Partikel tempurung kelapa setelah dijadikan arang dalam komposit resin epoksi pada 3% diperoleh perisai interferensi elektromagnetik yang efektif untuk industri. Serat sabut kelapa merupakan satu serat alami yang berpotensi digunakan sebagai penguat komposit hibrida karena ketersediaannya yang melimpah dan karakteristik mekaniknya yang memadai (Ciccarelli et al., 2020). Serat sabut kelapa potensial dijadikan penguat komposit yang murah.

Serat kelapa dijadikan bahan penguat dalam matriks berbasis semen yang menunjukkan bahwa serat kelapa yang tidak diolah dan yang diolah dengan NaOH yang direndam dalam larutan pori semen selama 28 hari menunjukkan peningkatan signifikan dalam sifat mekanik, dengan serat yang tidak diolah menunjukkan peningkatan kekuatan tarik senilai 120%, yang mengindikasikan potensi penggunaannya yang efektif dalam aplikasi semen tanpa masalah daya tahan (Olonade & Junior, 2023). Peningkatan kekuatan tarik lebih dari 100% dapat dicapai dari serat kelapa yang tidak diolah dalam rendaman NaOH 28 hari yang dijadikan komposit dalam semen. Nuryawan et al., (2026) menunjukkan bahwa penggunaan serat sabut kelapa sebagai penguat pada komposit termoplastik dapat meningkatkan nilai guna limbah pertanian sekaligus menghasilkan bahan komposit yang memiliki sifat mekanik yang kompetitif yang mendukung pemanfaatan serat sabut kelapa sebagai bahan penguat komposit pada pembuatan lengan senapan angin. Serat sabut kelapa memiliki keunggulan berupa bobot yang ringan, ketersediaan yang melimpah, biaya yang rendah, dan mampu meningkatkan kekuatan komposit ketika dikombinasikan dengan matriks polimer.

2. KAJIAN TEORITIS

Pemanfaatan komposit seratbut kelapa dalam rekayasa bahan semakin berkembang karena memiliki kombinasi sifat mekanik dan karakteristik bahan yang kompetitif. Secara umum, seratbut kelapa memiliki kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan kemampuan deformasi yang menjadikannya satu serat alam potensial untuk aplikasi teknik ringan. Selain hal tersebut, densitasnya yang relatif rendah mendukung pengembangan bahan komposit berbobot ringan dengan kinerja mekanik yang memadai (Viano et al., 2025). Densitas seratbut kelapa yang relatif rendah berpeluang menghasilkan produk komposit yang ringan dan penerapan komposit serat kelapa pada pembuatan lengan senapan angin berhasil menghasilkan produk yang lebih ringan dengan biaya produksi yang relatif terjangkau dan manufaktur yang sederhana. Pengurangan berat total senapan menunjukkan bahwa bahan komposit serat kelapa memiliki prospek yang baik untuk diaplikasikan pada komponen yang membutuhkan rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi juga penggunaan serat kelapa sebagai bahan penguat komposit dapat meningkatkan nilai ekonomis limbah pertanian sekaligus mendukung pengembangan produk yang lebih ramah lingkungan.

Dalam bentuk komposit, penambahan seratbut kelapa ke dalam matriks polimer untuk poliester, polietilena, atau epoksi mampu meningkatkan kekuatan mekanik bahan melalui mekanisme transfer tegangan antara serat dan matriks (Montero et al., 2023; Varghese & Unnikrishnan, 2023). Kehadiran serat kelapa dalam matriks komposit dapat menaikkan kekuatan mekaniknya. Fraksi volume serat (*fiber volume fraction*) menjadi aspek penting dalam pengembangan bahan lengan senapan angin senapan angin kaliber 4,5 mm yang ringan, tangguh, dan tahan terhadap beban kejut (Pickering et al., 2016) yang merupakan parameter penting dalam perancangan bahan komposit karena berpengaruh langsung terhadap kemampuan bahan dalam menyerap energi tumbukan.

Pengembangan bahan berkelanjutan semakin mendapat perhatian seiring meningkatnya kesadaran terhadap dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh penggunaan bahan sintesis berbasis petrokimia. Bahan komposit berbasis serat alam menjadi alternatif yang menjanjikan karena berasal dari sumber daya terbarukan, bersifat *biodegradable*, dan memiliki jejak karbon yang lebih rendah dibandingkan bahan penguat sintesis (Sanjay et al., 2018). Bahan komposit berbasis serat alam dapat dihancurkan secara alamiah daripada bahan sintesis berbasis petrokimia yang semestinya diminimalisir penggunaannya yang mencemari lingkungan. Menurut Dugvekar dan Dixit (2023), perlakuan alkali (*mercerization*) pada serat sabut kelapa mampu meningkatkan mutu ikatan antara serat dan matriks, sehingga menghasilkan komposit dengan karakteristik mekanik dan struktur yang lebih baik. Mutu ikatan antara serat dan

matriks menunjukkan bahwa serat kelapa yang telah diperlakukan permukaan memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai bahan lengan senapan angin dengan ikatan serat-matriks yang lebih kuat dapat meningkatkan kekuatan, ketahanan aus, dan umur pakai lengan senapan angin ketika menerima beban dari genggamannya pengguna secara berulang.

Tasgin et al., (2024) menjelaskan bahwa serat kelapa (*coir fiber*) yang digunakan sebagai penguat komposit epoksi mampu memberikan sifat mekanik, ketahanan aus, dan stabilitas termal yang baik, sehingga layak digunakan pada aplikasi teknik. Ketahanan aus yang baik meningkatkan daya tahan produk, sedangkan bobot bahan yang ringan dapat meningkatkan kenyamanan saat penggunaan dalam waktu lama. Dengan demikian, komposit serat kelapa berpotensi menjadi alternatif bahan lengan senapan angin yang kuat, ringan, dan ekonomis.

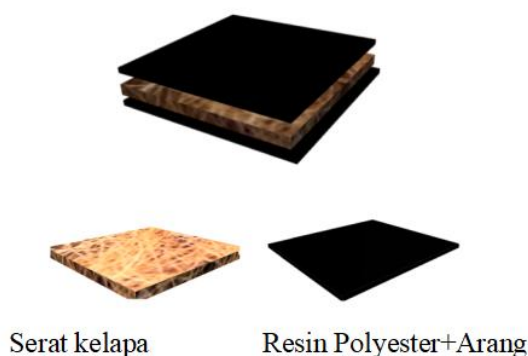
3. METODE PENELITIAN

Metode pembuatan komposit serat sabut kelapa untuk lengan senapan angin (*hand grip*) menggunakan bahan eksperimen sebagaimana Gambar 1. Fraksi volume serabut kelapa diamati pengaruhnya terhadap sifat mekanik dan karakteristik peredaman getaran komposit yang diaplikasikan pada desain lengan senapan angin senapan angin kaliber 4 mm. Bahan yang digunakan meliputi serabut kelapa sebagai penguat, resin poliester sebagai matriks, metil etil keton peroksida (MEKP) sebagai katalis dan arang kelapa untuk mengurangi penyusutan pada hasil cetak Gambar 1.



Gambar 1. Bahan Eksperimen: (a) Serbuk Arang Kelapa, (b) Serat Kelapa, dan (c) Resin Polyester.

Serabut kelapa terlebih dahulu dibersihkan, dipotong dengan panjang seragam, kemudian dituangkan secara bertahap ke dalam cetakan yang telah diberi release agent. Serabut kelapa disusun secara acak untuk memperoleh distribusi yang homogen, diikuti dengan impregnasi resin hingga seluruh serat terbasahi secara merata. fraksi lapisan pada bahan yang direncanakan pada eksperimen sebagaimana Gambar 2.



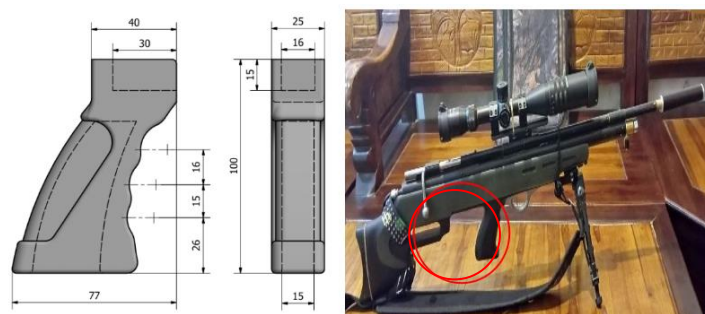
Gambar 2. Struktur Lapisan Bahan Eksperiment.

Pembuatan komposit dilakukan menggunakan metode *hand lay-up* dengan variasi fraksi volume serat bernilai 10%, 20%, dan 30% sebagaimana Tabel 1.

Tabel 1. Variasi Fraksi Penguat.

Kode Sampel	Resin Epoxy (%)	Serat Kelapa (%)	Arang Kelapa (%)
A1	85	10	5
A2	75	20	5
A3	65	30	5

Desain dari dimensi lengan senapan angin yang didesain sebagaimana Gambar 3.



Gambar 3. Desain Komposit Serat Kelapa untuk Lengan Senapan Angin Kaliber 4 mm.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

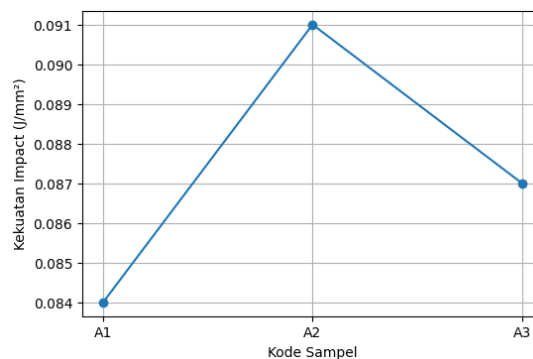
Relevansi penggunaan serat alam dalam pembuatan lengan senapan angin kaliber 4 mm dari bahan komposit yang ramah lingkungan dari serat kelapa memiliki sifat mekanik yang memadai. Karakteristik *biodegradable*, ketersediaan yang melimpah, dan biaya yang relatif rendah menjadikan serat kelapa alternatif yang sesuai untuk pengembangan lengan senapan angin berbasis bahan komposit berkelanjutan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi fraksi serat pada komposit arang serat kelapa memberikan pengaruh nyata terhadap sifat mekanik bahan bentuk kekuatan pukul spesifik sebagaimana Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Pukul.

Kode Sampel	Berat Spesimen (g)	Kekuatan Pukul (J/mm^2)
A1	23,8	0,084
A2	24,3	0,091
A3	23,0	0,087

Dari Tabel 2 data hasil uji pukul menunjukkan perbandingan kekuatan pukul spesifik sebagaimana Gambar 4. Kekuatan pukul spesifik pada kode spesimen A2 memiliki nilai lebih tinggi daripada kode A1 dan A3.

**Gambar 4.** Perbandingan Kekuatan Pukul Spesifik.

Pada pengujian pukul (*impact test*), kecenderungan peningkatan ketahanan tumbukan terlihat pada variasi spesimen komposit yang diuji. Nilai kekuatan pukul tertinggi diperoleh pada sampel A2 senilai 0,091 J/mm^2 , lebih tinggi dibandingkan A1 senilai 0,084 J/mm^2 dan A3 senilai 0,087 J/mm^2 . Hasil tersebut menunjukkan bahwa komposisi dan distribusi serat kelapa dalam matriks resin poliester pada sampel A2 berada pada kondisi yang lebih optimal sehingga mampu menyerap energi tumbukan dengan lebih baik. Mekanisme penyerapan energi terjadi melalui ikatan antarmuka (*interfacial bonding*) antara serat dan matriks yang efektif, sehingga perambatan retak dapat diperlambat ketika bahan menerima beban kejut.

Selain hal tersebut, keberadaan pengisi (*filler*) arang pada komposit juga berperan dalam mengurangi terbentuknya void, meningkatkan kerapatan bahan, dan memperbaiki distribusi tegangan di dalam struktur komposit, sehingga ketahanan terhadap retak mikro menjadi lebih baik, namun pada sampel A3 terjadi sedikit penurunan kekuatan pukul dibandingkan dengan A2 yang disebabkan oleh distribusi serat yang kurang merata atau adanya aglomerasi pengisi, sehingga transfer energi tumbukan tidak berlangsung maksimal. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa komposit serat kelapa dan arang memiliki potensi yang baik dalam meningkatkan ketahanan pukul pada lengan senapan angin berbasis resin poliester. Estimasi biaya dan waktu pembuatan lengan senapan angin 300x100x30 mm, kaliber 4 mm, komposit sabut kelapa sebagaimana Tabel 3.

Tabel 3. Estimasi Biaya dan Waktu Pembuatan Lengan Senapan Angin 300x100x30 mm, Kaliber 4 mm, Komposit Sabut Kelapa.

No.	Tahapan Proses	Biaya Produksi (Rp)	Durasi Proses (Menit)
1	Desain lengan senapan angin	15.000	15
2	Pemilihan bahan serat kelapa berdiameter 0,3-0,6 mm dengan pengeringan pada temperatur 80°C selama 2 jam	12.000	10
3	Pembuatan cetakan lengan senapan angin setangkup sebelah kiri dan sebelah kanan	30.000	20
4	Pencetakan komposit serat kelapa dengan resin poliester dan hardener 0,5% dengan susunan serat secara acak dengan panjang 10 mm dan fraksi volume 20%	40.000	15
5	Pengerasan alami (curing) selama 24 jam	10.000	5
6	Pembuatan spesimen standar komposit serat kelapa dengan komposisi tersebut untuk uji pukul dengan replikasi tiga kali	25.000	15
7	Analisis data hasil uji pukul	15.000	5
8	Pemeriksaan mutu dan dimensi komposit lengan senapan angin	10.000	5
	Jumlah	157.000	90
	Pajak 10%	15.700	
	Laba 15%	23.550	
	Total/Harga jual/unit	196.250	

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil pembuatan berupa lengan senapan angin berbobot 238 g, hasil kekuatan pukul spesifik 0,087 J/mm², dengan total biaya produksi Rp 157.000/pasang, dan durasi produksi 90 menit/pasang yang terdiri dari setangkup lengan sebelah kiri dan lengan sebelah kanan yang berkonsekwensi bahwa berat total senapan secara keseluruhan menurun dari 6,5 kg menjadi 6,3 kg. Saran tindak lanjut dari simpulan adalah perlu dikembangkan dengan komposit menggunakan seral lainnya untuk memperoleh berat yang lebih ringan, tetapi kekuatannya masih memenuhi syarat penggunaannya.

DAFTAR REFERENSI

- Adeniyi, A. G., Onifade, D. V., Ighalo, J. O., & Adeoye, A. S. (2019). A review of coir fiber reinforced polymer composites. *Composites Part B: Engineering*, 176, 107305. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107305>
- Ahmad, M. N., & Puasa, M. N. (2025). Mechanical and thermal properties of coconut (*Cocos nucifera*)-reinforced polypropylene composite. *Eng*, 6, 299. <https://doi.org/10.3390/eng6110299>
- Ciccarelli, L., Cloppenburg, F., Ramaswamy, S., Lomov, S. V., Van Vuure, A., Hong, N. V., Thanh, T. C., Tri, N. M., & Thomas, G. (2020). Sustainable composites: Processing of coir fibres and application in hybrid-fibre composites. *Journal of Composite Materials*, 54(15), 2061–2079. <https://doi.org/10.1177/0021998319886108>
- Dugvekar, M., & Dixit, S. (2023). Thermal, structural, and morphological examination of mercerized coir fiber-reinforced composites. *Proceedings of the Institution of*

Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications, 237(3).
<https://doi.org/10.1177/09544089221150677>

- Feni, F., Jahan, M., Zhao, R., Li, G., Zhao, G.-L., & Mensah, P. F. (2023). Multifunctional composite with hybrid carbon fiber and carbonaceous coconut particle reinforcement. *Frontiers in Materials*, 10, 1278222. <https://doi.org/10.3389/fmats.2023.1278222>
- Goyat, V., Ghangas, G., Sirohi, S., Kumar, A., & Nain, J. (2022). A review on mechanical properties of coir based composites. *Materials Today: Proceedings*, 62, 1738–1745. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.252>
- Kumar, N. S., Buddi, A. T., Lakshmi, K. V. A., & Rajesh, D. (2021). Synthesis and evaluation of mechanical properties for coconut fiber composites: A review. *Materials Today: Proceedings*, 44, 2482–2487. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.543>
- Kumar, N. S., Buddi, T., Mwema, F. M., & Rajesh, K. V. D. (2022). Evaluation of mechanical and physical properties of coconut fibre biocomposite reinforced with soya adhesive. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 238(2). <https://doi.org/10.1177/09544089221132734>
- Nuryawan, A., Masruchin, N., Damanik, R. B., Risnasari, I., Tambunan, H., Ambarita, H., & Park, B.-D. (2026). Innovative thermoplastics composites made from recycled polypropylene reinforced with coconut coir fibers. *Polymers*, 18(4), 432. <https://doi.org/10.3390/polym18040432>
- Olonade, K. A., & Junior, H. S. (2023). Performance evaluation of treated coconut fibre in cementitious system. *Discover Applied Sciences*, 5, 218. <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05444-2>
- Pickering, K. L., Aruan Efendy, M. G., & Le, T. M. (2016). A review of recent developments in natural fibre composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 83, 98–112. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.08.038>
- Putra, A. E. E., Renreng, I., Arsyad, H., & Bakri. (2020). Investigating the effects of liquid-plasma treatment on tensile strength of coir fibers and interfacial fiber-matrix adhesion of composites. *Composites Part B: Engineering*, 183, 107722. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107722>
- Rajamuneeswaran, S., Vairamuthu, J., Nagarajan, S., Stalin, B., & Jayabal, S. (2020). A comparative study on mechanical properties of coir fiber reinforced polymer composites filled with calcium carbonate particles. *Materials Today: Proceedings*, 33(7), 4790–4792. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.366>
- Ramadhan, W., Zulnazri, Yosi, A., Putra, R., & Fitri, S. (2025). Effect of fiber direction on mechanical properties of coconut fiber reinforced HDPE composites. *International Journal of Polymer and Plastics Technology*, 1(1), 36–45. <https://doi.org/10.29103/ijplast.v1i01.23654>
- Sanjay, M. R., Madhu, P., Jawaid, M., Senthamaraiannan, P., Senthil, S., & Pradeep, S. (2018). Characterization and properties of natural fiber polymer composites: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 172, 566–581. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.101>
- Surnam, B. Y. R., & Imrith, G. (2023). Investigation on the mechanical properties of coconut leaf stalk fibres reinforced composites. *Journal of Natural Fibers*, 20(2). <https://doi.org/10.1080/15440478.2023.2198276>

- Tasgin, Y., Demircan, G., Kandemir, S., & Acikgoz, A. (2024). Mechanical, wear and thermal properties of natural fiber-reinforced epoxy composite: Cotton, sisal, coir and wool fibers. *Journal of Materials Science*, 59, 10844–10857. <https://doi.org/10.1007/s10853-024-09810-2>
- Varghese, A., & Unnikrishnan, S. (2023). Mechanical strength of coconut fiber reinforced concrete. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.05.637>
- Vélez, E., Rodríguez, R., Gómez, N. B. Y., Mora, E. D., Hernández, L., Albuja-Sánchez, J., & Calvo, M. I. (2022). Coconut-fiber composite concrete: Assessment of mechanical performance and environmental benefits. *Fibers*, 10(11), 96. <https://doi.org/10.3390/fib10110096>
- Viano, R. O., Marthiana, W., & Arman, R. (2025). Mechanical properties of polyester composite board made of coconut fiber and PET. *Jurnal Teknik Mesin*, 30(2), 75–95. <https://doi.org/10.5614/MESIN.2025.30.2.1>