



Analisis Kekuatan Impak Material Komposit Berpenguat Serat Alam Bambu Petung Dengan Variasi Fraksi Volume

Lery Alfriany Salo* , Dina Ramba
Universitas Kristen Indonesia Toraja, Indonesia
Email: lerysalo@ukitoraja.ac.id*

Abstrak:

Penelitian ini memiliki urgensi untuk mengembangkan material yang ramah lingkungan sebagai alternatif terhadap material komposit berbasis serat sintetis yang banyak digunakan dalam industri otomotif, konstruksi, dan manufaktur. Penelitian ini mengembangkan komposit berbasis serat bambu yang memiliki keunggulan seperti tahan korosi, ringan, murah, dan bersaing dalam kekuatan dengan material logam. Tujuan dari pengembangan ini adalah menghasilkan material yang ringan, kuat, dan elastis, yang dapat diaplikasikan pada berbagai produk. Sampel komposit dibuat menggunakan matriks resin epoxy dengan metode hand lay-up. Tiga variasi fraksi volume serat (10%, 20%, dan 30%) digunakan untuk mengeksplorasi pengaruhnya terhadap distribusi beban dan kemampuan penyerapan energi selama benturan. Hasil penelitian menunjukkan nilai tertinggi sebesar 0.552 J/mm² pada Sp30.6 yaitu fraksi volume serat 30%, sementara nilai terendah pada Sp10.4 yaitu fraksi volume 30% sebesar 0.0251J/mm². Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan fraksi volume serat bambu petung dalam matriks epoksi secara signifikan meningkatkan ketangguhan impak komposit. Penelitian ini diharapkan dapat menentukan komposisi optimal guna menghasilkan kekuatan impak terbaik, sehingga diharapkan menghasilkan konfigurasi material yang ideal untuk aplikasi industri yang berkelanjutan.

Kata kunci: kekuatan impak; serat alam; bambu petung

Abstract:

This research has an urgency to develop environmentally friendly materials as an alternative to synthetic fiber-based composite materials that are widely used in the automotive, construction, and manufacturing industries. This research develops bamboo fiber-based composites that have advantages such as corrosion resistance, lightweight, inexpensive, and competitive in strength with metal materials. The goal of this development is to produce a lightweight, strong, and elastic material, which can be applied to a variety of products. The composite sample was made using an epoxy resin matrix using the hand lay-up method. Three variations of fiber volume fractions (10%, 20%, and 30%) were used to explore their effect on load distribution and energy absorption ability during impact. The results showed the highest value of 0.552 J/mm² at Sp30.6, which was a fiber volume fraction of 30%, while the lowest value at Sp10.4 was a 30% volume fraction of 0.0251J/mm². This shows that the increase in the volume fraction of petung bamboo fibers in the epoxy matrix significantly increases the impact toughness of the composite. This research is expected to determine the optimal composition to produce the best impact strength, so it is expected to produce an ideal material configuration for sustainable industrial applications.

Keywords: impact strength; natural fiber; bamboo petung

Corresponding: Lery Alfriany Salo

E-mail: lerysalo@ukitoraja.ac.id



PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi material telah mendorong pencarian bahan alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Salah satu fokus utama dalam penelitian material komposit adalah pemanfaatan serat alam sebagai penguat (reinforcement), menggantikan serat

sintetis yang mahal dan sulit terurai secara alami. Serat alam memiliki sejumlah keunggulan, seperti ketersediaan yang melimpah, ringan, terbarukan, dan memiliki sifat biodegradabilitas yang tinggi (Manurung et al., 2020; Setiawan et al., 2023). Di antara berbagai jenis serat alam, bambu petung (*Dendrocalamus asper*) merupakan salah satu material potensial yang memiliki kekuatan mekanik tinggi dan struktur serat yang kuat, sehingga cocok digunakan sebagai penguat dalam material komposit.

Saat ini komposit berbahan penguat serat sintetis telah dimanfaatkan dalam berbagai bidang teknologi. Meskipun demikian, penggunaan serat sintetis dalam komposit menimbulkan dampak lingkungan yang serius karena limbahnya sulit terurai secara alami dan berpotensi mencemari lingkungan dalam jangka panjang (Ariantika et al., 2024). Oleh karena itu, pemanfaatan serat alam sebagai penguat komposit menjadi pilihan yang lebih ramah lingkungan.

Komposit merupakan material yang dihasilkan melalui penggabungan dua atau lebih jenis material, sehingga membentuk suatu struktur baru dengan sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari masing-masing material penyusunnya (Wahyudi, 2015). Komposit berbasis serat merupakan material yang tersusun atas dua komponen utama, yaitu serat sebagai elemen penguat dan matriks sebagai media pengikat, pengisi ruang, serta pelindung serat (Ali et al., 2020; Yusriah et al., 2021; Suryanto et al., 2022; Ginting & Wardhana, 2021; Basri et al., 2023; Maulana et al., 2019). Matriks berperan penting dalam mentransfer beban atau gaya eksternal ke serat penguat, sehingga tercipta distribusi tegangan yang merata dalam struktur komposisi (Junaidy, 2023). Cara kerja uji impak adalah pendulum ditarik pada ketinggian tertentu lalu dilepaskan. Pendulum akan menabrak spesimen hingga patah. Pada metode charpy, spesime diletakkan secara melintang (Dantes et al., 2023; Nugraha et al., 2020).

Material komposit berbasis serat bambu telah menarik perhatian banyak peneliti karena karakteristik mekaniknya yang kompetitif jika dibandingkan dengan komposit konvensional. Salah satu parameter penting dalam desain komposit adalah fraksi volume serat, yaitu perbandingan volume serat terhadap volume total komposit (Wahyuni et al., 2019; Ramadhan et al., 2021; Santosa et al., 2022; Akbar & Rizki, 2020; Fadhillah et al., 2017; Rahman et al., 2020). Fraksi volume berpengaruh langsung terhadap performa mekanik komposit, termasuk sifat ketangguhan terhadap beban impak. Uji impak merupakan metode penting untuk menilai kemampuan material dalam menyerap energi saat mengalami benturan mendadak, yang relevan dengan aplikasi struktural dan fungsional di berbagai bidang industri seperti otomotif, konstruksi, dan manufaktur (Andika et al., 2023).

Penggunaan serat alam sebagai bahan pengisi (filler) dalam komposit memiliki sejumlah keunggulan, antara lain memiliki densitas yang rendah, mudah terurai secara alami (biodegradable), dapat didaur ulang, serta mampu digunakan dalam proporsi tinggi untuk meningkatkan kekakuan material (Lestari et al., 2019; Ardiansyah & Fikri, 2021; Prasetyo et al., 2022; Handayani & Pramono, 2021; Kurniawan et al., 2020; Siregar et al., 2023). Selain itu, serat alam juga dikenal tidak mudah patah, tersedia dalam berbagai jenis dan variasi, efisien dalam penggunaan energi, serta lebih ekonomis. Pada tabel 1 terlihat kandungan selulosa pada material serat alam. Pemanfaatan serat alam yang mengandung selulosa dalam material ini

ditujukan untuk memperkuat sifat mekanik dari material tersebut (Irkham, 2021; Putri et al., 2022).

Bambu memiliki potensi besar sebagai material konstruksi permanen karena karakteristiknya yang mencakup kekuatan serat yang tinggi dan waktu pertumbuhan yang relatif singkat. Namun, untuk mendukung aplikasi tersebut, perlu dilakukan peningkatan pada sifat mekanik, khususnya kekuatan atau kekakuan arah tegak lurus terhadap serat. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan mengombinasikan bambu dengan material lain yang memiliki kekuatan tinggi, seperti resin epoksi. Penggunaan epoksi tidak hanya berfungsi sebagai penguat tambahan, tetapi juga berperan dalam menyatukan serat-serat bambu menjadi struktur yang lebih solid dan stabil (Talango & Rauf, 2024).

Meskipun banyak penelitian terdahulu yang mengkaji sifat mekanik komposit berbasis serat bambu, sebagian besar fokus masih tertuju pada pengujian tarik, lentur, dan kekakuan, sementara kajian terhadap sifat impak belum mendapat perhatian yang memadai. Sifat impak sangat penting karena banyak aplikasi komposit yang digunakan dalam kondisi dinamis dan rentan terhadap beban kejut, seperti panel kendaraan, pelindung struktural, atau kemasan industri. Selain itu, variasi fraksi volume serat berperan penting dalam menentukan distribusi tegangan dan efisiensi transfer beban dari matriks ke serat. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam terhadap hubungan antara fraksi volume dan kekuatan impak akan membantu dalam merancang komposit yang optimal sesuai kebutuhan aplikatifnya.

Namun demikian, masih terbatas penelitian yang secara spesifik menganalisis hubungan antara variasi fraksi volume serat bambu petung dengan kekuatan impak komposit. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi fraksi volume serat bambu petung terhadap kekuatan impak material komposit. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dan praktis dalam pengembangan material komposit berbasis sumber daya lokal yang berdaya saing serta ramah lingkungan.

Penelitian ini menjadi penting karena dapat memberikan dasar ilmiah dalam mengembangkan material komposit berbasis serat bambu petung dengan performa impak yang terukur dan dapat diandalkan juga memberikan kontribusi terhadap pendekatan rekayasa material hijau (green material engineering). Hasil studi ini juga diharapkan dapat mendukung pemanfaatan potensi sumber daya alam lokal secara lebih efisien dan bernilai tambah tinggi, sejalan dengan agenda pembangunan berkelanjutan di bidang teknologi material.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan pada kali ini merupakan metode eksperimen di mana diawali dengan studi kepustakaan dilanjutkan dengan persiapan bahan pembuatan komposit seperti resin dan bambu kemudian persiapan alat pengujian (Uji Impak). Proses pembuatan dengan cetakan komposit berukuran 19mm x 166mm x 5mm sesuai pada acuan ASTM D6110. Spesimen dibuat sebanyak 3 sampel sesuai masing-masing variabel yaitu 15%, 25% dan 35%.

Langkah-langkah yang dilakukan untuk membuat serat bambu adalah sebagai berikut :

1. Bambu petung yang digunakan adalah bambu berusia sekitar 3 tahun dengan diameter rata-rata 13 cm. Bambu petung dibelah menggunakan parang/gergaji.

2. Bilah bambu dipisahkan dari kulit dan bagian dalamnya. kemudian direndam selama tiga minggu untuk memudahkan pengambilan serat.
3. Setelah perendaman, bilah bambu dikeringkan lalu dipukul-pukul dengan palu untuk mengambil serat.
4. Serat dibilas sampai bersih lalu dikeringkan pada suhu ruang.
5. Serat kemudian diberikan perlakuan alkali. Bambu direndam dengan NaOH selama 5 jam.
6. Serat dibilas lalu dikeringkan dengan panas matahari.
7. Pengukuran kadar air dilakukan menggunakan alat moisture meter. Apabila sudah memenuhi standar sesuai ISO 22157-1-2004 maka akan dilanjutkan untuk pembuatan komposit.



Gambar 1. Bambu Petung

Sumber: Dokumentasi pribadi peneliti (2024)



Gambar 2. Bambu Petung yang sudah dibelah (kiri) dan dibersihkan dari kulit dan bagian dalam (kanan)

Sumber: Dokumentasi pribadi peneliti (2024)

Selanjutnya langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Menyiapkan alat dan bahan
2. Material komposit yang dicetak dengan variasi fraksi volume serat bambu petung sebesar 10%, 20% dan 30%.
3. Pencetakan material komposit dengan metode *hand lay-up*.
4. Cetakan dilapisi dengan wax untuk memudahkan melepas komposit dari cetakan.

5. Resin epoksi dituang ke cetakan lalu ratakan, kemudiananyaman strip bambu petung dan ditutup dengan resin epoksi kemudian ditekan selama 24 jam. Material komposit yang sudah dilepas dari wadah cetakannya, kemudian didiamkan didalam ruangan kedap udara luar selama satu minggu.
6. Material komposit direparasi untuk memastikan apakah masih ada cacat atau sudah tidak ada, terutama pada bagian permukaan material material komposit.
7. Pembuatan sampel uji, untuk uji impak berdasarkan ASTM D6110. Sebelum pengujian dilakukan sampel direparasi terlebih dahulu untuk memastikan bahwa sampel sudah dalam keadaan standar untuk siap diuji.

Menguji kekuatan impak dan pengambilan data. Pengujian impak dilakukan dengan metode *Charpy Impact Test*. Spesimen diletakkan secara horizontal pada dua tumpuan di ujung-ujungnya. Palu bandul dijatuhkan untuk menghantam secara tegak lurus terhadap permukaan spesimen.

Adapun rumus yang digunakan adalah :

Volume komposit

$$V_c = p \times l \times t \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

p = panjang komposit (cm)

l = lebar komposit (cm)

t = ketebalan komposit (cm)

Massa serat

Volume serat = presentase serat \times V_c

$$M_f = \rho_f \times V_s \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

M_f = massa serat (gr)

ρ_f = massa jenis serat (gr/cm³)

V_s = volume serat (cm³)

V_c = volume komposit(cm³)

Volume resin

$$\text{Volume resin} = V_c - V_s \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{Massa resin} = V_r \times \rho_m \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

V_r = Volume resin (cm³)

ρ_m = massa jenis resin (gr/cm³)

Metode Hand-Lay Up

Proses ini dilakukan pada suhu rendah dan menggunakan keterampilan manual. Serat bahan komposit diatur sesuai dengan bentuk cetakan, kemudian resin dituangkan untuk mengikat

setiap lapisan serat. Proses ini diulang hingga mencapai ukuran dan bentuk yang diinginkan.

Berikut persamaan yang digunakan untuk menghitung energi yang digunakan untuk mematahkan spesimen dan harga impak.

$$E = W \times R (\cos \beta - \cos \alpha) \dots \dots \dots (5)$$

Dimana

E = Energi impak (Joule)

W = Berat hammer (kg)

R = Panjang lengan bandul (m)

α = Sudut awal bandul ($^{\circ}$)

β = Sudut akhir bandul ($^{\circ}$)

Ketangguhan Impak (Harga Impak) dihitung menggunakan rumus berikut (Setiawan et al., 2023):

$$HI = \frac{E}{A} = \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan :

HI = Harga Impak/Ketangguhan impak (J/mm^2)

E = Energi serap (J)

A = Luas penampang (mm^2)

Dalam pelaksanaan pengambilan data digunakan prosedur-prosedur sebagai berikut :

- a. Mempersiapkan bahan uji (spesimen) yang akan diuji.
 - b. Atur ulang sudut pendulum alat uji impak dengan cara mengayunkan pendulum dengan sudut a dan b kemudian set indicator pada alat uji impak dan pastikan jarum pada angka 0.
 - c. Letakan material uji pada dudukan alat uji.
 - d. Naikan pendulum pada alat uji impak, lepaskan pendulum hingga berayun dan menabrak spesimen.
 - e. Tunggu hingga pendulum berhenti, kemudian ambil data pada skala yang menunjukkan hasil pengujian.
 - f. Catat hasil data pada tabel yang telah disiapkan.
8. Menganalisa Data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar air diukur menggunakan alat moisture meter. Kadar air yang diperbolehkan adalah kurang dari 12% untuk uji mekanik. Kandungan air pada material kayu diatur dalam standar ISO 22157-1-2004, yang menetapkan bahwa kadar air yang sesuai standar harus kurang dari 12% (Tambunan et

al., 2022). Hasil pengukuran kadar air rata-rata 7,6% yang menandakan sudah memenuhi standar ISO 22157-1-2004. Pengukuran kadar air perlu dilakukan karena berdampak pada ikatan antar muka yang baik, minimnya gelembung udara (void) dan daya rekat optimal resin.

Variasi fraksi volume yang dibuat adalah 10%, 20% dan 30% dengan 6 jumlah spesimen setiap variasinya, sehingga menghasilkan total 18 spesimen. Spesimen diberikan kode sesuai dengan variasi. Kode Sp mewakili spesimen diikuti angka persentase fraksi volume dan diakhiri nomor spesime. Sp10.01 berarti spesimen dengan variasi fraksi volume 10% nomor 1.

Pengujian impact merupakan metode yang bertujuan untuk mengukur kemampuan suatu material dalam menyerap energi kinetik akibat beban tumbukan secara mendadak. Dalam konteks material komposit, pengujian ini memiliki peran penting dalam mengevaluasi resistensi material terhadap kerusakan struktural, seperti retak atau patah yang terjadi akibat pembebanan dinamis. Nilai energi impact yang tinggi mencerminkan daya serap energi material yang baik, yang mengindikasikan sifat mekanik unggul, terutama dalam hal ketangguhan dan kekuatan. Selain itu, uji impact berfungsi sebagai indikator efektivitas ikatan antara matriks dan serat penguat, serta sebagai dasar dalam menentukan fraksi volume serat yang ideal guna memperoleh sifat mekanik komposit yang optimal.

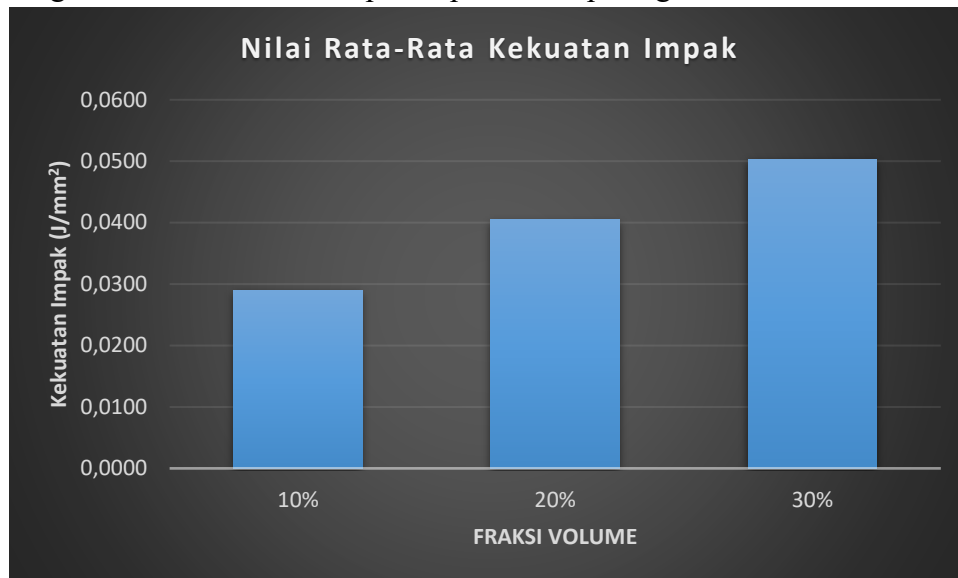
Tabel 1. Hasil Uji Impact

Fraksi Volume Serat	Kode Spesimen	Kekuatan Impact (J/mm ²)	Rata-Rata Kekuatan Impact
10%	Sp10.1	0.0337	0.0290
	Sp10.2	0.0295	
	Sp10.3	0.0269	
	Sp10.4	0.0251	
	Sp10.5	0.0299	
	Sp10.6	0.0289	
20%	Sp20.1	0.0456	0.0405
	Sp20.2	0.0437	
	Sp20.3	0.0399	
	Sp20.4	0.0398	
	Sp20.5	0.0376	
	Sp20.6	0.0361	
30%	Sp30.1	0.0463	0.0503
	Sp30.2	0.0556	
	Sp30.3	0.0477	
	Sp30.4	0.0480	
	Sp30.5	0.0491	
	Sp30.6	0.0552	

Sumber: Data primer diolah peneliti (2024)

Pada tabel 1, dapat dilihat nilai kekuatan impact. Nilai tertinggi sebesar 0.552 pada Sp30.6 yaitu fraksi volume serat 30%, sementara nilai terendah pada Sp10.4 yaitu fraksi volume 30% sebesar 0.0251. Peningkatan fraksi volume serat bambu petung dari 10% hingga 30% menunjukkan tren kenaikan bertahap pada nilai ketangguhan impact, yakni dari 0.0290 menjadi 0.0405 hingga mencapai 0.0503 J/mm². Hal ini menunjukkan bahwa penambahan serat secara

bertahap mampu memperbaiki kemampuan material komposit dalam menyerap energi tumbukan. Selain itu, keberadaan serat juga berperan penting dalam memperlambat penyebaran retak melalui mekanisme penjembatanan retak (crack bridging), di mana serat bertindak sebagai penghalang yang menahan perambatan retakan dalam struktur material. Grafik peningkatan nilai kekuatan impact dapat dilihat pada gambar 3 berikut.



Gambar 3. Nilai Rata-Rata Kekuatan Impak

Sumber: Data primer diolah peneliti (2024)

Pada fraksi volume serat sebesar 10%, peningkatan ketangguhan impact relatif terbatas. Hal ini dapat disebabkan oleh jumlah serat yang masih minim sehingga distribusi serat dalam matriks belum optimal. Pada kondisi ini, transfer tegangan dari matriks ke serat belum mencapai tingkat yang signifikan, sehingga kontribusi serat terhadap peningkatan ketahanan tumbukan masih terbatas. Dengan peningkatan fraksi volume serat menjadi 20%, terjadi peningkatan ketangguhan impact yang cukup berarti. Kondisi ini menunjukkan bahwa jumlah serat yang lebih besar memungkinkan terbentuknya ikatan antarmuka (interfacial bonding) yang lebih baik antara serat bambu dan matriks epoksi. Mekanisme penahanan retak mulai terlihat, di mana propagasi retak tidak terjadi secara langsung melainkan mengalami perlambatan atau pembelokan, sehingga energi yang diserap oleh material meningkat. Pada fraksi volume serat 30%, ketangguhan impact mencapai nilai tertinggi, mengindikasikan kondisi optimal dalam distribusi dan interaksi serat-matriks. Serat dalam jumlah yang memadai memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan kapasitas material untuk menyerap energi tumbukan sebelum kegagalan terjadi.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan fraksi volume serat bambu petung dalam matriks epoksi secara signifikan meningkatkan ketangguhan impact komposit. Fraksi volume 30% menghasilkan ketangguhan tertinggi, yang menandakan bahwa distribusi serat

dan interaksi antarmuka pada komposisi tersebut sudah optimal untuk menyerap energi tumbukan melalui mekanisme toughening seperti pull-out serat, debonding, dan bridging retak. Hasil ini menegaskan potensi penggunaan serat bambu petung sebagai bahan penguat alami pada komposit epoksi untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan tumbukan tinggi. Penelitian selanjutnya dianjurkan untuk melakukan karakterisasi mikrostruktur patahan menggunakan mikroskop elektron scanning (SEM) untuk mengungkap secara lebih rinci mekanisme kegagalan serta interaksi antara serat dan matriks. Selain itu, perlu dilakukan optimasi perlakuan permukaan serat, termasuk perlakuan alkali, serta variasi panjang serat guna meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan impak komposit. Studi komparatif dengan penggunaan jenis resin yang berbeda juga diharapkan dapat memperluas pemahaman mengenai performa komposit berbasis serat bambu petung.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M. A., Sapuan, S. M., & Zuhri, M. Y. M. (2020). Natural fiber reinforced hybrid polymer composites. *Journal of Cleaner Production*, 267, 122151. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122151>
- Apriliani, N. Q. (2020). Pengaruh Proses Alkalisasi Serat Terhadap Morfologi, Struktur Dan Sifat Absorpsi Suara Komposit Serat Alam. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ariantika, K., Wiratmaja, I. G., & Nugraha, I. N. P. (2024). Analisis Kekuatan Impact Komposit Polyester Berpenguat Serbuk Kayu Jati Dengan Variasi Fraksi Volume Matriks Dan Reinforcement. *Otopro*, 19(2), 50–54. <https://doi.org/10.26740/otopro.v19n2.p50-54>
- Basri, R., et al. (2023). Komposit ramah lingkungan berbasis serat alam: tantangan dan peluang. *Jurnal Inovasi Material*, 5(1), 13–22.
- Dantes, K. R., Nugraha, I. N. P., Elisa, E., & Yudistira, I. P. H. (2023). Analisis Pengaruh Variasi Waktu Perlakuan Alkali Terhadap Kekuatan Impact Komposit Polyester Yang Diperkuat Serat Bambu. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 14(2), 393–399. <https://doi.org/10.21776/jrm.v14i2.1104>
- Ginting, M. H., & Wardhana, I. N. (2021). Pengaruh penambahan serat terhadap kekuatan tarik komposit. *Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik*, 9(1), 19–26.
- Irkham, M. (2021). Irkham M., *Jurnal ROTOR* , Volume 14 Nomor 1, April 2021. Rotor, 14(April).
- Junaidy, I. (2023). Analisa Kekuatan Impact Serta Kekuatan Tarik Komposit Fiberglass Pembuatan Perahu Nelayan. *Jurnal Mesin Nusantara*, 6(2), 148–155. <https://doi.org/10.29407/jmn.v6i2.21316>
- Lestari, M. A., et al. (2019). Potensi serat alam dalam pengembangan komposit berkelanjutan. *Jurnal Teknologi Hijau*, 8(1), 14–22.
- Manurung, R., Simanjuntak, S., Sembiring, J., Zaluku, E. C., Napitupulu, R. A. M., & Sihombing, S. (2020). Menggunakan Resin Polyester Dengan Memvariasikan Susunan Serat Secara Acak Dan Lurus Memanjang. *SPROCKET Journal of Mechanical Engineering*, 2(1), 28–35.
- Maulana, R. A., et al. (2019). Mechanical performance of bamboo-reinforced epoxy composites. *Materials Research Express*, 6(6), 065323.

- Ramadhan, R. H., et al. (2021). Pengaruh fraksi volume terhadap impak komposit serat alam. *Jurnal Polimer Indonesia*, 13(1), 23–30.
- Setiawan, F., Pratama, D. S., Lubis, R. S., & Sofyan, E. (2023). Uji Impact Material Komposit Campuran Serat Bambu Dan Pasir Besi Menggunakan Metode Hand Lay Up. *Journal of Applied Mechanical Engineering and Renewable Energy*, 3(1), 28–33. <https://doi.org/10.52158/jamere.v3i1.399>
- Siregar, J. P., et al. (2023). Current progress of natural fiber composites in Indonesia. *Composite Structures*, 312, 116778. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2023.116778>
- Suryanto, H., Widodo, B., & Prasetyo, T. (2022). Peningkatan sifat mekanik komposit dengan variasi fraksi volume serat. *Jurnal Rekayasa Material*, 9(2), 45–52.
- Talango, N., & Rauf, W. (2024). Analisis Kekuatan Tarik Material Komposit Berbahan Serat Bambu Mayam. *Jurnal Simetrik*, 13(2), 729–733. <https://doi.org/10.31959/js.v13i2.1897>
- Tambunan, P., Yudo, H., & Manik, P. (2022). Analisa Teknis Papan Laminasi Serat Bambu Petung Dengan Serat Fiberglass Woven Roving Untuk Material Kulit Kapal. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 10(2), 21–28.
- Wahyudi, F. A. (2015). Pengaruh Komposisi Serat Terhadap Kekuatan Impak Komposit Yang Diperkuat Serat Bambu. 4(2), 72–78. <https://doi.org/https://doi.org/10.24127/TRB.V4I2.73>
- Wahyuni, D., et al. (2019). Analisa kekuatan mekanik komposit serat bambu pada berbagai fraksi volume. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(2), 101–108.
- Yusriah, L., et al. (2021). Mechanical behavior of bamboo fiber reinforced composites. *Materials Today: Proceedings*, 42, 1131–1135.