

Analisis Sifat Mekanis Komposit Serat Rami Pada Spakbor Motor

Sugiharto Jusman

Universitas Tarumanagara, Indonesia

Email: Sugihartojusman30@gmail.com

Abstrak

Spakbor motor umumnya dibuat dari plastik konvensional seperti polipropilena (PP) atau acrylonitrile butadiene styrene (ABS), yang memiliki dampak lingkungan tinggi karena sulit terurai. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi komposit berbasis serat rami (*Boehmeria nivea*) dengan matriks resin epoxy sebagai material alternatif yang ramah lingkungan untuk menggantikan plastik konvensional dalam pembuatan spakbor motor. Metode penelitian menggunakan pendekatan eksperimental dengan fabrikasi komposit melalui teknik hand lay-up, dimana serat rami dengan fraksi volume 30% dikombinasikan dengan resin epoxy (70%) menggunakan rasio resin-hardener 2:1. Serat rami (*Boehmeria nivea*) adalah salah satu serat alam yang memiliki kekuatan mekanik tinggi dan telah digunakan dalam berbagai aplikasi industri, termasuk tekstil, otomotif, dan konstruksi. Serat rami dipilih karena memiliki kekuatan tarik yang tinggi, ringan, dan lebih ramah lingkungan dibandingkan material plastik konvensional, sementara resin epoxy digunakan karena sifat mekanik dan ketahanan lingkungan yang lebih baik dibandingkan resin poliester. Komposit dibuat menggunakan metode hand lay-up dengan variasi fraksi volume serat rami untuk menentukan komposisi terbaik dalam meningkatkan sifat mekanik. Pengujian dilakukan menggunakan uji impak Charpy sesuai standar ASTM D6110 untuk mengukur kemampuan material dalam menyerap energi benturan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit serat rami mampu menyerap energi benturan rata-rata sebesar 34,05 Joule dengan energi spesifik 0,8936 J/mm², yang menunjukkan ketangguhan yang baik dan berpotensi menggantikan material plastik konvensional. Implikasi penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan material ramah lingkungan untuk industri otomotif dan mendukung pengurangan ketergantungan terhadap plastik berbasis petrokimia, serta berpotensi memperkuat industri material hijau nasional mengingat Indonesia memiliki kondisi geografis yang ideal untuk budidaya tanaman rami.

Kata kunci: Spakbor Motor; Serat Rami; Resin Epoxy

Abstract

Motorcycle fenders are generally made from conventional plastics such as polypropylene (PP) or acrylonitrile butadiene styrene (ABS), which have a high environmental impact because they are difficult to decompose. This study aims to evaluate the potential of jute fiber (*Boehmeria nivea*) composites with an epoxy resin matrix as an environmentally friendly alternative material to replace conventional plastics in the manufacture of motorcycle fenders. The research method used an experimental approach with composite fabrication through the hand lay-up technique, where ramie fibers with a volume fraction of 30% were combined with epoxy resin (70%) using a resin-hardener ratio of 2:1. Ramie fiber (*Boehmeria nivea*) is a natural fiber with high mechanical strength that has been used in various industrial applications, including textiles, automotive, and construction. Jute fiber was chosen because it has high tensile strength, is lightweight, and is more environmentally friendly than conventional plastic materials, while epoxy resin was used because it has better mechanical properties and environmental resistance than polyester resin. The composite was made using the hand lay-up method with variations in the volume fraction of jute fiber to determine the best composition for improving mechanical properties. Testing was conducted using the Charpy impact test in accordance with ASTM D6110 to measure the material's ability to absorb impact energy. The results showed that the hemp fiber composite was able to absorb an average impact energy of 34.05 Joules with a specific energy of 0.8936 J/mm², indicating good toughness and the potential to replace conventional plastic materials. The implications of this research contribute to the development of environmentally friendly materials for the automotive industry and support the reduction of dependence on petrochemical-based plastics. It also has the potential to strengthen the national green materials industry, given that Indonesia has ideal geographical conditions for jute cultivation.

Keywords: Motorcycle Fender; Hemp Fiber; Epoxy Resin



PENDAHULUAN

Industri otomotif saat ini banyak menggunakan plastik konvensional seperti polipropilena (PP) dan acrylonitrile butadiene styrene (ABS) sebagai material utama dalam pembuatan berbagai komponen kendaraan, termasuk spakbor motor. Plastik-plastik ini dipilih karena sifatnya yang ringan, tahan terhadap benturan, mudah dibentuk, serta cocok untuk diproduksi secara massal. Namun, di balik keunggulannya, penggunaan plastik berbasis petrokimia ini memiliki dampak negatif yang signifikan terhadap lingkungan.

Selain masalah produksi, limbah plastik dari komponen otomotif juga menjadi ancaman serius (Bow & Kurniawan, 2021; Citra, Purwanto, & Sunoko, 2020; Dedikarni, Kusuma, & Aldio, 2024; Gusty, Rachman, Dendo, Ampangallo, & Aryadi, 2023; Siregar, Ramadhan, Natasya, & Sari, 2024). Plastik seperti PP dan ABS membutuhkan waktu ratusan tahun untuk terurai secara alami (Abbas et al., 2024; Gandha, 2019; Putra, 2016; Utomo & Solin, 2021). Saat ini, sekitar 400 juta ton limbah plastik dihasilkan setiap tahun, tetapi hanya 9% yang berhasil didaur ulang, sementara sisanya berakhir di tempat pembuangan akhir atau mencemari lingkungan. Limbah dari kendaraan yang tidak lagi terpakai seringkali tidak dikelola dengan baik, sehingga memperparah akumulasi sampah plastik di darat maupun di laut (Antarissubhi et al., 2023; Kesuma, 2021; Soedjono et al., 2025). Proses degradasi plastik akibat paparan sinar ultraviolet dan gesekan mekanis juga menghasilkan mikroplastik yang dapat mencemari ekosistem perairan dan masuk ke dalam rantai makanan manusia. Sebuah studi yang dipublikasikan dalam *Science Advances* menyebutkan bahwa sekitar 14 juta ton mikroplastik telah mengendap di dasar laut, yang mengancam keberlanjutan ekosistem laut secara global.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, pengembangan material alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan menjadi kebutuhan mendesak. Salah satu solusi potensial adalah penggunaan komposit berbasis serat alami, seperti serat rami yang dikombinasikan dengan resin epoxy. Serat rami (*Boehmeria nivea*) merupakan serat alami yang memiliki kekuatan tarik yang tinggi, ringan, serta bersifat biodegradable (Budiman, Sulardjaka, & Iskandar, 2023; Gunari, 2020; Ilham & Istiqlaliyah, 2019; Nugraha, 2017; Simatupang, Manik, & Santosa, 2024). Dibandingkan dengan plastik konvensional, serat rami dapat terurai dalam waktu yang jauh lebih singkat, yaitu hanya dalam hitungan bulan hingga dua tahun. Selain itu, tanaman rami dapat dibudidayakan secara berkelanjutan karena memiliki siklus panen yang relatif cepat dan tidak membutuhkan lahan luas seperti tanaman industri lainnya.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini diarahkan pada upaya untuk mengkaji pemanfaatan komposit serat rami dengan resin epoxy sebagai material alternatif spakbor motor, menggantikan peran plastik konvensional seperti ABS dan PP. Penelitian ini dibatasi pada penggunaan material komposit serat rami dengan resin epoxy dan proses fabrikasi dilakukan menggunakan metode hand lay-up, tanpa mempertimbangkan metode produksi lain seperti vacuum infusion atau compression molding.

Potensi pengembangan komposit serat rami semakin besar mengingat kondisi geografis Indonesia sebagai negara tropis yang ideal untuk budidaya tanaman rami (Lutfiyani, Hamzani, & Rizkianto, 2023; Muflikhun & Nuryanta, 2024; Widodo, 2022). Oleh karena itu, pemanfaatan serat rami tidak hanya mendukung upaya pengurangan dampak lingkungan dari plastik, tetapi juga dapat memperkuat industri material hijau nasional. Melalui pendekatan ini, diharapkan ketergantungan terhadap plastik berbasis petrokimia dapat dikurangi secara bertahap, khususnya dalam sektor otomotif.

Permasalahan penelitian yang mendasari studi ini adalah: (1) Bagaimana karakteristik mekanis komposit serat rami-epoxy dapat memenuhi persyaratan aplikasi spakbor motor? (2) Seberapa besar potensi komposit serat rami sebagai pengganti material plastik konvensional dalam hal ketangguhan dan daya serap energi? (3) Apakah sifat mekanis yang dihasilkan sudah memadai untuk aplikasi komponen otomotif yang memerlukan ketahanan terhadap benturan?

Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan mendesak untuk mengurangi dampak lingkungan dari industri otomotif melalui pengembangan material alternatif yang berkelanjutan. Dengan meningkatnya kesadaran lingkungan dan regulasi yang semakin ketat terkait penggunaan plastik, industri otomotif memerlukan solusi material yang dapat menggantikan plastik konvensional tanpa mengorbankan performa mekanis.

Penelitian sebelumnya telah mengkaji berbagai jenis serat alam untuk aplikasi komposit. Ramesh et al. (2013) meneliti komposit serat sisal-jute-glass fiber dan menemukan bahwa kombinasi serat alam dapat meningkatkan sifat mekanis komposit. Das et al. (2021) melakukan review komprehensif tentang komposit serat alam dan mengidentifikasi tantangan serta arah pengembangan masa depan. Namun, penelitian spesifik tentang penggunaan serat rami untuk aplikasi spakbor motor masih terbatas.

Kesenjangan penelitian yang teridentifikasi adalah kurangnya data empiris tentang performa mekanis komposit serat rami khususnya untuk aplikasi komponen otomotif seperti spakbor motor. Sebagian besar penelitian terdahulu fokus pada serat alam lain atau aplikasi yang berbeda, sehingga diperlukan penelitian spesifik untuk mengevaluasi potensi serat rami dalam konteks industri otomotif.

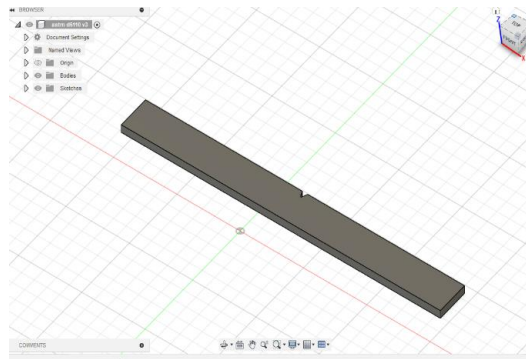
Kebaruan penelitian ini terletak pada evaluasi komprehensif komposit serat rami-epoxy secara spesifik untuk aplikasi spakbor motor, dengan fokus pada karakterisasi sifat mekanis yang relevan dengan persyaratan komponen otomotif. Penelitian ini juga menggunakan pendekatan yang mempertimbangkan aspek keberlanjutan dan ramah lingkungan dalam pengembangan material komposit.

Tujuan penelitian ini adalah: (1) Menganalisis karakteristik mekanik komposit serat rami-epoxy melalui uji impak Charpy; (2) Mengevaluasi potensi komposit serat rami sebagai material alternatif untuk pembuatan spakbor motor; (3) Menentukan kelayakan teknis penggunaan serat rami dalam aplikasi komponen otomotif.

Manfaat penelitian ini mencakup: (a) Manfaat teoritis: memberikan kontribusi pada pengembangan ilmu material komposit berbasis serat alam untuk industri otomotif; (b) Manfaat praktis: menyediakan alternatif material ramah lingkungan yang dapat diterapkan dalam industri otomotif; (c) Manfaat ekonomi: mendukung pengembangan industri berbasis sumber daya alam lokal dan mengurangi ketergantungan pada material impor.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan bahan utama berupa serat rami (*Boehmeria nivea*) sebagai material penguat dan resin epoxy sebagai matriks. Serat rami yang digunakan merupakan serat alami yang telah dikeringkan dan dibersihkan. Resin epoxy dicampur dengan hardener menggunakan rasio sesuai rekomendasi pabrikan. Untuk keperluan pencetakan spesimen, digunakan cetakan berbahan silicone rubber, yang dibuat dengan bantuan model dari hasil 3D printing.



Gambar 1. 3D Spesimen

Pembuatan cetakan dimulai dengan mencetak model spesimen uji sesuai dimensi standar ASTM menggunakan printer 3D. Setelah itu, silicone rubber dicampurkan terlebih dahulu dengan hardener, lalu dituangkan ke dalam wadah yang berisi model 3D. Proses ini dibiarkan selama 8 jam hingga cetakan mengering dan mengeras secara menyeluruh. Setelah curing selesai, model 3D dilepaskan dari cetakan silikon yang telah terbentuk, dan cetakan siap digunakan untuk proses fabrikasi komposit.



Gambar 2. Proses Cetak Spesimen

Fabrikasi komposit dilakukan dengan metode hand lay-up. Permukaan cetakan silikon dilapisi mold release agent agar spesimen mudah dilepaskan setelah proses curing. Serat rami disusun di dalam cetakan dengan orientasi tertentu, kemudian resin epoxy yang telah dicampur dengan hardener dituangkan ke dalam cetakan hingga seluruh serat terlapisi merata. Cetakan kemudian ditutup dan diberi beban ringan untuk membantu proses pemadatan dan mengeluarkan udara yang terperangkap. Proses curing dilakukan selama 48 jam pada suhu ruang. Setelah mengeras, spesimen komposit dilepaskan dari cetakan.



Gambar 3. Hasil Pembuatan Spesimen



Gambar 4. Alat Uji *Impact*

Pengujian mekanik yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari uji impact Charpy yang mengacu pada standar ASTM D6110 metode ini bertujuan untuk mengukur ketangguhan komposit dalam menyerap energi benturan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

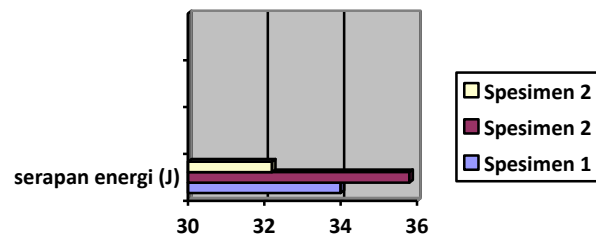
Pengujian impact dilakukan menggunakan alat uji impact pendulum tipe Charpy sesuai standar ASTM D6110, yang dirancang untuk menentukan energi yang diserap oleh spesimen saat terjadi patahan akibat tumbukan mendadak. Alat yang digunakan memiliki kapasitas maksimal energi sebesar 300 Joule dengan sudut ayunan pendulum awal 144° . Spesimen uji yang digunakan merupakan komposit berbasis serat rami yang diperkuat dengan resin epoxy. Komposit ini dibuat dengan rasio fraksi volume serat terhadap matriks sebesar 30%:70% dan rasio resin dengan hardener adalah 2:1.

Tabel 1 Grafik Daya Serap Energi

Sampel	α ($^\circ$)	β ($^\circ$)	G (N)	D (m)	A (mm^2)	Energi Serap (J)	Energi Spesifik (J/mm^2)
1A	144	122	256.29	0.6345	38.1	34.0393	0.8934
2A	144	121	256.29	0.6345	38.1	35.8543	0.9411
3A	144	123	256.29	0.6345	38.1	32.2441	0.8463

Berdasarkan tabel tersebut, diperoleh data hasil uji impact Charpy pada tiga spesimen komposit serat rami tanpa perlakuan alkali (sampel A). Uji dilakukan dengan sudut awal pendulum sebesar 144° , berat pendulum 256,29 N, dan panjang lengan 0,6345 m. Nilai energi serap masing-masing spesimen adalah 34,0393 J, 35,8543 J, dan 32,2441 J, dengan rata-rata sebesar 34,05 J.

Nilai energi spesifik, yang merupakan hasil pembagian antara energi serap dengan luas penampang spesimen, berada pada rentang 0,8463 hingga 0,9411 J/mm^2 , dengan rata-rata sebesar 0,8936 J/mm^2 . Nilai ini menunjukkan bahwa kemampuan komposit dalam menyerap energi benturan cukup baik, meskipun terdapat variasi antar spesimen. Variasi ini dapat disebabkan oleh faktor ketidakhomogenan distribusi serat dalam matriks epoxy atau orientasi serat yang tidak seragam terhadap arah tumbukan.



Gambar 4. Grafik Daya Serap Energi

Grafik yang ditampilkan memvisualisasikan variasi nilai energi serap dan energi spesifik dari tiga spesimen komposit serat rami (sampel A). Terlihat bahwa spesimen 2A memiliki nilai energi serap tertinggi sebesar 35,8543 J, sedangkan spesimen 3A menunjukkan nilai terendah yaitu 32,2441 J. Nilai energi serap rata-rata dari ketiga spesimen adalah 34,05 J, yang mencerminkan kemampuan material dalam menyerap energi benturan secara cukup stabil.

Pada grafik energi spesifik, pola yang serupa juga tampak. Nilai tertinggi diperoleh oleh spesimen 2A sebesar 0,9411 J/mm², sementara spesimen 3A memiliki nilai terendah yaitu 0,8463 J/mm², dengan rata-rata keseluruhan sebesar 0,8936 J/mm². Angka ini sudah tergolong baik untuk material berbasis serat alam, khususnya bila dibandingkan dengan beberapa referensi literatur yang melaporkan energi spesifik komposit natural fiber berada di kisaran 0,6–1,0 J/mm². Ini menunjukkan bahwa komposit serat rami memiliki potensi aplikasi pada struktur ringan dengan kebutuhan resistansi terhadap impact sedang hingga tinggi.

Variasi antar spesimen yang terlihat pada grafik relatif kecil, yang menunjukkan bahwa proses fabrikasi komposit telah cukup konsisten dalam menghasilkan struktur internal yang homogen. Fluktuasi yang ada kemungkinan besar disebabkan oleh faktor mikro seperti orientasi serat lokal, voids, atau ketidakaturan minor pada distribusi serat dalam matriks epoxy.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, komposit serat rami dengan matriks epoxy menunjukkan performa mekanis yang menjanjikan untuk aplikasi spakbor motor. Hasil uji impact Charpy menghasilkan rata-rata energi serap sebesar 34,05 Joule dan energi spesifik sebesar 0,8936 J/mm², yang menunjukkan ketangguhan material yang baik dalam menyerap energi benturan. Nilai energi spesifik yang mendekati 0,9 J/mm² menempatkan komposit serat rami dalam kategori material yang layak untuk aplikasi komponen otomotif yang memerlukan ketahanan terhadap beban kejut sedang hingga tinggi. Konsistensi hasil antar spesimen menunjukkan bahwa metode fabrikasi hand lay-up dapat menghasilkan material komposit dengan sifat mekanis yang stabil dan reproducible.

Berdasarkan hasil uji impact Charpy terhadap komposit serat rami tanpa perlakuan alkali (sampel A), diperoleh rata-rata energi serap sebesar 34,05 Joule dan energi spesifik sebesar 0,8936 J/mm². Nilai ini menunjukkan bahwa material mampu menyerap energi benturan secara efisien, dengan variasi antar spesimen yang relatif kecil, menandakan

kestabilan sifat mekaniknya. Nilai energi spesifik yang mendekati $0,9 \text{ J/mm}^2$ sudah tergolong baik untuk material berbasis serat alam, dan menempatkan komposit serat rami dalam kategori material yang layak untuk menahan beban kejut sedang hingga tinggi.

Nilai ini mencerminkan ketangguhan yang tinggi terhadap beban kejut dan menunjukkan bahwa struktur internal material mampu meredam energi benturan secara efektif. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa komposit serat rami memiliki potensi yang lebih baik dibandingkan material plastik konvensional seperti ABS dalam hal ketahanan terhadap benturan.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk melakukan pengujian sifat mekanis yang lebih komprehensif seperti uji tarik, uji lentur, dan uji fatik untuk mendapatkan karakterisasi material yang lebih lengkap. Selain itu, perlu dilakukan optimasi lebih lanjut terhadap fraksi volume serat, perlakuan permukaan serat, dan teknik fabrikasi untuk meningkatkan performa mekanis. Penelitian tentang ketahanan terhadap kondisi lingkungan seperti kelembaban, suhu, dan paparan UV juga diperlukan untuk mengevaluasi durabilitas material dalam aplikasi nyata. Pengembangan prototype spakbor motor dari komposit serat rami dan pengujian performanya dalam kondisi operasional akan menjadi langkah selanjutnya untuk validasi kelayakan komersial material ini.

Performa ini menjadi indikasi bahwa komposit serat rami memiliki kekuatan dan ketangguhan yang cukup untuk digunakan dalam berbagai aplikasi fungsional. Salah satu potensi aplikatif yang sangat relevan adalah sebagai bahan alternatif untuk pembuatan spakbor motor. Dalam aplikasi ini, material dituntut memiliki ketahanan terhadap benturan, ringan, serta memiliki sifat mekanik yang stabil. Komposit serat rami memenuhi kriteria tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, Lukman, Adiansyah, Romi, Asfar, A. M. Irfan Taufan, Asfar, A. M. Iqbal Akbar, FA, A. Nurannisa, Ramli, Nurhaerani, & Asis, M. Nasrul. (2024). *Inovasi Batako Ramah Lingkungan Dari Botol Plastik*. Penerbit KBM Indonesia.
- Antarissubhi, H., Serang, Rudi, Leda, Jeremias, Salamena, Ganisa Elsina, Pagoray, Gebion Lysje, Gusty, Sri, Rachman, Ranno Marlany, & Safar, Anriani. (2023). *Krisis Iklim Global di Indonesia (Dampak dan Tantangan)*. Tohar Media.
- Bow, Yohandri, & Kurniawan, Sigit. (2021). *Bahan Bakar Minyak Dari Limbah Kantong Kresek*.
- Budiman, Syafri Arya, Sulardjaka, Sulardjaka, & Iskandar, Norman. (2023). Analisis Kekuatan Lentur Komposit Berpenguat Serat Rami Dengan Matriks Gondorukem Pada Fraksi Massa 15% Dan 30%. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(1), 32–39.
- Citra, Ari Dina Permana, Purwanto, Purwanto, & Sunoko, Henna Rya. (2020). *Pengelolaan Limbah Cat Pada Industri Kemasan Plastik Kecantikan Dengan Pendekatan Teknologi dan Life Cycle Assesment (LCA)*. School of Postgraduate.
- Dedikarni, Dedikarni, Kusuma, Hendriko Patra, & Aldio, Rieza Zulrian. (2024). Pengaruh Penambahan Abu Cangkang Sawit Dan Limbah Plastik Terhadap Sifat Mekanik Dan Mikro Struktur Plat Komposit. *SINERGI POLMED: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 5(2), 93–99.
- Gandha, Ridual Hijria. (2019). *Kinerja Generator set 1300 Watt Berbahan bakar campuran Bensin dengan Minyak hasil konversi sampah Plastik jenis Polypropylene (PP)*.

Politeknik Negeri Sriwijaya.

- Gunari, Gian Tri. (2020). *Ta: Analisa Komposit Polimer Polypropylene High Impact (Pphi) Berpenguat Serat Rami Dengan Fraksi Volume 15% Menggunakan Metode Hand Lay-Up*. Institut Teknologi Nasional Bandung.
- Gusty, Sri, Rachman, Ranno Marlany, Dendo, Ermitha Ambun Rombe, Ampangallo, Bastian Artanto, & Aryadi, Armin. (2023). *Revolusi Plastik dan Lingkungan*. Tohar Media.
- Ilham, M. Muslimin, & Istiqlaliyah, Hesti. (2019). *Pemanfaatan Serat Rami (Boehmeria Nivea) Sebagai Bahan Komposit Bermatrik Polimer*. Mesin Nusantara.
- Kesuma, Ardha. (2021). *Merawat diri merawat bumi*. Pandiva Buku.
- Lutfiyani, Dini, Hamzani, Achmad Irwan, & Rizkianto, Kus. (2023). *Kontroversi Ganja untuk Medis: Perbandingan Indonesia dan Thailand*. Penerbit NEM.
- Muflikhun, Muhammad Akhsin, & Nuryanta, Muhammad Irfan. (2024). *Komposit Serat Alam Pengenalan: Sifat Mekanis-Proses Manufaktur dan Perkembangannya*. UGM PRESS.
- Nugraha, Angga Pratama Cahya Adi. (2017). *Studi Pengaruh Orientasi Serat Pada Komposit Balistik Berbahan Serat Rami (Boehmeria Nivea) Dan Serat Pisang Abaka (Musa Textilis) Terhadap Redaman Energi Impak Proyektil*. Universitas Brawijaya.
- Putra, Pradhita Karuniawan Eka. (2016). *Optimalisasi Pemilahan Sampah Plastik di Kampung Nelayan Kelurahan Cilacap Selatan Kabupaten Cilacap*. UII.
- Simatupang, Okto Venesa, Manik, Parlindungan, & Santosa, Ari Wibawa Budi. (2024). *Analisis Potensi Kekuatan Dan Kelenturan Dari Komposit Polimer Berbahan Serat Rami Dan Serat Serabut Kelapa Sebagai Bahan Alternatif Konstruksi Kapal Fiberglass*. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 12(4).
- Siregar, Anisa Difa, Ramadhan, Ramadhan, Natasya, Raslin, & Sari, Lutfi Mulia. (2024). *The Dangers of Chemical Contents in Plastic Used as Food and Beverage Containers*. *The Lunarian*, 1(2), 20–31.
- Soedjono, Eddy Setiadi, Marhendha, Bara Awanda, Arliyani, Isni, Nisaa, Ainul Firdatun, Radita, Deqi Rizkivia, Pratama, M. Bagas Pramudya, & Fitriani, Nurina. (2025). *Sanitasi di Kawasan Pesisir dan Pulau Pulau kecil di Indonesia*. Media Nusa Creative (MNC Publishing).
- Utomo, Nugroho, & Solin, Dian Purnamawati. (2021). *Bahaya tas plastik dan kemasan styrofoam*. *Jurnal Abdimas Teknik Kimia*, 2(2), 43–49.
- Widodo, Edi. (2022). *Buku Ajar Mekanika Komposit dan Bio-Komposit*. Umsida Press, 1–111.



© 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY SA) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).