



Pengaruh Variasi Susunan Laminat Komposit *Hybrid* Serat Karbon-Serat Rami Bermatriks *Epoxy* Terhadap Ketangguhan Impak

Raka Lintang Wijaya¹⁾, Sri Hastuti²⁾, R. Faiz Listyanda³⁾

¹⁻³⁾ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar, Jl. Kapten Suparman 39 Kota Magelang, Jawa Tengah, Indonesia.

e-mail: hastutisrimesin@untidar.ac.id;

ABSTRAK

Permintaan material yang tangguh namun ringan dengan biaya yang rendah terus meningkat seiring berkembangnya teknologi. Diharapkan komposit hybrid dengan susunan serat alam dan serat sintesis dapat menjadi solusi dan menciptakan kombinasi yang baik serta lebih ramah lingkungan. Penelitian ini mengkaji tentang pengaruh variasi susunan laminat komposit hybrid berpenguat serat karbon dan serat rami bermatriks epoksi terhadap ketangguhan impak. Uji dilakukan uji impak menggunakan standar ASTM D6110, dan analisis foto makro. Komposit dibuat menggunakan metode hand lay-up. Variasi komposisi yang diuji adalah Rami-Karbon-Rami-Rami, Karbon-Rami-Karbon-Rami, dan Karbon-Rami-Karbon-Karbon. Serat rami diberi perlakuan alkali dengan direndam dalam larutan NaOH 5% selama 3 jam. Hasil menunjukkan bahwa variasi Karbon-Rami-Karbon-Rami memiliki nilai ketangguhan impak tertinggi dibanding variasi lain dengan rata-rata sebesar 0.13230 J/mm². Hasil analisis foto makro pada permukaan patahan uji impak menunjukkan adanya void, fiber pull out, dan matrix rich. Void terjadi akibat udara yang terjebak didalam spesimen, fiber pull out terjadi karena resin dan serat tidak mengikat dengan sempurna, dan matrix rich terjadi karena resin terkonsentrasi di area tertentu, menyebabkan gumpalan di area tersebut.

Kata Kunci: Komposit Hybrid, matriks epoxy, metode hand lay up, uji impak, foto makro.

ABSTRACT

The demand for strong yet lightweight materials at low cost continues to increase as technology advances. It is hoped that hybrid composites with a combination of natural and synthetic fibers can be a solution and create a good combination that is also more environmentally friendly. This study examines the effect of variations in the composition of hybrid composite laminates reinforced with carbon fiber and hemp fiber with an epoxy matrix on impact strength. Impact tests were conducted using the ASTM D6110 standard and macro photo analysis. The composites were made using the hand lay-up method. The composition variations tested were Hemp-Carbon-Hemp-Hemp, Carbon-Hemp-Carbon-Hemp, and Carbon-Hemp-Carbon-Carbon. The flax fibers were treated with alkali by soaking them in a 5% NaOH solution for 3 hours. The results showed that the Carbon-Flax-Carbon-Flax variation had the highest impact toughness value compared to other variations, with an average of 0.13230 J/mm². Macro photo analysis of the impact test fracture surface showed the presence of voids, fiber pull-out, and matrix rich areas. Voids occur due to air trapped inside the specimen, fiber pull-out occurs because the resin and fibers do not bond perfectly, and matrix rich occurs because the resin is concentrated in certain areas, causing clumps in those areas.

Keywords: Hybrid composites, epoxy matrix, hand lay-up method, impact testing, macro photography.

1. Pendahuluan

Bahan komposit terus berkembang seiring dengan kemajuan teknologi, terutama komposit *hybrid* yang tersusun dari campuran serat alami dan sintesis. Penggunaan komposit *hybrid* didorong oleh kebutuhan akan bahan yang kuat, murah, mudah didapat, dan ramah lingkungan [1]. Komposit dibuat dengan menyusun lapisan struktur serat yang berbeda

untuk membentuk struktur *hybrid*, komposit serat *hybrid* yang dihasilkan dari interaksi ini disebut komposit *hybrid*. Komposit ini memiliki banyak keunggulan, seperti mengurangi kelemahan masing-masing jenis serat, mempertahankan manfaat keduanya, dan memungkinkan efek sinergis, yang dapat menghasilkan sifat-sifat yang tidak dimiliki oleh konstituennya [2].

Indonesia kaya akan sumber daya alam, termasuk flora seperti rami (*Boehmeria nivea* (L) Goud). Rami diproduksi secara luas di Wonosbo, Lampung, Lahat, dan daerah-daerah lain. Luas lahan yang ditanami rami dan produksinya pada tahun 2013 mencapai 1.166 ha dengan hasil 678 ton, sedangkan pada tahun 2014 mencapai 1.171 ha dengan hasil 683 ton [3]. Serat rami memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan penguat komposit karena memiliki kandungan serat tinggi, kekuatan tarik tinggi, daya tahan kelembapan, lebih ringan daripada serat sintetis, dan harga yang terjangkau [4]. Komposit yang diperkuat karbon menggunakan serat karbon sebagai komponen karena sifatnya yang sangat kuat namun ringan. Bahan komposit yang diperkuat serat karbon umumnya digunakan untuk membuat bahan yang memerlukan berat ringan dan kekuatan, seperti bodi untuk kompetisi Moto GP dan F1 [5].

Di industri material, permintaan akan komponen yang ringan namun kuat terus meningkat, mendorong pengembangan material yang digunakan sebagai komponen dengan berbagai jenis material yang lebih ringan dan kuat namun tetap memenuhi kriteria yang berlaku hingga saat ini. Salah satu material yang sering digunakan dalam rekayasa material adalah serat karbon sebagai material komposit [6]. Pengembangan ini juga terus dilakukan karena material komposit memiliki keunggulan seperti kekuatan yang lebih tinggi, ketahanan yang lebih baik, dan ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan dengan material logam lainnya [7].

Serat rami memiliki ketangguhan impak dan bending yang sangat baik. Sifat-sifat ini sangat penting dalam proses manufaktur bahan yang dapat menahan beban regangan dan lentur dengan lebih baik [8]. Serat karbon dianggap cocok untuk digunakan sebagai bahan komposit, tetapi harganya mahal. Oleh karena itu, komposit *hybrid* berpotensi menjadi lebih murah, memiliki sifat mekanik yang lebih baik, dan lebih ramah lingkungan [9].

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa serat rami dan serat karbon memiliki kekuatan yang cukup untuk digunakan dalam komposit *hybrid*. Sebuah studi yang dilakukan oleh (Rahmatulloh dkk., 2020) [1], menunjukkan bahwa komposit *hybrid* dari serat rami dan serat karbon mengalami peningkatan kekuatan bending dan kekuatan tarik dengan penambahan fraksi volume serat rami. Penelitian serupa tentang komposit *hybrid* menggunakan serat karbon dan serat jute sebagai penguat oleh Sathiyamoorthy dan Senthilkumar [10], yang menyatakan bahwa susunan komposit *hybrid* dapat mempengaruhi kekuatan tarik dan ketangguhan impak. Hasil dari penelitian tersebut, komposit *hybrid* dengan bobot ringan dan berbiaya rendah yang akan dikembangkan menjadi pilihan yang tepat untuk aplikasi beban sedang, seperti papan partisi konstruksi, bingkai pintu, panel interior mobil/kereta api, koper, helm, dll. Penelitian lain oleh Tuasalamony dkk [11], yang membandingkan serat rami dengan perlakuan alkali dan tanpa perlakuan alkali. Hasil menunjukkan bahwa serat rami yang diperlakukan dengan alkali menggunakan NaOH selama 2 jam memperoleh nilai kekuatan tekan yang lebih baik.

Berdasarkan latar belakang tersebut, tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah menganalisis pengaruh variasi komposisi laminat komposit *hybrid* serat rami dan serat karbon dengan matriks epoxy terhadap ketangguhan impak, serta menganalisis hasil patahan dari uji impak melalui foto makro. Diharapkan bahan komposit *hybrid* ini dapat menjadi bahan alternatif di sektor industri karena kekuatan dan kapasitas mekanisnya, seperti pada kap mobil.

2. Metode

2.1. Material

Serat karbon anyam tipe 12 K T 300 dengan orientasi 0^0 dan serat rami anyam dengan orientasi $0^0/90^0$ digunakan sebagai bahan penguat. Matriks terdiri dari resin epoksi "Bakelite EPR 174 Bisphenol A" dan *hardener* "Versamid 140". NaOH 5% dan air suling "aquades" digunakan untuk perlakuan alkali. Sifat mekanik serat karbon, serat rami, resin epoksi, dan *hardener* dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2, masing-masing [12], [13].

Tabel 1. Sifat mekanik serat karbon dan serat rami

<i>Properties</i>	Serat Karbon	Serat Rami
<i>Density (g/cm³)</i>	1,8	1,3-1,5
<i>Tensile strength (MPa)</i>	4700	400-938
<i>Young's modulus (GPa)</i>	230	28-128
<i>Elongation at break (%)</i>	1,9	1,5-1,8

Tabel 2. Sifat mekanik resin epoxy dan *hardener*

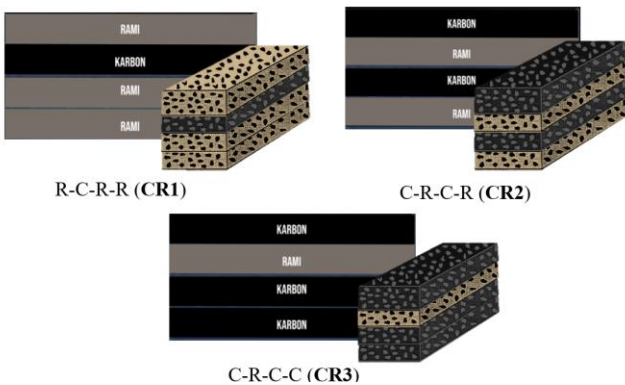
<i>Properties</i>	Bakelite EPR 174 Bisphenol A - epoxy resin	Versamid 140 - <i>hardener</i>
<i>Viscosity at 25^oC (mPas)</i>	13000	8000-12000
<i>Density at 25^oC (g/cc)</i>	1,17	0,97
<i>Flash point (°C)</i>	>250	185

2.2. Perlakuan Alkali pada Serat Rami

Perlakuan alkali menggunakan larutan NaOH (sodium hydroxide) adalah proses kimia yang bertujuan untuk meningkatkan ikatan antara serat alami dan matriks polimer dalam komposit. Perlakuan ini dapat memodifikasi permukaan serat menjadi tegangan permukaan yang lebih rendah dan meningkatkan ikatan adhesif antara serat alami dan matriks polimer [14]. Prosedur penelitian perlakuan alkali dalam studi ini menggunakan 25 gr larutan NaOH 5% yang dilarutkan dalam 500 ml air suling. Serat rami kemudian direndam dalam larutan tersebut selama 3 jam, dicuci dengan air hingga netral, dan dikeringkan pada suhu ruangan hingga kering.

2.3. Persiapan Komposit Laminat

Variasi laminat komposit *hybrid* disusun dalam pola-pola berikut: rami-karbon-rami-rami (CR1), karbon-rami-karbon-rami (CR2), dan karbon-rami-karbon-karbon (CR3), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

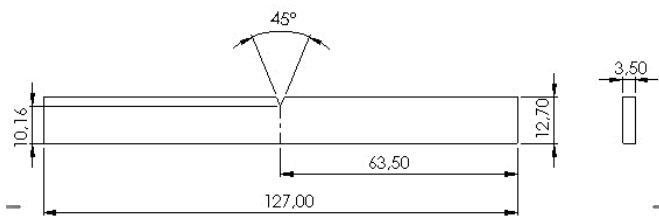


Gambar 1. Variasi susunan laminat komposit *hybrid* serat rami dan serat karbon

Komposit akan dibuat menggunakan metode *hand lay up*, dimana metode ini merupakan metode paling sederhana dan proses terbuka dalam pembuatan komposit. Metode *hand lay up* adalah proses laminasi serat manual, yang merupakan metode pertama dimana digunakan dalam pembuatan komposit [15].

2.4. Uji Mekanik

Spesimen komposit akan dibentuk sesuai dengan standar ASTM D6110 untuk pengujian impact guna menentukan kapasitas penyerapan energi material sebelum patah dengan menerapkan beban cepat [16], dan analisis menggunakan fotografi makro untuk mengidentifikasi cacat dari permukaan patahan sebagai ukuran kekuatan. Dimensi spesimen ditunjukkan pada gambar 2.

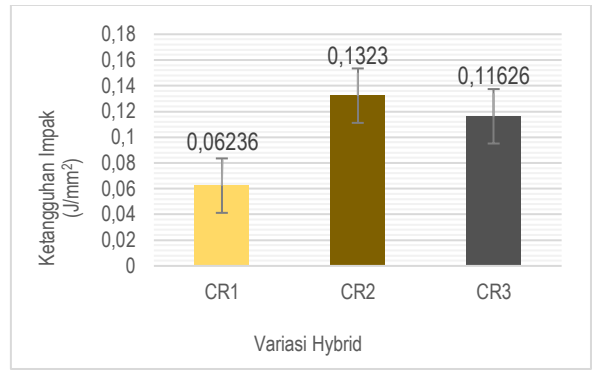


Gambar 2. Dimensi Spesimen Uji Impact ASTM D6110 (mm)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Ketangguhan impact

Uji impact dilakukan lima kali untuk setiap variasi, data dikumpulkan dari tiga spesimen di setiap variasi untuk di rata-rata. Dari hasil uji impact ini, diperoleh nilai ketangguhan impact yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Ketangguhan impact komposit *hybrid* serat rami - serat karbon

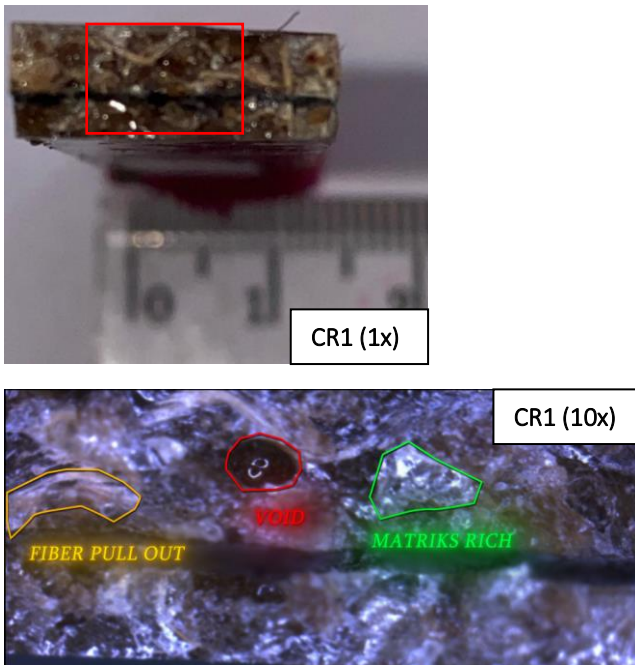
Dari gambar 2 dapat dilihat bahwa nilai rata-rata tertinggi ketangguhan impactnya ada pada variasi karbon-rami-karbon-rami (CR2) sebesar 0,13230 J/mm². Variasi rami-karbon-rami-rami (CR1) mendapatkan nilai terendah dengan rata-rata ketangguhan impact sebesar 0,06236 J/mm² dan pada variasi karbon-rami-karbon-karbon (CR3) mendapatkan rata-rata ketangguhan impact sebesar 0,11626 J/mm².

Nilai ketangguhan impact variasi CR3 memiliki nilai rata-rata yang lebih tinggi daripada variasi CR1 dengan selisih 86%. Hal ini terjadi karena penambahan serat karbon pada serat rami menyebabkan peningkatan ketangguhan impact, namun nilainya lebih rendah daripada variasi CR2 dengan selisih 13%, yang menunjukkan variasi CR2 mendapat ikatan serat dan matriks yang lebih baik [10].

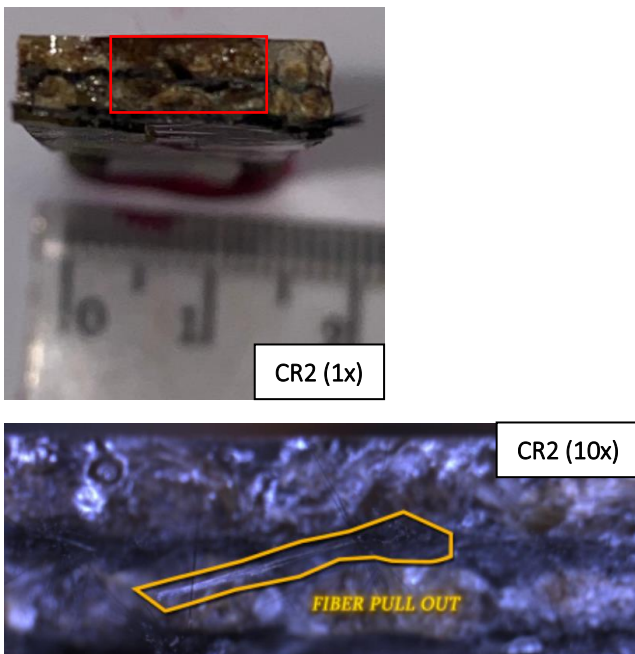
Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi variasi susunan laminat dapat mempengaruhi nilai ketangguhan impact, berdasarkan eksperimen [10], lapisan serat karbon yang dominan cenderung kaku dan mudah retak, sehingga kurang mampu menyerap energi benturan dengan baik. Peningkatan ketahanan benturan komposit CR2 juga menunjukkan bahwa variasi kombinasi ini mencapai ikatan serat dan matriks yang moderat, memungkinkan komposit tersebut menyerap energi impact yang lebih tinggi.

3.2 Foto Makro

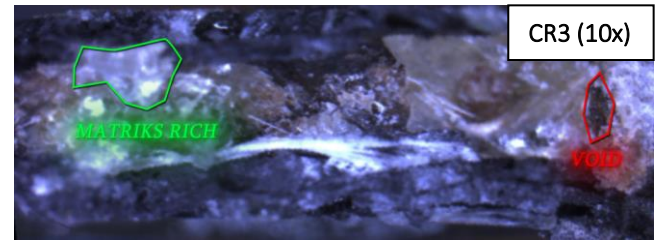
Patahan permukaan spesimen dari hasil uji impact pada masing-masing variasi diamati dengan mikroskop kemudian dilakukan analisa. Foto makro diambil menggunakan mikroskop EM-51 M2 Trinokuler, setiap patahan komposit *hybrid* foto diambil pada skala perbesaran 10x. Gambar foto makro ditunjukkan pada Gambar 4, 5, dan 6.



Gambar 3. Foto Makro permukaan patahan CR1 dengan perbesaran 1x dan 10x



Gambar 4. Foto Makro permukaan patahan CR2 dengan perbesaran 1x dan 10x



Gambar 5. Foto Makro permukaan patahan CR3 dengan perbesaran 1x dan 10x

Gambar 3, 4, dan 5 menunjukkan permukaan patahan pada spesimen hasil uji impact pada setiap variasi dengan kekuatan mekanik tertinggi. Foto makro pada Gambar CR2 di atas menunjukkan kegagalan spesimen uji yang disebabkan oleh *fiber pull out*. Gambar CR1 dan CR3 juga menunjukkan beberapa kegagalan spesimen uji, termasuk *fiber pull out*, *matrix rich*, dan *void*.

Dari hasil uji impact, nilai ketangguhan impact pada Gambar 4 CR2 memiliki nilai tertinggi, karena pada gambar tersebut hanya terlihat *fiber pull out* dari serat karbon pada variasi laminat dan tidak terlihat adanya *void* atau *matrix rich*. Hal ini diperkuat oleh penelitian Widitoyo [17], yang menyatakan bahwa *void* dapat menurunkan keseluruhan kekuatan pada komposit. Pada variasi ini, resin terdistribusi secara merata dan serat rami terikat dengan sempurna saat di uji impact, sehingga menghasilkan kekuatan mekanik tertinggi dibandingkan dengan variasi pada Gambar CR1 dan CR3.

Variasi CR3 pada gambar 5 memiliki nilai ketangguhan impact yang lebih rendah dibanding CR2, namun lebih tinggi dibanding CR1. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sathiyamoorthy dan Senthilkumar [10], hal ini dikarenakan pada variasi tersebut serat karbon lebih dominan sehingga serat cenderung lebih kaku dan dapat dilihat di gambar 5 bahwa terapat *void* yang disebabkan karena adanya udara yang terperangkap di dalam spesimen, serta *matrix rich* karena resin yang terpusat di area tertentu mengakibatkan penggumpalan resin di area tersebut, Pada variasi ini, bisa dibalang serat karbon dan rami terikat dengan sempurna namun resin tidak terdistribusi secara merata, sehingga menghasilkan kekuatan mekanik yang lebih rendah dibanding CR2.

4. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan, bahwa struktur komposit *hybrid* CR2 dengan susunan karbon-rami-karbon-rami memiliki nilai ketangguhan impact yang lebih baik, meskipun hasilnya tidak jauh berbeda dengan variasi CR3. Hasil foto makro mengidentifikasi adanya cacat pada spesimen seperti *void*, *fiber pull out*, dan *matrix rich*. Oleh karena itu, variasi susunan komposit *hybrid* CR2 lebih direkomendasikan untuk aplikasi yang rentan terhadap benturan seperti pada kap mobil atau helm. Material yang lebih murah, ringan, dan serat yang lebih mudah diperoleh

serta lebih ramah lingkungan dapat diterapkan untuk kebutuhan pengaplikasian pada skala menengah.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada atas fasilitas dan dukungan yang diberikan demi kelancaran penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Rahmatulloh, A. G., & Irfai, M. A. (2020). Pengaruh Fraksi Volume Komposit Hybrid Dengan Penguat Serat Rami Dan Serat Karbon Bermatrik Polyester Terhadap Kekuatan Bending Dan Kekuatan Tarik. *Jurnal Teknik Mesin*, 8(2), 61-66.
- [2] Boccarusso, L., Pinto, F., Myronidis, K., De Fazio, D., & Durante, M. (2023). Thin hybrid hemp/carbon fiber composites: manufacturing, flexural, and impact behavior. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 32(9), 3914-3922. <https://doi.org/10.1007/s11665-023-07992-5>
- [3] Habibie, S., Suhendra, N., Setiawan, B. A., Hamzah, M., Aisah, N., Fitriani, D. A., ... & Anggaravidya, M. (2021). Prospect of ramie fiber development in Indonesia and manufacturing of ramie fiber textile-based composites for industrial needs, an overview. *Int. J. Compos. Mater*, 11(3), 43-53. doi:10.5923/j.comaterials.20211103.01
- [4] Haziza, E. P., & Aritonang, S. (2024). Studi Komparasi Karakteristik Mekanik Serat Alam sebagai Bahan Anti Peluru: Jurnal Review. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 7(1), 168-175. doi: <https://doi.org/10.30596/rmme.v7i1.17326>
- [5] Taufiqurrahman, H., & Iskandar, N. (2022). Pengaruh Fraksi Massa Dan Arah Orientasi Serat Terhadap Kekuatan Lentur Komposit Berpenguat Serat Rami Dengan Matriks Gondorukem. In *Jurnal Teknik Mesin S-1* (Vol. 10, Issue 3).
- [6] Yudha, N. F., Hastuti, S., & Listyanda, R. F. (2025). Pengaruh Lama Curing Material Komposit Serat Karbon Terhadap Kekuatan Mekanik Dengan Metode Pembuatan Kombinasi Hand Lay-Up Dan Vacuum Bagging. *AutoMech: Jurnal Teknik Mesin*, 5(01).
- [7] Sari, E. D. R., Respati, S. B., & Nugroho, A. (2020). Analisis Kekuatan Tarik Dan Bending Komposit Serat Karbon-Resin Dengan Variasi Waktu Curing Dan Suhu Penahanan 80°C. *Jurnal Ilmiah Momentum*, Vol. 16, No 2 . doi: <https://doi.org/10.36499/jim.v16i2.3771>
- [8] Jawaid, M., & Khan, A. (Eds.). (2021). *Vegetable fiber composites and their technological applications*. Singapore: Springer.
- [9] Rokhim, M. A., & Irfai, M. A. (2021). Pengaruh Arah Sudut Dan Lama Perendaman Serat Rami Pada Larutan Koh Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekuatan Bending Komposit Dengan Matrik Epoxy. *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 9 no. 1, pp. 135-144.
- [10] Sathiyamoorthy, M., & Senthilkumar, S. (2020). Mechanical, thermal, and water absorption behaviour of jute/carbon reinforced hybrid composites. *Sādhanā*, vol. 45, no. 1, hal. 278. doi: <https://doi.org/10.1007/s12046-020-01514-y>
- [11] Tuasalamony, R. D. (2022). Pengaruh Fraksi Volume Dan Waktu Alkalisasi Terhadap Kekuatan Tekan Bahan Komposit Serat Rami-Epoksi. *Jurnal Honai*, vol. 2, no. 1, hal. 44-57. doi: 10.61578/honai.vol2.no1.art6
- [12] Newcomb, B. A., & Chae, H. G. (2018). The properties of carbon fibers. In *Handbook of properties of textile and technical fibres* (pp. 841-871). Woodhead Publishing. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101272-7.00021-3>
- [13] Maulana, I., & Irfai, M. A. (2021). Pengaruh Lama Perendaman Larutan KOH Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekuatan Bending Komposit Hibrid Serat Rami dan Bambu. *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 9, no 3, hal 99-104.
- [14] Hestiawan, H., Ariawan, D., Amri, K., Nuramal, A., Afrizal, A., & Sudibyso, S. (2022). Pengaruh Perlakuan Alkali Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Serat Lantung (*Artocarpus Elasticus*). *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 13 no 3, hal 819-826. doi: <https://doi.org/10.21776/jrm.v13i3.1220>
- [15] Fadilah, R., Widyaputra, G., Mesin, T., & Teknik, F. (2020). Analisis Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Material Komposit Pada Body Mobil Listrik Prosoe Kmhe 2019. *Jurnal Teknik Mesin*, vol 9, no 2, hal. 124-131. doi: 10.22441/jtm.v9i2.6199
- [16] Akbar, F., Sulardjaka, S., & Iskandar, N. (2023). Pengaruh Penambahan Plasticizer Gliserol Dan Pati Jagung Pada Matriks Gondorukem Terhadap Kekuatan Impak Komposit Berpenguat Serat Rami. *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 11, no. 3, hal. 482-487.
- [17] Widityo, R. P. G. W., Sumarji, S., & Dani, D. H. T. P. (2025). Studi Karakteristik Lentur dan Mikrostruktur Komposit Berbasis Limbah Coconut Coir Fiber dengan Metode Vacuum Infusion Sebagai Material Industri Maritim. *Jurnal Permadi: Perancangan, Manufaktur, Material dan Energi*, vol. 7, No. 3, hal. 233-243. doi: <https://doi.org/10.52005/permadi.v7i03.202>