

Contents list available at [Sinta](https://sinta)

ARMATUR

: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.unmetro.ac.id/index.php/armatur>

Pengaruh Susunan Pada Komposit Laminat Serat Sabut Kelapa Terhadap Kekuatan Bending dan Ketangguhan Impak

Septian Dwi Martono^{1*}, Sri Hastuti², R. Faiz Listyanda³, Nurhadi⁴septiandwimar93@gmail.com, hastutisrimelin@untidar.ac.id, faizlistyanda@untidar.ac.id,
nurhadi@untidar.ac.id

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

2 Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar, Jl. Kapten Suparman 39 Kota Magelang, Jawa Tengah, Indonesia

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

4 Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar, Jl. Kapten Suparman 39 Kota Magelang, Jawa Tengah, Indonesia

ARTICLE INFO

Keywords:
laminated composite,
stacking sequence,
flexural testing,
impact testing

ABSTRACT

Natural fibers are widely used as composite reinforcements due to their abundance, low density, and favorable specific strength. This study examines the effect of stacking sequence on the mechanical properties of coconut coir fiber-reinforced laminates. The composites were fabricated using woven and random coir fibers treated with 5% NaOH for 2 hours and dried at 80 °C for 3 hours, with unsaturated polyester resin as the matrix and MEPOXE as the catalyst. The Hand Lay-Up method was applied with three stacking variations: woven–woven–woven, woven–random–woven, and random–woven–random. Flexural testing was conducted in accordance with ASTM D790, while Charpy impact testing followed ASTM D6110. The results showed that the woven–woven–woven sequence achieved the highest flexural strength of 41.23 MPa, whereas the random–woven–random sequence exhibited the highest impact energy absorption (2.84 J) and impact toughness (0.0295 J/mm²). These findings demonstrate that woven layers enhance flexural strength, while random fibers on the outer layers improve energy absorption. Overall, stacking sequence has a significant influence on the mechanical performance of coconut coir fiber composites, highlighting their potential as sustainable structural materials

*Corresponding author: septiandwimar93@gmail.com

DOI: <https://10.24127/armatur.v6i2.9940>

Received 16 Agustus 2025; Received in revised form 29 September 2025; Accepted 29 September 2025

Available online 30 September 2025

Pendahuluan

Serat alam dapat dimanfaatkan sebagai salah satu bahan penguat pada komposit. Serat alam yang akan digunakan sebagai penguat biasanya serat diberi perlakuan alkali 5%, sehingga getah, lignin, dan kotoran yang terdapat pada serat menjadi hilang agar dapat meningkatkan kekuatan ikat serat pada resin [1]. Serat alam dipilih, karena jumlahnya cukup melimpah dan memiliki kekuatan spesifik yang baik, serta berat jenis yang rendah. Serat sabut kelapa selama ini masih dimanfaatkan secara tradisional [2]. Serat sabut kelapa memiliki sifat tahan lama, sangat kuat terhadap gesekan, dan tidak mudah patah, sehingga serat alam ini dapat menjadi alternatif filler komposit karena ketersediaan sabut kelapa sangat berlimpah.

Komposit polimer yang diperkuat serat alam tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga menunjukkan peningkatan kekuatan spesifik dan kemampuan penyerapan energi, sehingga cocok digunakan sebagai alternatif material struktural.[3] Susunan lapisan (*stacking sequence*) dan orientasi serat terbukti meningkatkan kekuatan lentur serta ketahanan dampak pada komposit hibrida, di mana lapisan luar yang mengandung serat kaca secara signifikan menaikkan performa mekanik.[4]. Salah satu, yang mempengaruhi performa mekanik komposit adalah orientasi dan arsitektur serat, yang dapat berupa susunan anyam (*woven*) maupun acak (*random*). Serat anyaman memiliki keuntungan distribusi tegangan yang lebih merata dan kekakuan arah-*plane*, sehingga meningkatkan kekuatan dan kekakuan struktural. Sebuah studi komprehensif menemukan bahwa serat anyaman mampu mengurangi titik lemah lokal (*hot spots*), sehingga meningkatkan kekuatan mekanik dan mengurangi variabilitas pengujian [5].

Penggunaan kombinasi serat bambu dan serat daun nanas (PALF) menunjukkan peningkatan hingga 111% pada kekuatan lentur dan 125,6% pada ketangguhan dampak setelah perlakuan alkali, menegaskan peran penting orientasi dan proporsi serat dalam

memodifikasi sifat mekanik [6]. Urutan lapisan pada *laminat hibrida* PALF/karbon sangat memengaruhi performa mekaniknya: lapisan karbon di luar memberikan kekuatan lentur tertinggi sebesar 289,46 MPa dan modulus elastis sebesar 4,82 GPa.[7]

Metode Penelitian

Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain cetakan spesimen, alat uji *bending*, dan alat uji dampak ditunjukkan pada Gambar 1, 2, dan 3.



Gambar 1. Cetakan Komposit

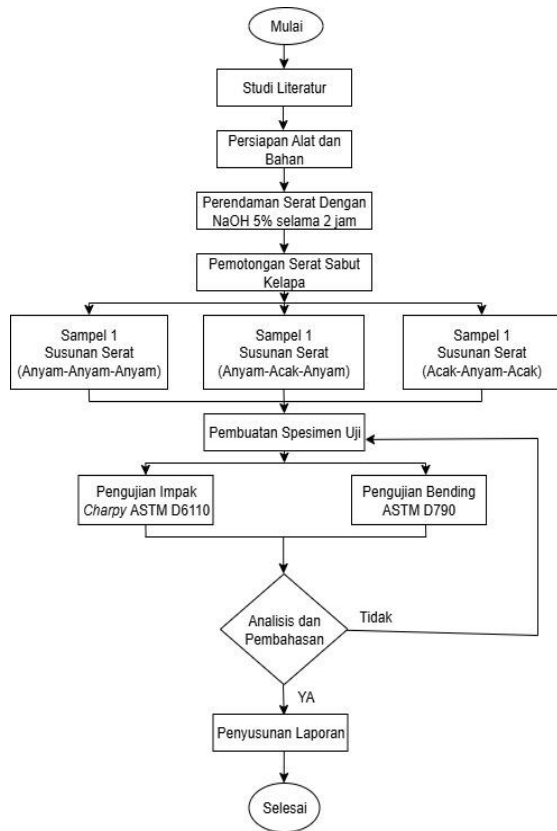


Gambar 2. Mesin Uji Bending



Gambar 3. Alat Uji Impak

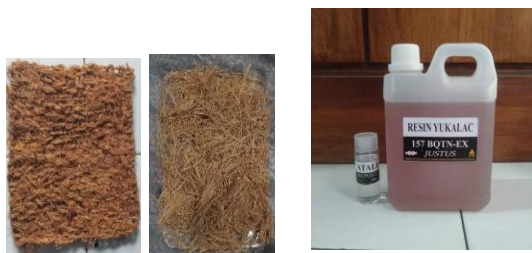
Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir

Bahan

Bahan yang digunakan serat sabut kelapa anyaman orientasi sudut $0^{\circ}/90^{\circ}$ dan acak orientasi panjang 20 mm. Matriks menggunakan *unsaturated polyester* 157 BQTN-EX dan katalis (*Methyl Ethyl Ketone Peroxide*) dapat dilihat pada gambar 1.



a.

b.

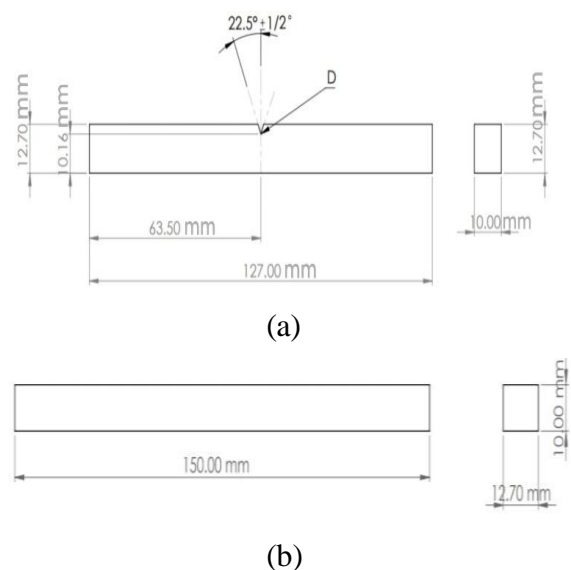
Gambar 5. Serat anyaman dan acak sabut kelapa (a), Resin *unsaturated polyester* BQTB-EX dan katalis MEPOXE (b)

Prosedur Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental langsung

untuk mencari pengaruh penambahan serat sabut kelapa pada komposit *laminat*. Serat sabut kelapa akan direndam NaOH 5% selama 2 jam dikeringkan dengan suhu 80° selama 3 jam. Proses selanjutnya serat dipotong berukuran 2 mm dan dianyam dengan sudut $0^{\circ}/90^{\circ}$ dengan resin yang digunakan *unsaturated polyester* resin 157 BQTN-EX dan katalis MEPOXE. dengan metode pembuatan *Hand Lay-Up*. Proses dimulai dengan pemotongan serat aren berukuran 2 mm dan diletakkan secara anyaman dan acak ke dalam cetakan sebanyak 3 lapis. *Unsaturred polyester* resin 157 BQTN-EX dan katalis MEPOXE sebanyak 2%.

Campuran resin kemudian dilapiskan secara merata pada lapisan serat sabut kelapa yang telah disusun di dalam cetakan. Proses pelapisan dilakukan hingga mencapai ketebalan sesuai standar. Setelah itu, tunggu sekitar 12 jam agar spesimen mengeras. Setelah proses ini, spesimen dilepaskan secara perlahan dari cetakan untuk menghindari kerusakan. Spesimen dipotong sesuai standar ASTM D6110 untuk pengujian impak, ASTM D790 untuk pengujian *bending* dan uji struktur makro. Dimensi dan rumus perhitungan spesimen sesuai standar pengujian ASTM D6110, ASTM D790 dapat dilihat pada gambar 2.



(a)

(b)

Gambar 6. ASTM D6110 (a) [8], ASTM D790 (b) [9]

Pengujian *bending* dilakukan untuk memperoleh nilai lengkung maksimal yang dapat diterima oleh komposit *laminat*. Nilai tegangan *bending* dapat dicari melalui persamaan (1) berikut [10].

$$\alpha f = \frac{3PL}{2bd^2} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

- σ_f = Tegangan lentur (N/mm²)
- P = Beban (N)
- L = Panjang span (mm)
- d = Tebal spesimen (mm)
- b = Lebar spesimen (mm)

Pengujian impact *charpy* menunjukkan banyaknya energi yang diserap oleh spesimen uji yang merupakan ukuran ketahanan impact atau ketangguhan bahan tersebut. Nilai energi serap dapat dicari melalui persamaan (2) berikut.

$$E_{srp} = m \cdot g \cdot R (\cos \beta - \cos \alpha) \dots (2)$$

Dimana:

- E_{srp} = Energi serap (Joule)
- m = Berat pendulum (kg)
- g = Gravitasi (9,81 m/s)
- R = Jarak lengan pengayun (m)
- $\cos \alpha$ = Sudut posisi awal pendulum (°)
- $\cos \beta$ = Sudut posisi akhir pendulum (°)

Nilai luas penampang dapat dicari melalui persamaan (3) berikut.

$$A = d \cdot b - Takik \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

- A = Luas penampang (mm²)
- d = Tebal spesimen (mm)

b = Lebar spesimen (mm)

Nilai ketangguhan impact dapat dicari melalui persamaan (4) berikut.

$$HI = \frac{E_{srp}}{A} \dots \dots \dots (1) \dots \dots (5)$$

Dimana:

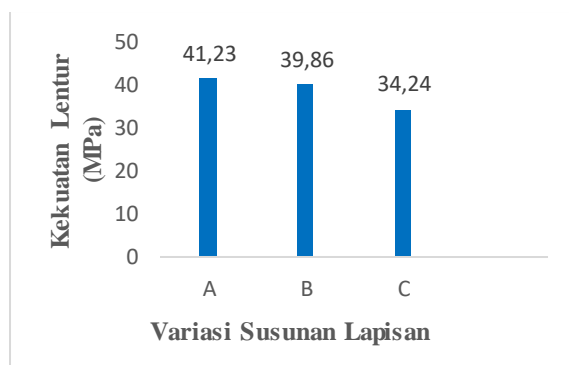
- HI = Harga impact (J/mm²)
- E_{srp} = Energi yang diserap (Joule)
- A = Luas penampang (mm²)

Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian dari komposit *laminat* tiga lapis memiliki variasi susunan (anyam-anyam-anyam); (anyam-anyam-anyam); (acak-anyam-acak). Perbandingan fraksi volume masing-masing variasi yang digunakan adalah 30% yaitu 90 cm³ serat bambu putih, 70% atau 210 cm³ resin *polyester*, volume keseluruhan komposit yaitu 300 cm³. Massa serat serat sabut kelapa sebesar 103,5 gr(3) dan masa resin sebesar 255,15 ml.

Pengujian *Bending*

Pengujian *bending* dilakukan untuk mengetahui kekuatan lentur spesimen. Metode dalam pengujian *bending* menggunakan *three point bending* yang terdapat dua tumpuan dan satu penekan. Dari hasil pengujian *bending* ini dihasilkan nilai tegangan lentur. Grafik hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 7.



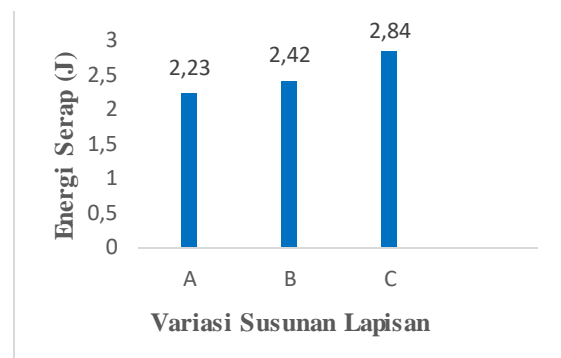
Gambar 7. Grafik Nilai Tegangan Lentur

Gambar 7. menunjukkan hasil foto makro pada komposit *laminat* variasi A untuk susunana laminat anyam-anyam-anyam, variasi B untuk susunan laminat anyam-acak-anyam, dan variasi C untuk susunan laminat acak-anyam-acak. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi anyam-anyam-anyam memiliki tegangan lentur rata-rata tertinggi sebesar 41,23 MPa,. Sementara itu, variasi acak-anyam-acak menunjukkan nilai egangan lentur paling rendah sebese 34,24 MPa. Temuan ini menunjukkan bahwa susunan serat sangat mempengaruhi sifat lentur komposit. Hal ini dikarenakan susunan anyam memungkinkan distribusi beban yang lebih merata dan memperkuat interaksi antar lapisan serat, sehingga meningkatkan kekakuan dan kekuatan mekanik [11]. Susunan yang teratur meningkatkan ikatan antar lapisan dan mendukung penyebaran beban secara merata. Demikian juga, serat kombinasi 0° dan 90° pada komposit serat goni memberikan kekuatan bending lebih tinggi dibandingkan dengan acak [12]. Ini mengindikasikan pentingnya susunan serat dalam menentukan kekuatan mekanik komposit. Pola anyaman serat bambu juga menghasilkan sifat mekanik yang unggul, terutama pada kekuatan lentur dan tarik. Anyaman *plain* memberikan nilai paling tinggi dibandingkan dengan pola serat acak [13].

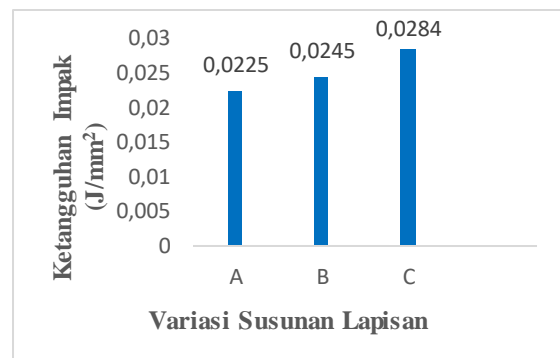
Penelitian lain juga menunjukkan bahwa arah serat 0°/90° memberikan nilai kekuatan lentur dan tarik yang optimal pada komposit berbasis serat alam, yang mendukung temuan dalam pengujian ini [14]. Berdasarkan bukti dari hasil pengujian ini serta dukungan dari literatur, dapat disimpulkan bahwa susunan serat berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kekuatan lentur komposit. Variasi anyam-anyam-anyam memberikan kekuatan paling tinggi karena pola serat teratur memberikan efek penguatan struktural yang maksimal.

Pengujian Ketangguhan Impak Charpy

Pengujian Impak *charpy* dilakukan untuk mengetahui nilai energi serap dan ketangguhan impak dari material komposit berpenguat serat karbon. Pengujian dilakukan dengan mesin impak charpy dengan panjang lengan 0,3928 m, massa pendulum sebesar 1,357 kg, percepatan gravitasi 9,81 m/s, dan sudut α 155°. Spesimen uji impak terdapat 3 variasi, setiap variasi dilakukan pengujian sebanyak 4 kali. Grafik hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 8 dan 9.



Gambar 8. Grafik Nilai Energi Serap



Gambar 9. Grafik Nilai Ketangguhan Impak

Gambar 7. menunjukan hasil foto makro pada komposit *laminat* variasi A untuk susunana laminat anyam-anyam-anyam, variasi B untuk susunan laminat anyam-acak-anyam, dan variasi C untuk susunan laminat acak-anyam-acak. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi susunan serat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai energi serap dan ketangguhan impak material. Susunan acak-anyam-acak

memiliki energi serap tertinggi sebesar 2,84 J dan memiliki ketangguhan impak tertinggi sebesar 0,0295 J/mm². Hal ini menunjukkan bahwa susunan serat acak-anyam-acak mampu menahan beban impak lebih baik, karena pola penyusunan yang tidak teratur mampu menyebarkan energi impak secara merata dan memperlambat propagasi retakan [15]). Selain itu, struktur kombinasi acak dan anyaman memperbesar mekanisme disipasi energi akibat mekanisme *pull-out* dan *matriks cracking* yang lebih kompleks [16].

Sebaliknya, susunan serat yang terlalu teratur seperti anyam-anyam-anyam menghasilkan ketangguhan impak yang lebih rendah, karena jalur propagasi retak menjadi lebih lurus dan kurang terhambat. Hal ini sesuai dengan penelitian [17] yang menyatakan bahwa orientasi serat yang terlalu homogen dapat menurunkan ketahanan material terhadap pembebanan mendadak. Susunan serat yang bervariasi berperan penting dalam menentukan perilaku mekanik komposit saat menerima beban impak. Oleh karena itu, kombinasi serat acak dan anyaman menjadi alternatif yang menjanjikan untuk meningkatkan ketangguhan material dalam aplikasi struktural yang rentan terhadap beban dinamis.

Kesimpulan

Susunan laminat terhadap performa mekanik komposit serat sabut kelapa memberikan pengaruh yang signifikan. Dari pengujian bending yang sudah dilakukan variasi anyam-anyam-anyam memiliki nilai tegangan lentur tertinggi yaitu dengan nilai rata-rata sebesar 41,23 MPa.. sedangkan hasil uji impak *charpy* menunjukkan bahwa energi serap dan ketangguhan impak tertinggi diperoleh pada spesimen dengan susunan acak-anyam-acak, dengan nilai rata-rata energi serap sebesar 2,84 J dan ketangguhan impak sebesar 0,0295 J/mm². Berdasarkan hasil tersebut variasi susunan serat lapisan berpengaruh signifikan

terhadap mekanisme patahan dan kemampuan penyebaran energi komposit.

Ucapan terimakasih

Peneliti memberikan apresiasi yang tinggi dan mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu proses penelitian secara maksimal hingga selesai.

Referensi

- [1] K. Boimau, J. M. Pell, J. S. Bale, and P. Woru, "Pengaruh Perlakuan Alkali Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Pplierter Berpenguat Serat Anyaman Batang Pisang," *Seminar Nasional Inovasi Teknologi UN PGRI Kediri, 24 Februari 2019*, 2019.
- [2] Pratama. Y. Y., R. H Setyanto, and I. IPriadythama, "Pengaruh Perlakuan Alkali, Fraksi Volume Serat, Dan Panjang Serat Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Serat Sabut Kelapa - Polyester," *Journal of Applied Mechanical Engineering and Renewable Energy (JAMERE) Vol. 3 No. 1 Februari 2023* 28 – 33, 2014.
- [3] F. M. Al-Oqla and S. M. Sapuan, "Natural fiber reinforced polymer composites in industrial applications: Feasibility of date palm fibers for sustainable automotive industry," *J Clean Prod.*, vol. 66, pp. 347–354, Mar. 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2013.10.050.
- [4] L. Onal and S. Adanur, "Effect of stacking sequence on the mechanical properties of glass-carbon hybrid composites before and after impact," *Journal of Industrial Textiles*, vol. 31, no. 4, pp. 255–272, 2002, doi: 10.1106/152808302028713.
- [5] D. R. Suharto, A. N. Setyo, and R. F. Listyanda, "Pengaruh Orientasi Sudut Anyam Serat Bambu Petung

- Terhadap Kekuatan Mekanik dan Sifat fisik,” *Majamecha Volume 6 Nomor 2 Desember 2024 Halaman 197 - 202*, vol. 6, 2024.
- [6] T. Srinag *et al.*, “Flexural and impact response of bamboo and pineapple leaf fiber reinforced composites using experimental and numerical techniques,” *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, vol. 18, no. 5, pp. 3383–3395, Jul. 2024, doi: 10.1007/s12008-023-01564-6.
- [7] M. K. R. Hashim, M. S. A. Majid, M. R. M. Jamir, F. H. Kasim, and M. T. H. Sultan, “The effect of stacking sequence and ply orientation on the mechanical properties of pineapple leaf fibre (Palf)/carbon hybrid laminate composites,” *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 3, pp. 1–24, 2021, doi: 10.3390/polym13030455.
- [8] ASTM D6110, “Test Method for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics,” Apr. 01, 2010, *ASTM International, West Conshohocken, PA*. doi: 10.1520/D6110-10.
- [9] ASTM D790, “Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials,” Jul. 01, 2017, *ASTM International, West Conshohocken, PA*. doi: 10.1520/D0790-17.
- [10] J. Oroh., P. F. Sappu, and R. Lumintang, “Analisis Sifat Mekanik Material Komposit Dari Serat Sabut Kelapa,” *Vol. 1 No. 1 (2012): Jurnal Poros Teknik Mesin Unsrat /*, 2012.
- [11] H. Taufiqurrahman, Sulardjaka, and N. Iskandar, “Pengaruh Fraksi Massa Dan Arah Orientasi Serat Terhadap Kekuatan Lentur Komposit Berpenguat Serat Rami Dengan Matriks Gondorukem,” 2022.
- [12] Sapoan;, Emmy Dyah S;, and I.DK. Oktavian, “Kekuatan Bending Dan Impact Papan Komposit Polyester Yang Dierkuat Serat Pandan Duri Dengan Variasi Sudut Anyam Serat Dan Jenis Filler,” *perpustakaan.ft.unram.ac.id/repository/JURNALKU*, 2018.
- [13] A. Kadir, Aminur, and Marzan, “Pengaruh Pola Anyaman Terhadap Kekuatan Tarik Dan Bending Komposit Berpenguat Serat Bambu,” *DINAMIKA Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 6, no. 1, 2014.
- [14] M. S. Faiz and N. S. Drastiawati, “Pengaruh Fraksi Volume dan Arah Serat Komposit Hibrid Fibre Metal Laminate (FML),” *JTM. Volume 9 No 1 Tahun 2021, 37-46*, no. Vol. 9 No. 01 (2021): *JURNAL TEKNIK MESIN*, 2021.
- [15] S. W. E. Utomo and Irfai. M. A, “Pengaruh Fraksi Volume Dan Arah Orientasi Serat Rami Komposit Hibrid Sandwich Fibre Metal Laminate (Fml) Berpenguat Serat Carbon Terhadap Kekuatan Impak,” 2021.
- [16] N. J. Azhari, R. Putra, M. Muhammad, A. Rahman, and Z. Zulmiardi, “Pengaruh Orientasi Arah Serat Terhadap Ketangguhan Impact Komposit Serat Daun Lidah Mertua dengan Metode Hand Lay-Up,” *Malikussaleh Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 8, no. 1, p. 183, Apr. 2024, doi: 10.29103/mjmst.v8i1.16462.
- [17] S. Priyandokohadi and C. A. Rizeki, “Analisa Pengaruh Orientasi Arah

Serat Terhadap Kekuatan Tarik Dan Impact Material Komposit Serat Alam (Serat Agave Dan Serat Sansivera),” *MEKANIKA-JURNAL TEKNIK MESIN*, vol. 4, no. 1, 2018.