

PENGARUH FRAKSI VOLUME KOMPOSIT BERPENGUAT SERAT KARBON-PELEPAH PISANG TERHADAP UJI IMPAK DAN UJI MAKRO

Yogi Nur Febriyanto

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: yogi.22062@mhs.unesa.ac.id

Mochamad Arif Irfa'i

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: arifirfai@unesa.ac.id

Abstrak

Permintaan performa tinggi, efisiensi energi, dan keberlanjutan lingkungan mendorong perubahan industri otomotif, di mana komposit hybrid dari serat karbon dan serat pelepah pisang—yang dimanfaatkan dari potensi hayati Indonesia—menjadi solusi atas keterbatasan material konvensional, menawarkan peningkatan sifat mekanik, pengurangan berat, efisiensi biaya, serta biodegradabilitas. Penelitian ini mengevaluasi pengaruh variasi komposisi dan susunan serat terhadap kekuatan impak serta pola kegagalan komposit untuk aplikasi bumper mobil, menggunakan metode kuantitatif-eksperimental dengan vacuum infusion, pengujian impak Charpy sesuai ASTM D 5942-96, dan analisis makro pola patahan ulet (ductile fracture) pada mesin Charpy serta mikroskop stereo, dilakukan Juni–Desember 2025 di laboratorium Universitas Negeri Surabaya dan Politeknik Negeri Malang. Hasil menunjukkan variasi komposisi memengaruhi performa mekanik, dengan kombinasi optimal pada Variasi 4 (27% serat karbon, 13% serat pelepah pisang, 60% resin; susunan bergantian) menghasilkan energi serap rata-rata 5,276 J, kekuatan impak 0,08032 J/mm², dan pola kegagalan dengan fiber pull-out, delaminasi, matrix cracking, serta fiber breakage secara simultan menandakan ketangguhan tertinggi, sementara Variasi 5 (29% karbon) paling rendah, dipengaruhi ketidakhomogenan diameter serat pelepah pisang, fabrikasi, susunan yang berbeda dan penyerapan resin.

Kata Kunci: Komposit hybrid, Serat pelepah pisang, Uji impak, Uji Makro, Vacuum infusion

Abstract

High performance, energy efficiency, and environmental sustainability demands are driving change in the automotive industry, where hybrid composites made from carbon fiber and banana fiber—utilizing Indonesia's biological potential—offer a solution to the limitations of conventional materials, providing improved mechanical properties, weight reduction, cost efficiency, and biodegradability. This study evaluates the effect of fiber composition and arrangement variations on the impact strength and failure patterns of composites for car bumper applications, using quantitative-experimental methods with vacuum infusion, Charpy impact testing in accordance with ASTM D 5942-96, and macro analysis of ductile fracture patterns on a Charpy machine and a stereo microscope, conducted from June to December 2025 at the laboratories of Surabaya State University and Malang State Polytechnic. The results show that composition variation affects mechanical performance, with the optimal combination in Variation 4 (27% carbon fiber, 13% banana fiber, 60% resin; alternating arrangement) producing an average energy absorption of 5.276 J, impact strength of 0.08032 J/mm², and a failure pattern with fiber pull-out, delamination, matrix cracking, and fiber breakage simultaneously indicating the highest toughness, while Variation 5 (29% carbon) was the lowest, influenced by the heterogeneity of banana fiber diameter, fabrication, different arrangements, and resin absorption.

Keywords: Hybrid composite, Banana fiber, Impact test, Macro test, Vacuum infusion

PENDAHULUAN

Permintaan terhadap performa yang tinggi, efisiensi energi, serta keberlanjutan lingkungan saat ini memicu perubahan besar dalam industri otomotif (Candela et al., 2024). Material komposit kini banyak diaplikasikan pada berbagai komponen otomotif, seperti bumper mobil, dan bagian lainnya (Hanifi et al., 2019). Penggunaan bumper mobil berbahan logam biasanya menyebabkan akselerasi kendaraan menjadi lebih lambat (Yudo et al., 2023). Keunggulan utama dari material komposit terletak pada kemampuannya untuk menggabungkan kekakuan, kekuatan, serta bobot yang ringan (Khan et al., 2024).

Komposit ialah material multifase yang biasanya terdiri dalam fase kontinu (matriks) dan fase yang

mengelilinginya (fase terdispersi), yang sengaja dibuat dengan menggabungkan keunggulan dari masing-masing fase penyusunnya (Tolédano, 2011). Matriks berfungsi sebagai bahan pengikat atau media untuk menjaga partikel agar tetap berada pada posisinya (Zakaria Reynaldi et al., 2022).

Serat karbon merupakan salah satu material komposit yang berasal dari dua atau lebih bahan penyusun dengan karakteristik fisik dan kimia yang berbeda, sehingga ketika digabungkan akan membentuk material baru dengan sifat yang berbeda dari bahan asalnya (Supriono & Wicaksono, 2022). Permasalahan utama penggunaan serat karbon terletak pada tingginya biaya bahan baku (Özsın & Pütün, 2018).

Indonesia memiliki kekayaan sumber daya alam yang sangat melimpah dan berpotensi besar untuk

dimanfaatkan, khususnya dalam hal serat alami (Kurniawan et al., 2020). Namun, pelepah pisang yang seharusnya dapat dimanfaatkan sebagai bahan bernilai ekonomi tinggi saat ini masih sering dianggap sebagai limbah (Nuruddin et al., 2019). Analisis komposisi menunjukkan bahwa serat pelepah pisang mengandung selulosa yang signifikan pada serat batang dan kulit pisang berpotensi digunakan sebagai bahan penguat komposit (Berutu et al., 2022).

Fraksi volume merupakan perbandingan antara volume bahan penguat dengan total volume komposit. Persentase volume ini mempengaruhi kinerja keseluruhan, kekakuan, serta kekuatan mekanik material komposit. Penggunaan metode vacuum infusion dalam proses pembuatan komposit sangat penting untuk menghasilkan material berkualitas tinggi dengan rasio resin dan serat yang optimal, terutama dalam aplikasi seperti bumper kendaraan. Pengujian dampak diperlukan karena peran bumper sebagai pelindung utama kendaraan yang pertama kali menerima energi tumbukan saat terjadi benturan. Dalam konteks ini, spesimen akan diuji struktur makronya setelah menerima perlakuan dampak untuk mengetahui penyebab kegagalan dalam material komposit. Namun, meskipun serat pelepah pisang memiliki banyak keunggulan, belum banyak penelitian yang secara spesifik mengkaji apakah serat ini realistis digunakan sebagai bahan penguat komposit dalam aplikasi struktural seperti bumper kendaraan, terutama jika dibandingkan dengan serat sintetis seperti karbon. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi dan keterbatasan serat pelepah pisang sebagai material komposit, baik dari segi kekuatan dampak maupun karakteristik kegagalannya, guna mengetahui sejauh mana material ini layak dan efektif digunakan dalam industri otomotif.

METODE

Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif. Penelitian ini menerapkan jenis penelitian eksperimental sebagai pendekatan utamanya. jenis penelitian eksperimental merupakan cara untuk mengidentifikasi adanya hubungan sebab-akibat antara beberapa variabel yang saling terkait pada perubahan fraksi volume serta lapisan untuk menentukan kombinasi yang menghasilkan kekuatan mekanik dan fisik terbaik.

Tempat dan Waktu Penelitian

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pengecoran Gedung A8, Universitas Negeri Surabaya.

Waktu Penelitian

Waktu yang digunakan untuk mengerjakan penelitian dimulai pada Juni 2025 – Desember 2025 hingga segala data dan analisa yang dibutuhkan terpenuhi.

Variabel Penelitian

Variabel Bebas

Pada penelitian ini, variabel bebas yang digunakan Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini yaitu variasi fraksi volume serat dan matriks dimana volume serat pelepah pisang: volume serat karbon: volume matriks perbandingan yang digunakan sebagai berikut

variasi 1 (V_R : 60%, V_{pp} : 22%, V_k : 18%)

variasi 2 (V_R : 60%, V_{pp} : 18%, V_k : 22%)

variasi 3 (V_R : 60%, V_{pp} : 15%, V_k : 25%)

variasi 4 (V_R : 60%, V_{pp} : 13 %, V_k : 27%)

variasi 5 (V_R : 60%, V_{pp} : 11%, V_k : 29%).

Variabel Terikat

- Uji Impak.
- Uji Makro.

Variabel Kontrol

- Matriks yang digunakan adalah resin epoksi.
- Menggunakan metode *vacuum infusion* dengan tekanan 1 pk.
- Menggunakan susunan serat karbon-serat pelepah pisang-serat pelepah pisang-serat karbon pada variasi 1, 3, 5 & serat karbon-serat pelepah pisang-serat karbon-serat pelepah pisang-serat karbon pada variasi 2, 4.
- Dimensi specimen sesuai standar ASTM D 5942-96.
- Menggunakan serat karbon anyam polos dan serat pelepah pisang dengan orientasi serat 90° dan 0°.
- Perlakuan alkalisasi pada serat pelepah pisang dengan NaOH selama 2 jam.
- Proses pengeringan serat pelepah pisang menggunakan oven dengan suhu 100°C selama 1 jam

Teknik Pengumpulan Data

Pre-Processing

- Studi Literatur dan Identifikasi Variabel
- Pengumpulan Data serat dan Spesifikasi serat

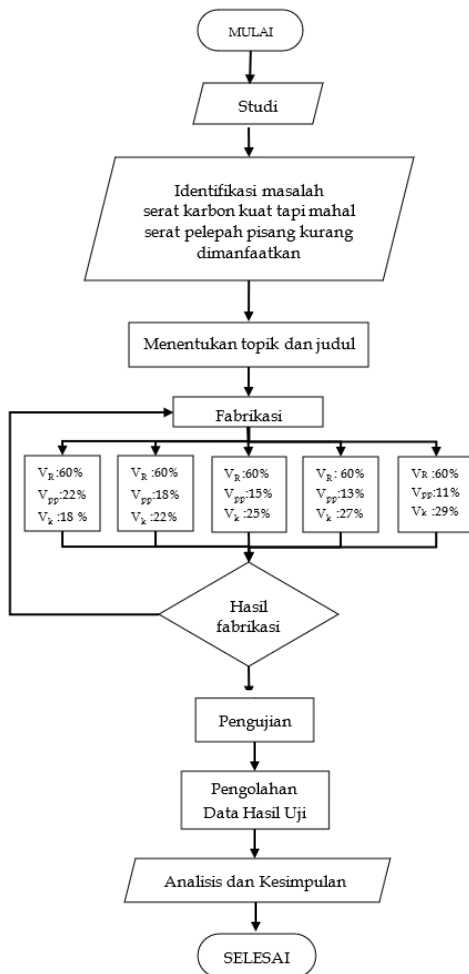
Processing

- Simulasi fabrikasi *vacuum infusion*
- Analisis Hasil Simulasi dan Penentuan ketebalan
- Uji Eksperimen fraksi volume

Post Processing

- Validasi Hasil

Flow Chart Penelitian



Gambar 1 Flowchart Penelitian

Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh melalui metode ini merupakan data yang valid karena didapatkan secara langsung dari hasil pengujian. Validitas data tersebut memberikan dasar yang kuat untuk melakukan analisis lebih lanjut. Analisis data sangat penting dilakukan guna mengolah dan menginterpretasikan hasil uji sehingga dapat memberikan gambaran yang jelas tentang kinerja material yang diteliti. Analisis data menggunakan rumus yang berlaku pada uji impact dan uji makro pada komposit. Melalui analisis, peneliti dapat mengevaluasi apakah material komposit yang diuji mampu memenuhi tujuan dan kriteria yang telah ditetapkan dalam penelitian. Selain itu, analisis ini berfungsi sebagai indikator untuk menilai tingkat keberhasilan penelitian yang dilakukan. Oleh karena itu, data yang telah dikumpulkan kemudian disajikan dalam bentuk tabel guna mempermudah pembacaan, perbandingan, dan interpretasi hasil secara sistematis dan terstruktur dalam bentuk grafik.

Data yang diperoleh setelah pengujian dihitung menurut persamaan sesuai dengan standart ASTM.

Rumus Energi Impak

$$W = m g R (\cos\beta - \cos\alpha)$$

Keterangan:

W = energi yang diserap benda uji (J)

M = berat pendulum (N)

R = jarak pendulum ke pusat rotasi (m)

B = sudut pendulum akhir

α = sudut pendulum awal

g = gravitasi bumi

Rumus Kekuatan Impak

$$I = \frac{W}{b_i \times h_i}$$

Keterangan

I = Harga Impak (J/mm)

W = energi yang diserap benda uji (J)

B_i = lebar benda uji impact (mm)

H_i = tebal benda uji impact (mm)

Fraksi Volume (Suartama et al., 2020)

$$V_f = V_{\text{serat}}\% \times V_{\text{cetak}}$$

$$M_f = \rho_f \times V_f$$

$$V_m = V_m\% \times V_{\text{cetak}}$$

Keterangan :

V_f = Volume serat (cm³)

V_{serat}% = Volume serat (%)

V_{cetak} = Volume cetakan (cm³)

M_f = Massa serat (gr)

ρ_f = Massa jenis serat (gr/cm³)

V_m = Volume resin (cm³)

V_m% = Volume resin (%)

$$V_{pp} = \frac{V_{pp}\%}{100\%} \times V_f$$

$$V_k = \frac{V_k\%}{100\%} \times V_f$$

Keterangan :

V_{pp} = Volume serat pelepah pisang (cm³)

V_{pp}% = Volume serat pelepah pisang (%)

V_k = Volume serat karbon (cm³)

V_k% = Volume serat karbon (%)

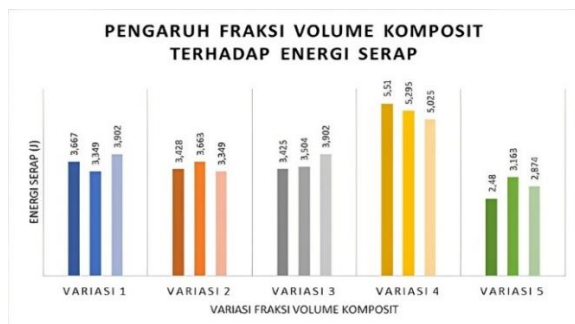
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Impak

Table 1 Data Hasil Pengujian

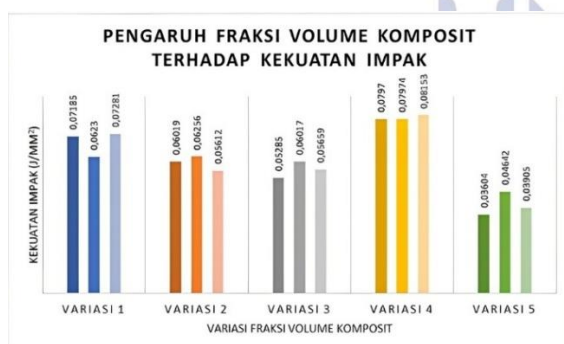
No	Variasi	Note	Sudut Awal (α)(°)	Sudut Akhir (β)(°)	Energi Serap (J)	Kekuatan Impak (J/mm ²)
1	Karbon 18% –	V1S1	120,0	115,3	3,667	0,07185
2	Pelepah Pisang 22%	V1S2	120,0	115,7	3,349	0,06230
3	– Resin 60%	V1S3	120,0	115,0	3,902	0,07281
4	Karbon 22% –	V2S1	120,0	115,6	3,428	0,06019
5	Pelepah Pisang 18%	V2S2	120,0	115,3	3,663	0,06256
6	– Resin 60%	V2S3	120,0	115,7	3,349	0,05612
7	Karbon 25% –	V3S1	120,0	115,6	3,425	0,05285
8	Pelepah Pisang 15%	V3S2	120,0	115,5	3,504	0,06017
9	– Resin 60%	V3S3	120,0	115,0	3,902	0,05659
10	Karbon 27% –	V4S1	120,0	113,0	5,510	0,07970
11	Pelepah Pisang 13%	V4S2	120,0	112,2	5,295	0,07974
12	– Resin 60%	V4S3	120,0	113,4	5,025	0,08135
13	Karbon 29% –	V5S1	120,0	116,8	2,480	0,03604
14	Pelepah Pisang 11%	V5S2	120,0	115,9	3,163	0,04642
15	– Resin 60%	V5S3	120,0	116,3	2,874	0,03905

Pada tabel 4.1 didapatkan hasil energi serap dan kekuatan impact perbedaan campuran serat terhadap fraksi volume yang berbeda pada material komposit hibrid memiliki pengaruh pada hasil nilai (Widodo et al., 2022). Saat pengujian impact menggunakan pendulum seberat 8,3 kg dengan panjang lengan 62cm serta sudut awal 120°.



Grafik 1 Nilai Energi Serap

Pada grafik 1 terlihat bahwa nilai rata-rata energi serap pada Variasi 1, 2, dan 3 berada pada kisaran 3,4–3,9 J, sedangkan Variasi 4 menunjukkan rata-rata tertinggi sekitar 5,49–5,62 J, dan Variasi 5 menjadi yang terendah dengan rata-rata hanya 2,79–3,16 J. Variasi 1, 3, dan 5 menggunakan susunan karbon–pisang–pisang–karbon, sedangkan Variasi 2 dan 4 menggunakan susunan karbon–pisang–karbon–pisang–karbon–pisang, di mana susunan pada Variasi 2 dan terutama Variasi 4 terbukti meningkatkan distribusi tegangan dan memperkuat mekanisme penyerapan energi (Tamilarasan & Inbanaathan, 2019). Dengan demikian, nilai energi serap tertinggi terdapat pada Variasi 4, sedangkan yang terendah pada Variasi 5, menunjukkan bahwa keseimbangan komposisi serat dan susunan laminasi berpengaruh besar terhadap performa komposit (Batu & Lemu, 2020).



Grafik 2 Nilai Kekuatan Impak

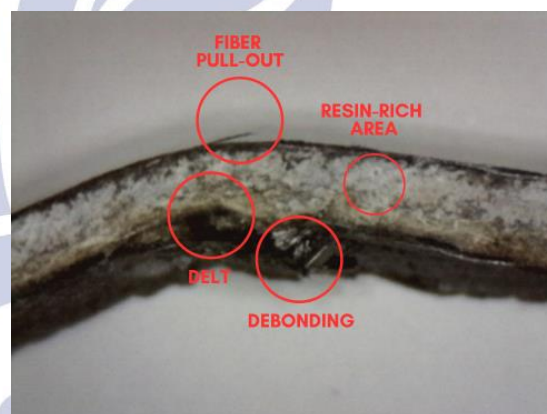
Grafik 2 menunjukkan bahwa variasi 1, 2, dan 3 memiliki nilai rata-rata pada kisaran 0,060–0,072 J/mm², sedangkan variasi 4 memiliki nilai tertinggi dengan rata-rata sekitar 0,079–0,081 J/mm², dan variasi 5 menunjukkan nilai paling rendah dengan rata-rata hanya 0,039–0,040 J/mm². Spesimen dengan penampang lebih kecil akan menghasilkan nilai impact yang lebih besar karena energi dibagi

oleh luas yang lebih kecil, sedangkan penampang lebih besar akan menurunkan nilai impactnya meskipun energi serap totalnya sama (Widodo et al., 2022).

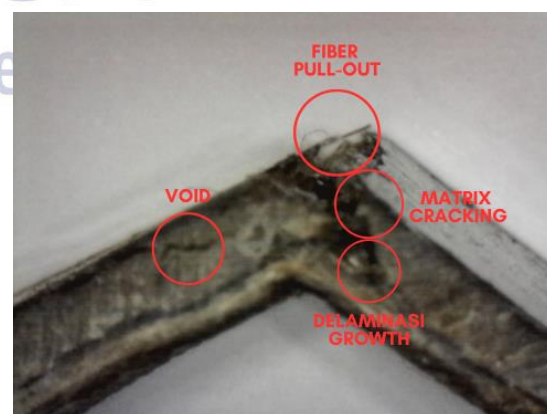
Analisis Data Hasil Uji Impact

Energi serap menunjukkan besarnya energi yang mampu diserap material sebelum mengalami kegagalan akibat beban tumbukan, sehingga semakin tinggi energi serap yang dimiliki material maka semakin tinggi pula kekuatan impactnya (Marthiana et al., 2022). Selain itu, energi yang diterima selama proses impact tidak seluruhnya menyebabkan kerusakan, melainkan sebagian didisipasikan melalui mekanisme peredaman seperti deformasi matriks, delaminasi, gesekan internal, debonding, dan fiber pull-out. Oleh karena itu, material dengan energi serap yang tinggi umumnya memiliki kemampuan peredaman yang lebih baik karena mampu mereduksi dan mendistribusikan energi tumbukan secara efektif, sehingga mencegah terjadinya kegagalan secara tiba-tiba. Kondisi ini menjelaskan perbedaan nilai antar spesimen pada satu variasi meskipun pengujian dilakukan dengan beban dan metode yang sama.

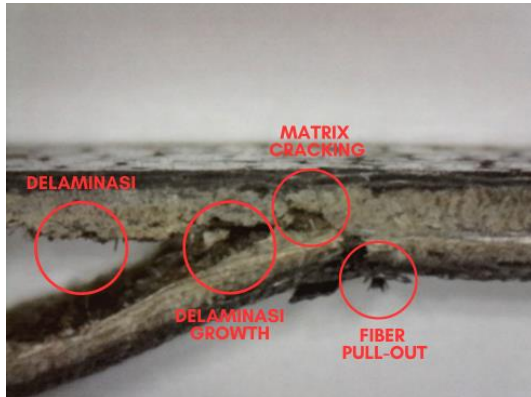
Hasil Pengujian Makro



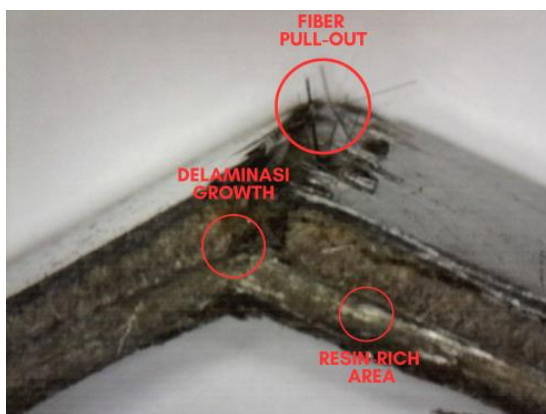
Gambar 1 Komposisi Karbon 18%, Pelepah Pisang 22%, dan Resin 60%



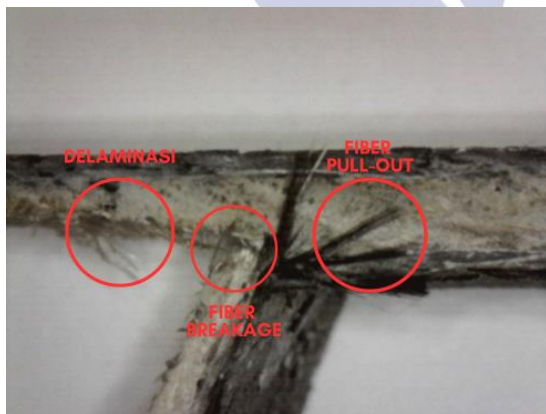
Gambar 2 Komposisi Karbon 22%, Pelepah Pisang 18%, dan Resin 60%



Gambar 3 Komposisi Karbon 25%, Pelepah Pisang 15%, dan Resin 60%



Gambar 4 Komposisi Karbon 27%, Pelepah Pisang 13%, dan Resin 60%



Gambar 5 Komposisi Karbon 29%, Pelepah Pisang 11%, dan Resin 60%

Analisis Hasil Foto Makro

Lapisan serat karbon merupakan lapisan penguat paling dominan dan memiliki ketahanan tertinggi terhadap beban impact. Hal ini ditunjukkan setelah terjadinya patahan, serta perannya dalam menahan dan memperlambat perambatan retak keberadaan lapisan serat karbon berperan penting tidak hanya sebagai elemen penahan beban utama, tetapi juga dalam memperbaiki mekanisme patahan dengan mengarahkan dan menyalurkan energi impact secara lebih merata ke seluruh struktur komposit, sehingga mengurangi konsentrasi tegangan lokal. Pada berbagai

variasi, retak umumnya diawali oleh retak matriks dan delaminasi antar-lapis, kemudian berkembang menuju antarmuka serat–matriks dan diakhiri dengan fiber pull-out maupun patah parsial serat. Mekanisme kegagalan yang melibatkan kombinasi retak matriks, debonding, delaminasi, dan penarikan serat menunjukkan bahwa material menyerap energi impact secara bertahap sebelum mengalami keruntuhan total. Karakteristik tersebut merupakan ciri khas patahan ductile (Irandoost, 2024)

Dari 5 variasi yang telah ditentukan variasi 1 menjadi variasi paling baik untuk pengaplikasian bumper karena mengalami kegagalan terbaik pada spesimen, memiliki nilai energi serap dan kekuatan impact yang relatif tinggi, serta menggunakan fraksi serat karbon paling rendah sehingga mampu memenuhi kebutuhan ketahanan tumbukan sekaligus meningkatkan efisiensi biaya produksi.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi komposisi dan susunan serat memberikan pengaruh signifikan terhadap performa mekanik material. Kombinasi terbaik terdapat pada Variasi 4 dengan komposisi 27% serat karbon, 13% serat pelepah pisang, dan 60% resin, serta susunan lapisan serat karbon–serat pelepah pisang–serat karbon–serat pelepah pisang–serat karbon yang menghasilkan energi serap rata-rata 5.276 J dan kekuatan impact rata-rata 0.08032 J/mm. Sebaliknya, Variasi 5 menunjukkan nilai terendah dengan energi serap rata-rata 2.839 J dan kekuatan impact rata-rata 0.04050 J/mm² meskipun memiliki persentase karbon tertinggi (29%). Pada tingkat makro, susunan serat karbon–serat pelepah pisang–serat karbon–serat pelepah pisang–serat karbon pada Variasi 2 dan 4 memberikan performa mekanik yang lebih baik dibandingkan susunan serat karbon–serat pelepah pisang–serat pelepah pisang–serat karbon pada Variasi 1, 3, dan 5. Observasi makro juga mendukung hal ini dengan variasi intensitas kerusakan seperti *fiber pull-out*, *delaminasi*, *matrix cracking*, *fiber breakage* dan *debonding* pada sampel yang merupakan ciri khas patahan ductile, serat karbon menunjukkan pengaruh besar dari distribusi serat terhadap performa akhir komposit.

SARAN

1. Variasi penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada pengaturan proporsi serat yang lebih beragam untuk memperoleh pemahaman yang lebih jelas mengenai pengaruh fraksi volume serat terhadap sifat impact komposit.
2. Penambahan variasi susunan atau urutan lapisan serat disarankan untuk mengidentifikasi konfigurasi ikatan antarlapis yang paling optimal.
3. Untuk memahami hubungan antara karakteristik kerusakan makro dan performa material secara lebih mendalam, disarankan dilakukan analisis mikro tambahan, serta uji mekanik lanjutan.
4. Modifikasi orientasi serat perlu dipertimbangkan untuk mengoptimalkan mekanisme fiber bridging

dalam meningkatkan ketahanan terhadap perambatan retak.

5. Proses pengolahan serat pelepah pisang yang memerlukan waktu lama dan penanganan rumit perlu dikaji kembali agar lebih efisien dan konsisten.
6. Potensi kecacatan selama proses fabrikasi menggunakan metode vacuum infusion, serta efisiensi penggunaan resin, perlu menjadi perhatian. Penambahan variasi susunan untuk mengetahui ikatan terbaik antar lapisan.

DAFTAR PUSTAKA

- Batu, T., & Lemu, H. G. (2020). Investigation of mechanical properties of false banana/glass fiber reinforced hybrid composite materials. *Results in Materials*, 8(November), 100152. <https://doi.org/10.1016/j.rinma.2020.100152>
- Berutu, F. L., Dewi, R., Muhammad, M., Ginting, Z., & ZA, N. (2022). BIOFOAM BERBAHAN PATI SAGU (Metroxylon rumphii m) DENGAN BAHAN PENGISI (FILLER) SERAT BATANG PISANG DAN KULIT PISANG MENGGUNAKAN METODE THERMOPRESSING. *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, 2(1), 61. <https://doi.org/10.29103/cejs.v2i1.6420>
- Candela, A., Sandrini, G., Gadola, M., Chindamo, D., & Magri, P. (2024). Lightweighting in the automotive industry as a measure for energy efficiency: Review of the main materials and methods. *Heliyon*, 10(8), e29728. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29728>
- Hanifi, R., Dewangga, G., Kasiadi, K., & Widiyanto, E. (2019). Analisis Material Komposit Berbasis Serat Pelepah Kelapa Sawit Dan Matriks Polypropylene Sebagai Bahan Pembuatan Bumper Mobil. *Gorontalo Journal of Infrastructure and Science Engineering*, 2(2), 15. <https://doi.org/10.32662/gojise.v2i2.712>
- Irandoost, K. (2024). A mini-review on ductile fracture mechanism of cracked / notched composite elements. 6, 1–4.
- Khan, F., Hossain, N., Mim, J. J., Rahman, S. M., Iqbal, M. J., Billah, M., & Chowdhury, M. A. (2024). Advances of composite materials in automobile applications – A review. *Journal of Engineering Research (Kuwait)*, February. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.02.017>
- Kurniawan, A., Widi, K. A., Uhib, M. A., Saskara, P. S., Dwipayana, M. A., Wijaya, G. N. R., Rizaldi, A., & Arisudana, P. W. S. P. (2020). Studi Penyerapan Energi Beban Kejut Laminasi Komposit Epoxy-Karet. *Jurnal Flywheel*, 11(2), 1–5. <https://doi.org/10.36040/flywheel.v11i2.2843>
- Marthiana, W., Mesin, T., & Teknologi, F. (2022). *Kaji Eksperimental Kekuatan Tarik dan Kekuatan Impak Komposit Serbuk Sabut*. 1, 76–80.
- Nuruddin, M., Santoso, R. A., & Hidayati, R. A. (2019). Desain Komposisi Bahan Komposit yang Optimal Berbahan Baku Utama Limbah Ampas Serat Tebu (Baggase). *Prosiding Seminar Nasional Teknoka*, 3(2502), 53. <https://doi.org/10.22236/teknoka.v3i0.2915>
- Özsin, G., & Pütün, A. E. (2018). Pitch based carbon fiber production. In *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* (Vol. 33, Issue 4, pp. 1433–1444). <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.4164440>
- Suartama, I. P. G., Nugraha, I. N. P., & Dantes, K. R. (2020). Pengaruh Fraksi Volume Serat Terhadap Sifat Mekanis Komposit Matriks Polimer Polyester Diperkuat Serat Pelepah Gebang. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 4(1). <https://doi.org/10.23887/jjtm.v4i1.8312>
- Supriono, A. D., & Wicaksono, D. (2022). *Analisa Kekuatan Polypropilene Dengan Campuran Serat*. 8(2), 251–256.
- Tamilarasan, U., & Inbanaathan, P. V. (2019). Mechanical property evaluation of banana jute fibre along with carbon fibre epoxy composite material. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 8(6 Special Issue 3), 1464–1470. <https://doi.org/10.35940/ijeat.F1261.0986S319>
- Tolédano, J.-C. (2011). The structure of crystalline solids. In *Physical Basis of Plasticity in Solids*. https://doi.org/10.1142/9789814374064_0002
- Widodo, L., Priyanto, K., & Margono, B. (2022). Analisis Ketangguhan Impak Komposit Polyester Berpenguat Serat Daun Nanas Berdasarkan Jenis Anyaman. *Teknika*, 7(4), 217–227. <https://doi.org/10.52561/teknika.v7i4.207>
- Yudo, E., Adha, A., Subhan, M., & Yuliyanto, Y. (2023). Pengaruh Curing Time Terhadap Material Komposit Serat Kulit Jagung Sebagai Alternatif Bumper Mobil. *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, 15(02), 159–166. <https://doi.org/10.33504/manutech.v15i02.275>
- Zakaria Reynaldi, I., Sehonon, S., & Rizki Putra, I. (2022). Analisis Kekuatan Tarik Dan Bending Dari Komposit Serat Pelepah Pisang Menggunakan Metode Hand Lay Up Dengan Variasi Perbandingan Berat. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 8(1), 152–159. <https://doi.org/10.56521/teknika.v8i1.600>