



PENGARUH VARIASI KOMPOSISI SERAT DAUN NANAS TERHADAP KEKUATAN IMPACT KOMPOSIT HYBRID BERLAPIS SERAT KARBON SPAKBOR SEPEDA MOTOR

Amelia Putri¹⁾

¹⁾ Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia
Email: amelia.22050@mhs.unesa.ac.id

Abstract

This study analyzes the effect of varying pineapple leaf fiber (PALF) compositions on the impact strength of carbon fiber-reinforced hybrid composites intended for motorcycle fender applications. The composites were fabricated using the hand lay-up method with an epoxy resin matrix and a carbon–PALF–carbon stacking sequence. PALF compositions of 30%, 50%, and 70% of the total reinforcement fraction were utilized, maintaining a resin-to-fiber ratio of 60:40. Impact testing was conducted using the Charpy method in accordance with ASTM D6110. The results indicate that PALF composition influences the composite's impact strength. The 30% PALF composition yielded the highest values, with an average impact energy of 21.331 J and an impact strength of 0.400 J/mm², followed by the 50% PALF composition (19.782 J and 0.308 J/mm²) and the 70% PALF composition (18.133 J and 0.252 J/mm²). The decrease in impact strength at higher PALF compositions is attributed to uneven fiber wetting by the resin, which weakened the fiber-matrix bond and promoted cracking, delamination, and fiber pull-out. Consequently, the composite with 30% PALF demonstrated the best impact performance. However, further research involving improved control of the fabrication process is required to obtain more accurate and representative results.

Keywords: Hybrid Composites, Pineapple Leaf Fiber (PALF), Carbon Fiber, Epoxy Resin, Hand Lay-Up.

Abstrak

Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi komposisi pineapple leaf fiber (PALF) terhadap kekuatan impact komposit hybrid berlapis serat karbon untuk aplikasi spakbor sepeda motor. Komposit dibuat dengan metode hand lay-up menggunakan matriks resin epoksi dan susunan karbon–PALF–karbon. Variasi komposisi PALF yang digunakan adalah 30%, 50%, dan 70% dari total fraksi penguat, dengan rasio resin terhadap serat 60:40. Pengujian impact dilakukan menggunakan metode Charpy berdasarkan ASTM D6110. Hasil menunjukkan bahwa komposisi PALF berpengaruh terhadap kekuatan impact komposit. Variasi PALF 30% memberikan nilai tertinggi dengan energi impact rata-rata 21,331 J dan harga impact 0,400 J/mm², diikuti PALF 50% sebesar 19,782 J dan 0,308 J/mm², serta PALF 70% sebesar 18,133 J dan 0,252 J/mm². Penurunan kekuatan impact pada komposisi PALF yang lebih tinggi disebabkan oleh pembasahan serat oleh resin yang kurang merata sehingga ikatan serat–matriks melemah dan memicu retak, delaminasi, serta fiber pull-out. Dengan demikian, komposit dengan PALF 30% menunjukkan performa impact terbaik. Namun, penelitian lanjutan dengan pengendalian proses fabrikasi yang lebih baik masih diperlukan untuk memperoleh hasil yang lebih akurat dan representatif.

Kata Kunci: Hybrid Composites, Pineapple Leaf Fiber (PALF), Carbon Fiber, Epoxy Resin, Hand Lay-Up.



PENDAHULUAN

Setiap komponen kendaraan memiliki peran penting dalam mendukung keselamatan dan kenyamanan pengendara, salah satunya adalah spakbor sepeda motor. Spakbor berfungsi melindungi pengendara dan komponen kendaraan dari percikan air, lumpur, pasir, maupun kerikil saat kendaraan digunakan. Oleh karena itu, material spakbor harus memiliki sifat ringan, mudah dibentuk, dan mampu menahan benturan ringan selama pemakaian. Pada umumnya, spakbor sepeda motor dibuat dari plastik konvensional seperti ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) atau polipropilena karena ringan dan mudah diproduksi (Jakubowicz & Yarahmadi, 2024). Namun, material tersebut masih memiliki kekurangan, terutama pada ketahanan terhadap benturan dan tekanan, serta kurang ramah lingkungan karena sulit terurai secara alami (Kumar Vishwakarma et al., 2017). Keterbatasan tersebut mendorong perlunya pengembangan material alternatif yang lebih kuat, ringan, dan ramah lingkungan untuk aplikasi spakbor sepeda motor, salah satu material alternatif yang dapat dikembangkan adalah material komposit.

Komposit merupakan material yang tersusun dari dua atau lebih bahan penyusun yang memiliki sifat berbeda, sehingga menghasilkan material baru dengan sifat mekanik dan fisik yang lebih baik (Ii & Pustaka, n.d.). Secara umum, komposit terdiri dari matriks dan bahan penguat. Matriks berfungsi sebagai pengikat dan penyalur beban, sedangkan bahan penguat berfungsi meningkatkan kekuatan material (Arni et al., 2023). Dalam bidang otomotif, komposit banyak dikembangkan karena memiliki keunggulan berupa bobot ringan, kekuatan yang baik, serta dapat dirancang sesuai kebutuhan aplikasi. Pengembangan komposit juga dapat dilakukan dengan menggabungkan lebih dari satu jenis serat penguat, yang dikenal sebagai komposit hybrid (Dosoputranto et al., 2021). Dengan keunggulan tersebut, komposit hybrid berpotensi digunakan sebagai alternatif pengganti material plastik konvensional pada spakbor sepeda motor.

Komposit hybrid merupakan komposit yang menggabungkan dua atau lebih jenis serat dalam satu matriks untuk memperoleh sifat material yang lebih optimal (Lesmana et al., 2025). Dalam penelitian ini, serat yang digunakan adalah serat karbon dan serat daun nanas. Serat karbon dipilih karena memiliki kekuatan tarik, kekakuan, ketahanan benturan yang baik, serta bobot yang ringan, sehingga sesuai digunakan pada komponen otomotif (Razibi et al., 2017). Pada penelitian ini, serat karbon digunakan sebagai lapisan penguat luar dengan susunan karbon-serat daun nanas-karbon. Sementara itu, serat daun nanas atau Pineapple Leaf Fiber (PALF) merupakan serat alam yang berasal dari limbah daun tanaman nanas, memiliki sifat ringan, mudah diperoleh, ekonomis, dan lebih ramah lingkungan (L. Widodo et al., 2022). Kombinasi serat karbon dan serat daun nanas diharapkan mampu menghasilkan komposit hybrid yang kuat, ringan, dan lebih ramah lingkungan.

Meskipun serat daun nanas memiliki potensi sebagai bahan penguat komposit, sifat mekaniknya masih lebih rendah dibandingkan serat karbon. Oleh karena itu,

penggunaan serat daun nanas perlu dikombinasikan dengan serat karbon agar komposit yang dihasilkan tetap memiliki kekuatan yang baik (Hadi et al., 2016). Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Xiao et al., 2025) membahas perilaku *low-velocity impact* pada komposit hybrid berbasis serat karbon dan serat daun nanas (Pineapple Leaf Fiber/PALF) untuk aplikasi otomotif. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kombinasi serat sintetis dan serat alam memiliki potensi untuk menghasilkan material komposit hybrid yang ringan dan mampu menahan beban benturan. Penelitian tersebut memperkuat bahwa penggunaan serat karbon dan serat daun nanas dalam satu struktur komposit dapat dikembangkan sebagai material alternatif pada bidang otomotif. Namun, penelitian mengenai variasi komposisi serat daun nanas pada komposit hybrid berlapis serat karbon untuk aplikasi spakbor sepeda motor masih perlu dilakukan.

Dalam penelitian ini, perbandingan 60:40 menunjukkan komposisi antara resin epoksi dan total serat penguat. Resin epoksi digunakan sebesar 60% dari volume cetakan, sedangkan total serat penguat digunakan sebesar 40%. Total serat penguat tersebut bukan hanya terdiri dari PALF, tetapi merupakan gabungan antara serat karbon dan serat daun nanas atau PALF. Oleh karena itu, variasi PALF 30%, 50%, dan 70% dihitung dari total serat 40%, bukan dari keseluruhan volume cetakan. Dengan kata lain, bagian serat sebesar 40% dibagi lagi menjadi dua, yaitu PALF dan serat karbon, sesuai dengan variasi yang telah ditentukan.

Kekuatan impact dipilih karena spakbor sepeda motor dapat terkena benturan ringan saat digunakan, misalnya dari kerikil, benda kecil di jalan, atau tekanan tertentu. Melalui pengujian impact, kemampuan komposit dalam menahan benturan dapat diketahui dari nilai energi impact dan harga impact. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui variasi serat daun nanas yang memiliki kekuatan impact paling baik, sehingga dapat menjadi alternatif bahan spakbor sepeda motor yang ringan, kuat, dan lebih ramah lingkungan.

TINJAUAN PUSTAKA

Komposit Hybrid

Komposit merupakan material yang tersusun atas dua atau lebih material penyusun yang memiliki sifat berbeda, yaitu matriks dan penguat (*reinforcement*), sehingga menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan material penyusunnya secara terpisah. Matriks berfungsi sebagai pengikat, pelindung serat, serta media untuk mendistribusikan beban, sedangkan serat berperan sebagai komponen utama menahan beban. Kombinasi kedua komponen tersebut menghasilkan material dengan karakteristik ringan, kuat, tahan korosi, dan memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi sehingga banyak dimanfaatkan pada industri otomotif, kedirgantaraan, dan konstruksi.

Komposit hybrid merupakan pengembangan dari komposit serat tunggal dengan menggabungkan dua atau lebih jenis serat yang memiliki karakteristik berbeda dalam satu matriks. Tujuan penggunaan komposit hybrid adalah memperoleh keseimbangan antara sifat mekanik, biaya



produksi, dan aspek keberlanjutan. Penggabungan serat sintetis seperti serat karbon dengan serat alam seperti *pineapple leaf fiber* (PALF) diharapkan mampu meningkatkan performa mekanik sekaligus mengurangi penggunaan material sintetis yang sulit terurai.

Prinsip utama komposit hybrid adalah memanfaatkan keunggulan masing-masing jenis serat. Serat karbon memiliki kekuatan dan kekakuan yang sangat tinggi, sedangkan PALF memiliki massa jenis rendah, mudah diperoleh, serta bersifat ramah lingkungan. Dengan konfigurasi yang tepat, komposit hybrid mampu memberikan ketahanan terhadap beban tarik, lentur, maupun impact yang lebih baik dibandingkan penggunaan serat alam secara tunggal.

Serat Daun Nanas (*Pineapple Leaf Fiber*)

PALF merupakan salah satu serat alam yang berasal dari limbah daun tanaman nanas (*Ananas comosus*). Serat ini memiliki kandungan selulosa yang tinggi sehingga mampu memberikan kekuatan mekanik yang baik ketika digunakan sebagai penguat komposit. Selain itu, PALF memiliki densitas yang rendah sehingga sangat sesuai untuk aplikasi yang membutuhkan material ringan.

Keunggulan PALF antara lain mudah diperoleh, berasal dari sumber daya terbarukan, memiliki biaya produksi yang relatif rendah, serta ramah lingkungan. Kandungan selulosa yang tinggi menyebabkan serat memiliki kekuatan tarik yang cukup baik dibandingkan beberapa serat alam lainnya seperti serat pisang dan serat sabut kelapa. Oleh karena itu, PALF mulai banyak digunakan sebagai alternatif penguat komposit pada komponen otomotif, panel bangunan, hingga produk berbasis biomaterial.

Meskipun demikian, PALF juga memiliki beberapa kelemahan. Sifat hidrofilik menyebabkan serat mudah menyerap air sehingga dapat menurunkan kualitas ikatan dengan matriks polimer. Selain itu, permukaan serat yang kurang kompatibel dengan resin dapat menyebabkan terbentuknya rongga (void) dan menurunkan sifat mekanik komposit apabila proses fabrikasi tidak dilakukan secara optimal.

Serat Karbon

Serat karbon merupakan salah satu jenis serat sintetis yang memiliki kekuatan tarik dan modulus elastisitas sangat tinggi dengan massa jenis yang relatif rendah. Material ini banyak digunakan pada industri pesawat terbang, otomotif, olahraga, hingga peralatan teknik karena memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang sangat baik.

Dalam komposit hybrid, serat karbon umumnya ditempatkan pada lapisan luar (skin) karena berfungsi sebagai penahan beban utama dan pelindung lapisan inti. Penempatan tersebut dapat meningkatkan kekakuan, ketahanan terhadap retak, serta kemampuan komposit dalam menyerap energi akibat beban benturan.

Kelemahan utama serat karbon adalah harga yang relatif mahal dan proses produksinya yang membutuhkan energi tinggi. Oleh karena itu, penggunaan serat karbon secara parsial melalui konsep hybridisasi dengan serat alam

menjadi salah satu solusi untuk menekan biaya produksi tanpa mengurangi performa mekanik secara signifikan.

Resin Epoksi sebagai Matriks

Resin epoksi merupakan salah satu jenis termoset yang paling banyak digunakan sebagai matriks komposit karena memiliki daya rekat tinggi, penyusutan rendah selama proses curing, serta ketahanan yang baik terhadap bahan kimia dan lingkungan. Epoksi mampu mengikat serat secara kuat sehingga beban dapat ditransfer secara efektif dari matriks menuju serat penguat.

Keunggulan lain resin epoksi adalah memiliki sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan resin poliester, terutama pada kekuatan tarik, kekuatan lentur, dan ketahanan impact. Selain itu, epoksi memiliki stabilitas dimensi yang baik sehingga menghasilkan komposit dengan kualitas permukaan yang lebih tinggi.

Kinerja resin epoksi sangat dipengaruhi oleh proses pencampuran hardener, waktu curing, serta kemampuan resin membasahi permukaan serat. Apabila pembasahan tidak berlangsung sempurna, maka akan terbentuk void dan ikatan antarmuka yang lemah sehingga menurunkan sifat mekanik komposit.

Metode Hand Lay-Up

Metode *hand lay-up* merupakan teknik fabrikasi komposit yang paling sederhana dan banyak digunakan dalam penelitian maupun industri skala kecil. Pada metode ini, serat disusun sesuai konfigurasi yang diinginkan, kemudian resin diaplikasikan secara manual menggunakan kuas atau roller hingga seluruh serat terbasahi secara merata.

Keunggulan metode *hand lay-up* meliputi biaya peralatan yang rendah, proses pengerjaan yang sederhana, serta fleksibel untuk berbagai bentuk produk. Oleh karena itu, metode ini sering digunakan dalam pembuatan panel komposit, bodi kendaraan, perahu, hingga komponen otomotif seperti spakbor.

Namun demikian, metode *hand lay-up* memiliki beberapa kelemahan, yaitu sulit mengontrol distribusi resin, ketebalan laminasi, dan kandungan void. Faktor-faktor tersebut dapat menyebabkan variasi sifat mekanik antarspesimen sehingga diperlukan ketelitian selama proses fabrikasi.

Pengujian Impact

Pengujian impact bertujuan mengetahui kemampuan material dalam menyerap energi akibat beban kejut sebelum mengalami patah. Salah satu metode yang umum digunakan adalah uji Charpy sesuai standar ASTM D6110 untuk material komposit.

Pada pengujian Charpy, spesimen diletakkan secara horizontal dan dibebani menggunakan pendulum yang dilepaskan dari ketinggian tertentu. Energi yang diserap material dihitung berdasarkan selisih energi potensial pendulum sebelum dan sesudah menumbuk spesimen. Nilai energi yang semakin besar menunjukkan kemampuan material dalam menahan benturan semakin baik.



Selain energi impact, parameter lain yang sering dianalisis adalah harga impact yang diperoleh dari perbandingan energi yang diserap terhadap luas penampang patahan. Pengamatan pola patahan juga dilakukan untuk mengetahui mekanisme kegagalan seperti retak matriks (*matrix cracking*), delaminasi (*delamination*), pelepasan ikatan serat dan matriks (*debonding*), serta tertariknya serat keluar dari matriks (*fiber pull-out*).

2.7 Pengaruh Komposisi PALF terhadap Kekuatan Impact

Komposisi serat merupakan salah satu faktor yang sangat memengaruhi sifat mekanik komposit hybrid. Penambahan PALF hingga batas tertentu dapat meningkatkan kemampuan material dalam menyerap energi benturan karena serat berperan sebagai penahan propagasi retak. Namun, apabila jumlah PALF terlalu tinggi sementara jumlah resin tetap, maka resin tidak mampu membasahi seluruh permukaan serat secara sempurna.

Pembasahan yang kurang optimal menyebabkan terbentuknya rongga udara, distribusi resin yang tidak merata, serta lemahnya ikatan antarmuka antara serat dan matriks. Kondisi tersebut mempermudah terjadinya retak, delaminasi, dan *fiber pull-out* ketika material menerima beban impact sehingga nilai energi impact mengalami penurunan.

Oleh karena itu, diperlukan komposisi serat yang optimum agar diperoleh keseimbangan antara jumlah penguat dan kemampuan matriks dalam membentuk ikatan yang kuat. Pada komposit hybrid karbon-PALF, variasi komposisi serat menjadi faktor penting yang menentukan performa mekanik material, khususnya pada aplikasi komponen otomotif yang memerlukan ketahanan benturan tinggi seperti spakbor sepeda motor.

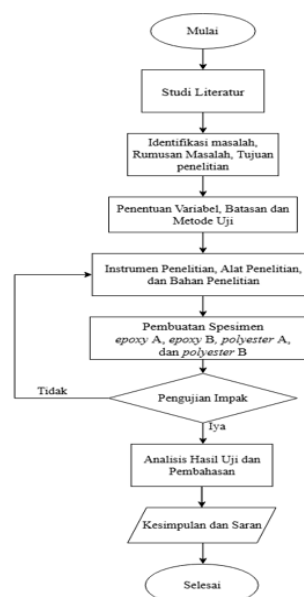
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen untuk menganalisis pengaruh variasi komposisi *pineapple leaf fiber* (PALF) terhadap kekuatan impact komposit hybrid berlapis serat karbon pada aplikasi spakbor sepeda motor. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah komposisi PALF sebesar 30%, 50%, dan 70% dari total fraksi penguat, sedangkan variabel terikat meliputi energi impact dan harga impact. Variabel yang dikendalikan meliputi jenis resin epoksi, jenis serat karbon, rasio resin terhadap total serat sebesar 60:40, metode fabrikasi, dimensi spesimen, dan kondisi pengujian. Setiap variasi dibuat sebanyak tiga spesimen sehingga total spesimen yang diuji berjumlah sembilan.

Bahan yang digunakan terdiri atas serat daun nanas (PALF), kain serat karbon, resin epoksi beserta hardener, *release agent*, serta cetakan datar. Peralatan yang digunakan meliputi timbangan digital, gunting serat, gelas ukur, kuas, roller laminasi, alat pencampur resin, mesin pemotong spesimen, amplas, dan mesin uji impact Charpy. Seluruh bahan dipersiapkan terlebih dahulu dengan memastikan serat dalam kondisi bersih dan kering agar proses impregnasi resin berlangsung secara optimal.

Proses pembuatan komposit dilakukan menggunakan metode *hand lay-up*. Cetakan terlebih dahulu dibersihkan dan dilapisi *release agent* untuk memudahkan pelepasan produk setelah proses curing. Resin epoksi dicampur dengan hardener sesuai perbandingan yang direkomendasikan pabrik, kemudian diaplikasikan pada cetakan. Lapisan komposit disusun dengan konfigurasi karbon-PALF-karbon, kemudian setiap lapisan dibasahi menggunakan resin hingga merata. Setelah seluruh lapisan tersusun, dilakukan penekanan menggunakan roller untuk mengurangi gelembung udara dan meningkatkan ikatan antara serat dan matriks. Laminat selanjutnya dibiarkan mengalami proses curing hingga mengeras sebelum dipotong menjadi spesimen uji sesuai standar.

Pengujian sifat mekanik dilakukan menggunakan metode uji impact Charpy yang mengacu pada standar ASTM D6110. Setiap spesimen dipasang pada dudukan mesin uji, kemudian diberi beban tumbukan menggunakan pendulum hingga spesimen mengalami patah. Data yang diperoleh meliputi energi impact yang diserap selama proses patah. Selanjutnya dilakukan perhitungan harga impact berdasarkan perbandingan energi yang diserap terhadap luas penampang spesimen. Selain itu, karakteristik patahan diamati secara visual untuk mengidentifikasi mekanisme kerusakan seperti retak matriks, delaminasi, *debonding*, dan *fiber pull-out*.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Data hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik, kemudian dianalisis secara deskriptif komparatif dengan membandingkan nilai rata-rata energi impact dan harga impact pada setiap variasi komposisi PALF. Hasil analisis digunakan untuk menjelaskan hubungan antara peningkatan komposisi PALF dengan kemampuan komposit hybrid dalam menyerap energi benturan. Berdasarkan hasil tersebut, ditentukan variasi komposisi PALF yang memberikan performa impact terbaik serta dibahas faktor-faktor yang memengaruhi perubahan sifat mekanik komposit hybrid.



HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi *pineapple leaf fiber* (PALF) terhadap kekuatan impact komposit hybrid berlapis serat karbon dengan susunan karbon-PALF-karbon. Pengujian dilakukan menggunakan metode Charpy terhadap tiga variasi komposisi PALF, yaitu 30%, 50%, dan 70%. Parameter yang dianalisis meliputi energi impact, harga impact, serta karakteristik patahan setelah pengujian. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perubahan komposisi PALF memberikan pengaruh terhadap kemampuan komposit dalam menyerap energi benturan.

Tabel 1. Hasil Pengujian Energi Impact

Variasi PALF	Spesimen 1 (J)	Spesimen 2 (J)	Spesimen 3 (J)	Rata-rata (J)
30%	21,10	21,45	21,44	21,331
50%	19,60	19,95	19,80	19,782
70%	17,95	18,20	18,25	18,133

Berdasarkan Tabel 1, variasi PALF30% menghasilkan energi impact rata-rata tertinggi sebesar **21,331 J**, sedangkan variasi PALF 50% menghasilkan energi impact rata-rata **19,782 J** dan variasi PALF 70% sebesar **18,133 J**. Hasil tersebut menunjukkan adanya kecenderungan penurunan energi impact seiring meningkatnya komposisi PALF dalam komposit hybrid. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan PALF dalam jumlah yang terlalu tinggi belum tentu meningkatkan kemampuan material dalam menyerap energi benturan.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Harga Impact

Variasi PALF	Energi Impact (J)	Luas Penampang (mm ²)	Harga Impact (J/mm ²)
30%	21,331	53,33	0,400
50%	19,782	64,23	0,308
70%	18,133	71,96	0,252

Nilai harga impact pada Tabel 2 memperlihatkan pola yang sama dengan energi impact. Variasi PALF 30% menghasilkan harga impact tertinggi sebesar **0,400 J/mm²**, sedangkan PALF 50% dan 70% masing-masing sebesar **0,308 J/mm²** dan **0,252 J/mm²**. Nilai tersebut menunjukkan bahwa komposit dengan kandungan PALF 30% memiliki kemampuan paling baik dalam menyerap energi benturan terhadap luas penampang yang dimiliki. Penurunan harga impact pada komposisi PALF yang lebih tinggi menunjukkan bahwa efektivitas material dalam menahan beban kejut semakin berkurang.

Penurunan kekuatan impact pada komposit dengan komposisi PALF yang tinggi dipengaruhi oleh kualitas impregnasi resin terhadap serat. Semakin banyak jumlah serat alam yang digunakan, semakin besar luas permukaan yang harus dibasahi oleh resin epoksi. Apabila jumlah resin tetap, maka sebagian permukaan serat tidak terlapsi secara sempurna sehingga terjadi ikatan antarmuka (*interfacial*

bonding) yang lemah. Kondisi tersebut menyebabkan transfer beban dari matriks menuju serat menjadi kurang efektif ketika spesimen menerima tumbukan.

Selain itu, peningkatan komposisi PALF juga meningkatkan kemungkinan terbentuknya rongga udara (*void*) selama proses *hand lay-up*. Void menyebabkan distribusi tegangan menjadi tidak merata sehingga retakan lebih mudah terbentuk dan berkembang ketika spesimen menerima beban impact. Rongga udara juga mengurangi luas kontak antara resin dan serat sehingga menurunkan kekuatan ikatan antarmuka. Akibatnya, energi benturan yang mampu diserap komposit menjadi lebih kecil dibandingkan komposit dengan distribusi resin yang lebih homogen.

Tabel 3. Karakteristik Patahan Spesimen Setelah Uji Impact

Variasi PALF	Matrix Crackin g	Delamina si	Debondin g	Fiber Pull-out
30%	Ringan	Ringan	Sedikit	Sedikit
50%	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
70%	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi

Hasil pengamatan visual pada Tabel 3 menunjukkan bahwa semakin tinggi komposisi PALF, semakin banyak mekanisme kegagalan yang muncul pada spesimen. Variasi PALF 30% hanya menunjukkan retak matriks dan *fiber pull-out* dalam jumlah terbatas. Pada variasi PALF 50%, mulai terlihat delaminasi antar lapisan yang lebih jelas. Sementara itu, variasi PALF 70% memperlihatkan kerusakan paling dominan berupa retak matriks yang meluas, delaminasi, pelepasan ikatan antara serat dan resin (*debonding*), serta *fiber pull-out* dalam jumlah besar. Mekanisme kerusakan tersebut menunjukkan bahwa ikatan antar lapisan semakin melemah ketika kandungan PALF semakin tinggi.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi serat karbon sebagai lapisan luar dan PALF sebagai lapisan inti mampu menghasilkan komposit dengan kemampuan menyerap energi benturan yang baik, terutama pada variasi PALF 30%. Serat karbon berfungsi sebagai penahan beban utama ketika terjadi tumbukan, sedangkan PALF membantu menyerap sebagian energi benturan. Namun, peningkatan komposisi PALF secara berlebihan menyebabkan dominasi serat alam sehingga resin tidak mampu mengikat seluruh permukaan serat secara optimal. Akibatnya, kekuatan impact mengalami penurunan meskipun jumlah serat bertambah.

Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa variasi komposisi PALF memberikan pengaruh nyata terhadap kekuatan impact komposit hybrid. Komposit dengan komposisi PALF 30% menghasilkan performa terbaik, ditandai oleh energi impact rata-rata sebesar **21,331 J** dan harga impact sebesar **0,400 J/mm²**. Sebaliknya, peningkatan komposisi PALF hingga 70% menyebabkan penurunan kemampuan menyerap energi benturan akibat



berkurangnya kualitas ikatan serat–matriks, meningkatnya pembentukan void, dan bertambahnya mekanisme kegagalan seperti retak matriks, delaminasi, *debonding*, serta *fiber pull-out*. Hasil ini menunjukkan bahwa keseimbangan antara jumlah serat dan resin merupakan faktor penting dalam menghasilkan komposit hybrid dengan sifat impact yang optimal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan terhadap komposit hybrid berlapis serat karbon dengan variasi komposisi *pineapple leaf fiber* (PALF) untuk aplikasi spakbor sepeda motor, dapat disimpulkan bahwa variasi komposisi PALF memberikan pengaruh terhadap kekuatan impact komposit hybrid. Hasil pengujian impact metode Charpy menunjukkan bahwa spesimen dengan komposisi PALF 30% (K30) memiliki kemampuan menyerap energi benturan paling tinggi dibandingkan variasi PALF 50% (K50) dan 70% (K70). Nilai rata-rata energi impact dan harga impact yang diperoleh berturut-turut sebesar 21,331 J dan 0,400 J/mm² pada K30, 19,782 J dan 0,308 J/mm² pada K50, serta 18,133 J dan 0,252 J/mm² pada K70. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan fraksi PALF cenderung menurunkan nilai energi impact dan harga impact, sehingga kemampuan komposit dalam menahan beban kejut menjadi semakin rendah.

Variasi komposisi PALF juga memengaruhi karakteristik patahan komposit setelah pengujian impact. Pada variasi K30, mekanisme kegagalan didominasi oleh *fiber pull-out* dan *debonding* lokal yang menunjukkan bahwa material masih mampu menyerap energi benturan sebelum mengalami kegagalan. Pada variasi K50 mulai terlihat adanya *matrix cracking* dan delaminasi lokal yang mengindikasikan penurunan kualitas ikatan antara serat dan matriks. Sementara itu, pada variasi K70 ditemukan bidang patah utama yang lebih dominan disertai *fiber pull-out* dan *matrix cracking*, yang menunjukkan bahwa retakan lebih mudah merambat akibat ikatan serat–matriks yang kurang optimal. Meskipun hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi PALF 30% memberikan performa impact terbaik, hasil tersebut belum dapat dijadikan dasar untuk menentukan komposisi komposit yang paling optimal secara mutlak. Hal ini disebabkan oleh kemungkinan adanya ketidaksempurnaan distribusi resin, pembentukan void, serta ketidakhomogenan struktur komposit akibat penggunaan fraksi volume serat, sehingga dapat memengaruhi validitas hasil pengujian.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, penelitian selanjutnya disarankan menggunakan metode fabrikasi yang lebih terkontrol, seperti *vacuum bagging* atau *compression molding*, untuk meningkatkan kualitas impregnasi resin, mengurangi terbentuknya void, serta menghasilkan distribusi material yang lebih homogen sehingga data pengujian menjadi lebih akurat dan representatif. Selain itu, penelitian berikutnya perlu mempertimbangkan metode penentuan komposisi selain fraksi volume atau melakukan pengendalian yang lebih

ketat terhadap perbandingan serat dan matriks agar komposisi optimum komposit dapat ditentukan dengan lebih tepat. Pengujian mekanik juga sebaiknya diperluas dengan melakukan uji tarik, uji lentur, dan uji kekerasan sehingga karakteristik komposit hybrid dapat dievaluasi secara lebih komprehensif. Di samping itu, variasi orientasi serat, urutan susunan lapisan, serta perlakuan permukaan pada serat daun nanas (PALF) perlu dikaji untuk meningkatkan kualitas ikatan serat–matriks dan performa mekanik komposit. Untuk memperkuat interpretasi mekanisme kegagalan, penelitian selanjutnya juga disarankan melakukan analisis morfologi patahan menggunakan dokumentasi visual beresolusi tinggi maupun pengamatan mikroskopis sehingga hubungan antara struktur material dan sifat mekaniknya dapat dijelaskan secara lebih mendalam.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan variasi ketebalan *core*, jenis material *skin*, maupun konfigurasi susunan laminasi sehingga pengaruh masing-masing parameter terhadap kekuatan bending dan sifat mekanik lainnya dapat dianalisis secara lebih mendalam. Selain itu, penggunaan material inti maupun serat yang berbeda dapat menjadi alternatif dalam memperoleh struktur komposit sandwich yang lebih ringan dan memiliki performa mekanik yang lebih optimal.

Pengembangan proses fabrikasi juga perlu dilakukan, misalnya melalui optimasi metode *vacuum infusion*, pengendalian fraksi volume serat dan resin, serta peningkatan kualitas ikatan antara *skin* dan *core*. Upaya tersebut diharapkan mampu mengurangi cacat manufaktur seperti void, delaminasi, maupun ketidaksempurnaan impregnasi resin yang dapat menurunkan sifat mekanik komposit.

Selain pengujian bending, penelitian berikutnya juga disarankan melakukan pengujian mekanik lainnya, seperti uji tarik, uji tekan, uji impak, dan uji kelelahan (*fatigue*), serta analisis mekanisme patahan secara lebih rinci menggunakan pengamatan makroskopik maupun mikroskopik. Dengan demikian, karakteristik mekanik dan perilaku kegagalan komposit sandwich carbon fiber–cork core dapat dipahami secara lebih komprehensif sehingga mendukung pengembangan material untuk aplikasi struktural.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdus Shomad, M., & Sofyan, A. (2020). Analisis Karakterisasi Komposit Hybrid pada Spakbor Depan Motor Matic. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Material*, 4(2), 68–75.
- Ariyansah, M., & Samlawi, A. K. (2019). PENGARUH ORIENTASI SERAT PADA KOMPOSIT KAIN POLYPROPYLENE. *JTAM ROTARY*, 1(1), 33. https://doi.org/10.20527/jtam_rotary.v1i1.1399
- Arni, A., Suroso, I., & Utami, N. (2023). Analisis Karakteristik Uji Bending dan Uji Tarik Serat Daun Nanas. *Jurnal Ilmiah Momentum*, 19(2), 155. <https://doi.org/10.36499/jim.v19i2.9643>



- Babu, A. S., Nagarajan, T. T., Palanivelu, K., & Nayak, S. K. (n.d.). Mechanical and Thermal Properties of Epoxy Composites Reinforced with Carbon and Acrylonitrile Butadiene Styrene. 35(1), 59–69.
- Bagaskoro, I., Hidayat, M. I. P., & Ardhyananta, H. (2021). Simulasi Delaminasi Laminat Komposit Serat Karbon terhadap Variasi Arah Serat Menggunakan Teknik Cohesive Zone Model (CZM) dan Virtual Crack Closure (VCC) dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v9i2.55512>
- Bukvić, M., Milojević, S., Gajević, S., Đorđević, M., & Stojanović, B. (2025). Production Technologies and Application of Polymer Composites in Engineering: A Review. *Polymers*, 17(16), 1–28. <https://doi.org/10.3390/polym17162187>
- COMPOSITE MATERIALS LEC (3). (n.d.). 3, 17–21. Desiasni, R., Azman, N., & Widyawati, F. (2023). SIFAT FISIKA DAN MEKANIK KOMPOSIT PAPAN PARTIKEL BERDASARKAN VARIASI UKURAN SERBUK KAYU MAHONI (SWIETENIA MACROPHYLLA) SEBAGAI MATERIAL ALTERNATIF : PAPAN KOMPOSIT. *Jurnal TAMBORA*, 7(2), 78–83. <https://doi.org/10.36761/jt.v7i2.2714>
- Dosoputranto, E., Musanif, I., Bawano, F., & Sumolang, E. (2021). Karakteristik Kekuatan Tarik Dan Bending Komposit Hybrid Serat Dan Lidi Kelapa. *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 15(2), 136. <https://doi.org/10.24853/sintek.15.2.136-142>
- Fouad, H., Jawaid, M., & Azeem, M. A. (2022). Flexural , *impact* and dynamic mechanical analysis of hybrid composites : Olive tree leaves powder / pineapple leaf fibre / epoxy matrix. *Journal of Materials Research and Technology*, 21, 4241–4252. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.11.036>
- Hadi, T. S., Jokosisworo, S., & Manik, P. (2016). Analisa Teknis Penggunaan Serat Daun Nanas Sebagai Alternatif Bahan Komposit Pembuatan Kulit Kapal Ditinjau Dari Kekuatan Tarik, Bending Dan Impact. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 4(1), 323–331.
- Harijono, H., Fanani, A., & Hartono, H. (2024). Pengaruh Penambahan Bubuk Aerosil Pada Uji Drop Test Material Komposit Serat Daun Nanas Dan Serbuk Arang. *Jurnal Pengembangan Potensi Laboratorium*, 3(1), 5–10. <https://doi.org/10.25047/plp.v3i1.4635>
- Hasanah, U., & Muslimin, M. (2020). Pengaruh Tekanan Compression Moulding terhadap Kinerja Pelat Bipolar Komposit Grafit/Resin Epoksi Komposisi 20% Karbon Tempurung Kelapa. *Jurnal Mekanik Terapan*, 1(1), 71–80. <https://doi.org/10.32722/jmt.v1i1.3335>
- Hasyim, U. H., Yansah, N. A., & Nuris, M. F. (2018). Modifikasi Sifat Kimia Serbuk Tempurung Kelapa (Stk) Sebagai Matriks Komposit Serat Alam Dengan Perbandingan Alkalisasi Naoh Dan Koh. *E - Journal UMJ*, 015(3), 1–7.
- Herlina, & P.F. Bona. (2023). Pengaruh Susunan Lamina Terhadap Kuat Tarik Laminat Komposit Karbon/Epoksi. 5–6.
- Hidayat, P. (2008). Teknologi Pemanfaatan Serat Daun Nanas Sebagai Alternatif Bahan Baku Tekstil. *Teknoin*, 13(2), 31–35. <https://doi.org/10.20885/teknoin.vol13.iss2.art7>
- Ii, B. A. B., & Pustaka, T. (n.d.). Institut Teknologi Nasional. 4–22.
- Jakubowicz, I., & Yarahmadi, N. (2024). Review and Assessment of Existing and Future Techniques for Traceability with Particular Focus on Applicability to ABS Plastics. *Polymers*, 16(10). <https://doi.org/10.3390/polym16101343>
- Jomboh, K. J., Garkida, A. D., Alemaka, E. M., Yakubu, M. K., Alkali, V. C., Eze, W. U., & Lawal, N. (2024). Properties and applications of natural, synthetic and hybrid fiber reinforced polymer composite: A review. *AIMS Materials Science*, 11(4), 774–801. <https://doi.org/10.3934/matersci.2024038>
- Jusman, S. (2025). Analisis Sifat Mekanis Komposit Serat Rami Pada Spakbor Motor seperti vacuum infusion atau compression molding . Indonesia sebagai negara tropis yang ideal untuk budidaya tanaman rami (Lutfiyani , Hamzani,. 5(9), 2799–2806.
- Karagöz, İ., Şimşiroğlu, B. Ş., Özer, E. N., Sepetcioglu, H., & Hizal, J. (2025). Investigation of the Mechanical, Thermal, and Morphological Properties of ABS Composite Reinforced With Bentonite and DEHPA Modified Bentonite. *Journal of Polymer Science*, 63(6), 1505–1517. <https://doi.org/10.1002/pol.20240925>
- Kasim, A. N., Selamat, M. Z., Daud, M. A. M., Yaakob, M. Y., Putra, A., & Sivakumar, D. (2016). Mechanical properties of polypropylene composites reinforced with alkaline treated pineapple leaf fibre from josapine cultivar. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 13(1), 3157–3167. <https://doi.org/10.15282/ijame.13.1.2016.3.0263>
- Khan, F., Hossain, N., Mim, J. J., Rahman, S. M., Iqbal, M. J., Billah, M., & Chowdhury, M. A. (2025). Advances of composite materials in automobile applications – A review. *Journal of Engineering Research (Kuwait)*, 13(2), 1001–1023. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.02.017>
- Kumar Vishwakarma, S., Pandey, P., Gupta, N. K., & Student, U. (2017). Characterization of ABS Material: A Review. *Quest Journals Journal of Research in Mechanical Engineering*, 3(5), 2321–8185. www.questjournals.org
- Kurniawan, N. A., Setiawan, F., & Sofyan, E. (2022). PENGUJIAN TARIK KOMPOSIT SPESIMEN CAMPURAN SERAT PISANG ALUR DIAGONAL DAN PASIR BESI DENGAN Matriks RESIN POLYESTER DENGAN METODE ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 8(2), 281–288. <https://doi.org/10.56521/teknika.v8i2.657>
- Kusmono. (2024). Pengembangan Material Komposit Serat Alam Untuk Aplikasi Industri Berkelanjutan. Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar Dalam Bidang Ilmu



- Bahan Komposit Berbasis Polimer Pada Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Disampaikan, 19(5), 1–23.
- Lesmana, D., Darni, Y., Lismeri, L., & Marpaung, W. C. (2025). Pengaruh Fraksi Massa Serat dan Variasi Konsentrasi NaOH Pada Komposit Serat Dan Resin Epoxy Sebagai Material Spakbor Motor. 6(1).
- Md. Zobair Al Mahmud. (2024). SPE Polymers - 2024 - Mahmud - Synthesis and applications of natural fiber-reinforced epoxy composites A comprehensive (1).pdf.
- Mesin, D. T., Vokasi, F., Surabaya, U. N., Mesin, D. T., Vokasi, F., & Surabaya, U. N. (n.d.). PENGARUH KEKUATAN LAPISAN SERAT KARBON DENGAN INTI LANTOR SORIC MENGGUNAKAN UJI TARIK AchmadDaruqutni Salam.
- Method, S. T. (2010). Standard Test Method for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics 1. April. <https://doi.org/10.1520/D6110-10.1>
- Najeeb, M. I., Sultan, M. T. H., Shah, A. U. M., Amir, S. M. M., Safri, S. N. A., Jawaid, M., & Shari, M. R. (2021). Low-velocity impact analysis of Acrylonitrile Butadiene Styrene (Palf) hybrid composites. *Polymers*, 13(18), 1–18. <https://doi.org/10.3390/polym13183194>
- Noviyanto Adi, V., Suryani Lubis, G., & Tarbiyatun Nasyin Maleiva, L. (2025). Analisis pengaruh komposisi terhadap nilai uji impak pada material komposit hybrid serat pinang dan serat kelapa. *Lubis & Maleiva*, 6(2), 33–40.
- Nuhgraha, Y., Rosa, M. K. A., & Agustian, I. (2020). Perancangan Alat Uji Impak Digital dengan Metode Charpy Untuk Mengukur Kekuatan Material Polimer. *Jurnal Amplifier : Jurnal Ilmiah Bidang Teknik Elektro Dan Komputer*, 10(2), 15–19. <https://doi.org/10.33369/jamplifier.v10i2.15316>
- Nurul Huda, R., Hamka, Jlp., & UNP Air Tawar Padang, K. (2022). Desain dan Simulasi Non-Inverting Buck-Boost Konverter. *MSI Transaction on Education*, 03(04), 2022.
- Ohara, H., Kashimoto, A., Yasunaga, H., Pivsa-Art, W., Pavasupree, S., Phansroy, N., Nomura, K., & Okahisa, Y. (2024). Extraction of Acrylonitrile Butadiene Styrene Using Household High-Pressure Water Washer. *Journal of Fiber Science and Technology*, 80(11), 230–236. <https://doi.org/10.2115/fiberst.2024-0027>
- Peng, X., Wu, Y., & Wei, Z. (2024). Research progress on the surface modification of carbon fiber. *RSC Advances*, 14(6), 4043–4064. <https://doi.org/10.1039/d3ra08577e>
- Pickering, K. L., Efendy, M. G. A., & Le, T. M. (2016). A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 83, 98–112. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.08.038>
- Putra, M. I., & Nugroho, G. (2021). Pengaruh Curing Time Terhadap Sifat Mekanis Komposit Epoxy/Carbon Fiber dan Epoxy/ Glass Fiber dengan Metode Manufaktur Bladder Compression Moulding. *Journal of Mechanical Design and Testing*, 3(1), 20. <https://doi.org/10.22146/jmtdt.57205>
- Qudratullah, F., Zariatin, D. L., Sukmara, S., & Hakim, M. A. (2024). Pengembangan Spakbor Sepeda Motor dari Material Komposit dengan Penguat Serat Bambu Apus. *Jurnal Crankshaft*, 7(4), 76–89. <https://doi.org/10.24176/cra.v7i4.13952>
- Rahayu, S., & Siahaan, M. (2018). Karakteristik Raw Material Epoxy Resin Tipe Bqtn-Ex 157 Yang Digunakan Sebagai Matrik Pada Komposit (the Characteristics of Raw Material Bqtn-Ex 157 Epoxy Resin Used As Composites Matrix). *Jurnal Teknologi Dirgantara*, 15(2), 151. <https://doi.org/10.30536/j.jtd.2017.v0.a2526>
- Razibi, N. D., Nahzi, M. Y. I., & Puspitasari, D. (2017). Perbandingan Jarak Penyinaran Dan Ketebalan Bahan Terhadap Kekerasan Permukaan Resin Komposit Tipe Bulk Fill. *Dentino (Jur. Ked. Gigi)*, II(2), 211–214.
- Riyanto, A., & Arif Irfa'i, M. (2018). PENGARUH FRAKSI VOLUME SERAT KOMPOSIT HYBRID BERPENGUAT SERAT BAMBUCI ACAC DAN SERAT E-GLASS ANYAM DENGAN RESIN POLYESTER TERHADAP KEKUATAN BENDING Mochamad Arif Irfa'i. *Jtm*, 06(02), 55–60.
- Rodiawan, R., Suhdi, S., & Rosa, F. (2017). Analisa Sifat-Sifat Serat Alam Sebagai Penguat Komposit Ditinjau Dari Kekuatan Mekanik. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 5(1), 39–43. <https://doi.org/10.24127/trb.v5i1.117>
- Rose, N., Bras, M. Le, Bourbigot, S., & Delobel, R. (1994). Thermal oxidative degradation of epoxy resins : evaluation of their heat resistance using invariant kinetic parameters. 45, 387–397. Sahu, R., Ponnusami, S. A., Weimer, C., & Harursampath, D. (2024). Interface engineering of carbon fiber composites using CNT: A review. *Polymer Composites*, 45(1), 9–42. <https://doi.org/10.1002/pc.27772>
- Seid, A. M., & Adimass, S. A. (2024). Review on the impact behavior of natural fiber epoxy based composites. *Heliyon*, 10(20), e39116. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39116>
- Senthilkumar, K., Chandrasekar, M., Alothman, O. Y., Fouad, H., Jawaid, M., & Azeem, M. A. (2022). Flexural, impact and dynamic mechanical analysis of hybrid composites: Olive tree leaves powder/ pineapple leaf fibre/epoxy matrix. *Journal of Materials Research and Technology*, 21, 4241–4252. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.11.036>
- Shomad, M. A., & Darmawan, W. A. (n.d.). ANALISA MEKANIS KOMPOSIT HYBRID SERAT ALAM RAMI DAN FIBERGLASS PADA SPOILER KIJANG LGX DENGAN METODE *HAND LAY UP*.
- Sugiyono. (2020). Metodologi Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D.



- Ullah, S., Akhter, Z., Palevicius, A., & Janusas, G. (2025). Review: Natural fiber-based biocomposites for potential advanced automotive applications. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 20. <https://doi.org/10.1177/15589250241311468>
- Umam, A. F., & Arif Irfa'i, M. (2019). Studi Fraksi Volume Serat Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Polyester Berpenguat Serat Karbon. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(1), 67–72.
- Umam, A. F., & Irfa'i, M. A. (2019). Studi Fraksi Volume Serat Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Polyester Berpenguat Serat Karbon STUDI FRAKSI VOLUME SERAT TERHADAP KEKUATAN TARIK KOMPOSIT POLYESTER BERPENGUAT SERAT KARBON Abstrak. 67–72.
- Widodo, E., & Dwiyoga, I. (2022). ANALISIS PENGARUH ALKALISASI NaOH TERHADAP SERAT NANAS SEBAGAI PENGUATAN BIO KOMPOSIT. *Otopro*, 18(1), 1–6. <https://doi.org/10.26740/otopro.v18n1.p1-6>
- 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>
- Xiao, H., Sultan, M. T. H., Shahar, F. S., & Nayak, S. Y. (2025). An Experimental Study on Low-Velocity Impact Behavior of Carbon Fiber/Acrylonitrile Butadiene Styrene Hybrid Laminates for Automotive Applications. *Journal of Natural Fibers*, 22(1). <https://doi.org/10.1080/15440478.2024.2448015>
- Yudhanto, F., Sudarisman, & M.Ridlwan. (2016). Karakterisasi Kekuatan Tarik Komposit Hybrid Lamina Serat Anyam Sisal Dan Gelas Diperkuat Polyester. *Semesta Teknika*, 19(1), 48–54.
- Yudo, H., & Jatmiko, S. (2008). Analisa Teknis Kekuatan Mekanis Material Komposit Berpenguat Serat Ampas Tebu (Baggase) Ditinjau Dari Kekuatan Tarik Dan Impak. *Kapal*, 5(2), 95–101