

PENGARUH SUSUNAN LAMINA KOMPOSIT BERPENGUAT SERAT KARBON – SERAT RAMI TERHADAP UJI IMPAK DAN UJI MIKRO

Muhammad Azrul Labib

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: muhammadlabib.22049@mhs.unesa.ac.id

Dr. Mochamad Arif Irfai, S.pd., M.T.

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: arifirfai@unesa.ac.id

Abstrak

Komposit hybrid adalah material yang menggabungkan dua jenis serat dengan karakteristik berbeda untuk memperoleh sifat mekanik yang lebih baik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh susunan lamina komposit hybrid berpenguat serat karbon dan serat rami terhadap performa mekanik melalui uji impact serta pengamatan mikrostruktur menggunakan SEM sebagai alternatif material rompi anti peluru. Metode yang digunakan berupa eksperimen kuantitatif dengan variasi susunan lamina menggunakan matriks resin epoksi. Proses fabrikasi dilakukan melalui metode Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI) guna meminimalkan cacat dan meningkatkan kualitas ikatan serat–matriks. Pengujian mekanik dilakukan dengan uji impact ASTM D5942-96. Hasil penelitian menunjukkan bahwa susunan lamina memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat mekanik komposit. Susunan Rami-karbon–karbon–Rami menghasilkan kekuatan impact paling optimal dibandingkan variasi lainnya. Oleh karena itu, komposit hybrid karbon–Rami dengan susunan tersebut dinyatakan layak digunakan sebagai material rompi anti peluru.

Kata Kunci: komposit hybrid, serat karbon, serat rami, uji impact, uji mikro.

Abstract

Hybrid composites are materials that combine two types of fibers with different characteristics to obtain better mechanical properties. This study aims to analyze the effect of the arrangement of hybrid composite laminates reinforced with carbon fiber and ramie fiber on mechanical performance through impact tests and microstructural observations using SEM as an alternative material for bulletproof vests. The method used is a quantitative experiment with variations in the arrangement of laminates using an epoxy resin matrix. The fabrication process is carried out using the Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI) method to minimize defects and improve the quality of the fiber-matrix bond. Mechanical testing is carried out using the ASTM D5942-96 impact test. The results show that the arrangement of laminates has a significant effect on the mechanical properties of the composite. The Rami-carbon-carbon-Rami arrangement produces the most optimal impact strength compared to other variations. Therefore, the carbon-Rami hybrid composite with this arrangement is declared suitable for use as a bulletproof vest material.

Keywords: hybrid composite, carbon fiber, hemp fiber, impact test, micro test.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi mendorong peningkatan kebutuhan material dengan sifat mekanik yang lebih baik, sehingga diperlukan inovasi bahan baru. Salah satu material yang banyak dikembangkan adalah komposit, yaitu gabungan dua atau lebih material berbeda yang tidak saling melarutkan, di mana satu berfungsi sebagai penguat dan lainnya sebagai pengikat (Prihatno dkk., 2020). Pemanfaatan serat alam dalam komposit dapat menekan biaya produksi karena ketersediaannya melimpah, dapat diperbarui, serta ramah lingkungan (Yudha dkk., 2023).

Komposit hybrid merupakan kombinasi serat alam dan serat sintesis yang disusun dalam urutan tertentu untuk

memperoleh sifat mekanik optimal (Yudhistira, 2022). Salah satu contoh serat alam adalah serat rami yang memiliki kandungan serat tinggi, namun pemanfaatannya di Indonesia masih terbatas pada produk sederhana. Nilai tambah akan tercapai jika serat ini digunakan sebagai pengganti serat non-alam impor dalam material komposit.

Serat rami sebagai serat alam memiliki densitas rendah, biodegradable, dan dapat didaur ulang, sedangkan serat karbon sebagai serat sintesis memiliki kekuatan tarik tinggi dan rasio kekuatan terhadap berat yang baik. Biaya tinggi serat karbon diabaikan karena penghematan berat dianggap lebih penting dibandingkan faktor biaya (Samudra dkk., 2023). Kombinasi keduanya diharapkan menghasilkan material yang kuat namun tetap ringan.

Metode yang digunakan Adalah *vacuum assisted resin infusion* Proses *vacuum infusion* merupakan alternatif teknik dengan biaya lebih rendah dibanding teknik manufaktur lainnya (Utomo, 2020). Proses ini dilakukan dengan memanfaatkan tekanan vakum untuk mengalirkan resin ke dalam spesimen serat yang telah ditempatkan dan divakum di dalam plastik bagging, sehingga distribusi resin lebih merata dan kualitas ikatan serat–matriks dapat meningkat (Aritonang, 2023).

Untuk pengujian material komposit yang dilakukan menggunakan uji impak dan uji mikro menggunakan analisis SEM. Uji impak digunakan untuk menilai ketangguhan komposit, yaitu kemampuan material menyerap energi sebelum patah. uji ini menekankan respon terhadap beban kejut, sehingga relevan untuk evaluasi material rompi anti peluru (Suartama dkk., 2020). Pengujian SEM dilakukan untuk menganalisis morfologi patahan hasil uji impak dengan kekuatan tertinggi. Hasil SEM digunakan sebagai penunjang data uji impak, karena pola kerusakan yang diamati mencerminkan mekanisme kegagalan material melalui morfologi permukaan patahan (Nugroho, 2017). Rompi anti peluru berfungsi melindungi tubuh dari benturan proyektil, sehingga materialnya harus mampu menahan beban kejut dan menunjukkan karakteristik mikrostruktur yang baik. Oleh karena itu, pengujian yang tepat untuk komponen ini adalah uji impak dan analisis mikro menggunakan SEM.

METODE

Jenis penelitian

Penelitian ini menggunakan kombinasi metode kuantitatif dan eksperimental karena sangat relevan dalam studi material komposit, khususnya terkait susunan lamina. Menurut Sugiyono dalam bukunya pengertian dari penelitian kuantitatif eksperimental merupakan metode sistematis yang menguji pengaruh perlakuan terhadap variabel tertentu melalui data numerik yang dianalisis secara statistik. Pendekatan ini memungkinkan diperolehnya kesimpulan sebab-akibat yang valid serta dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah (Sugiyono, 2020)

Tempat dan Waktu Penelitian

- Lokasi Penelitian
Penelitian di lakukan di Laboratorium Pengcoran Gedung A8, Universitas Negeri Surabaya.
- Waktu Penelitian
Waktu yang digunakan untuk mengerjakan penelitian dimulai pada Juni 2025 – Desember 2025 sampai data dan Analisa yang dibutuhkan terpenuhi.

Variabel Penelitian

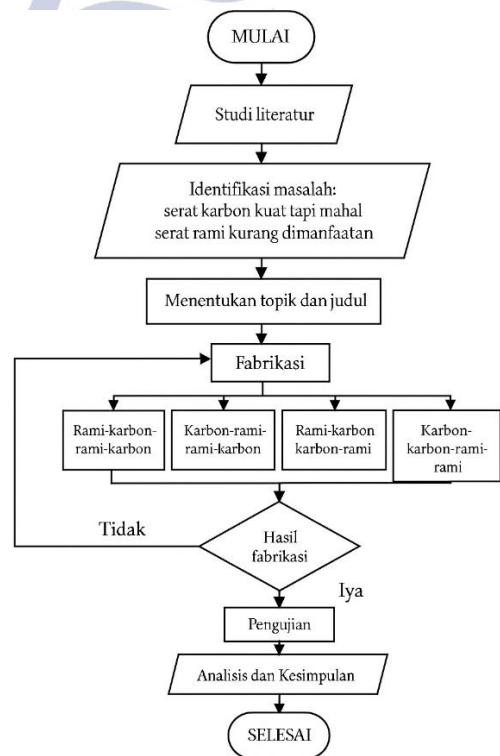
- Variabel Bebas
Variabel independen dalam penelitian ini adalah variasi susunan lamina yang terdiri dari kombinasi serat karbon dan serat rami dianatarannya:

1. Rami-karbon-rami-karbon
 2. Karbon-rami-rami-karbon
 3. Rami-karbon-karbon-rami
 4. Karbon-karbon-rami-rami
- Variabel Terikat
1. Uji Impak
 2. Uji Mikro SEM
- Variabel Kontrol
1. Matriks yang digunakan resin epoksi
 2. Jumlah susunan lamina 4 lapis
 3. Menggunakan metode VARI
 4. Orientasi serat 0° dan 90°
 5. Standart uji impak ASTM D5942-96
 6. Uji mikro Scanning Electron Microscope

Teknik Pengumpulan Data

- *Pre-processing*
Melakukan studi literatur, identifikasi variabel, serta pengumpulan data dan spesifikasi serat.
- *Processing*
Dilakukan simulasi fabrikasi dengan metode *vacuum infusion*, analisis hasil simulasi untuk menentukan ketebalan, serta uji eksperimen fraksi volume.
- *Post Processing*
Validasi hasil penelitian

Flow Chart Penelitian



Gambar 1 Flowchart penelitian

Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh melalui metode ini dianggap memiliki tingkat keakuratan yang sangat tinggi karena proses pengumpulan dan pengolahan dilakukan secara sistematis. Analisis data yang dilakukan tidak hanya berguna untuk menghasilkan kesimpulan yang tepat, tetapi juga memberikan interpretasi yang komprehensif terhadap hasil penelitian. Dengan demikian, proses analisis mampu menilai keberhasilan penelitian secara menyeluruh serta memastikan bahwa temuan yang dihasilkan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

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

1. Uji Impak

- Rumus energi serap

$$W = G \times R (\cos\beta - \cos\alpha)$$

Keterangan:
 W = energi yang diserap benda uji (J)
 G = berat pendulum (N)
 R = jarak pendulum ke pusat rotasi (m)
 β = sudut pendulum setelah tabrak benda uji (°)
 α = sudut pendulum tanpa benda uji (°)

- Rumus kekuatan impact

$$IS = \frac{w}{b_i \times h_i}$$

keterangan:
 IS = Kekuatan Impact (J/mm)
 w = energi terserap benda uji (J)
 b_i = lebar benda uji impact (mm)
 h_i = tebal benda uji impact (mm)

2. Uji Mikro SEM

Selain pengujian mekanik, dilakukan analisis mikrostruktur menggunakan *Scanning Electron Microscopy (SEM)*. Analisis ini bertujuan untuk mengamati morfologi patahan, distribusi serat, ikatan matriks-serat, serta keberadaan cacat seperti void atau retakan. Hasil pengamatan SEM kemudian dikorelasikan dengan data uji impact untuk memberikan interpretasi menyeluruh mengenai mekanisme kegagalan material. Dengan demikian, kombinasi uji impact dan analisis SEM memberikan gambaran komprehensif mengenai sifat mekanik sekaligus karakteristik mikrostruktur komposit.

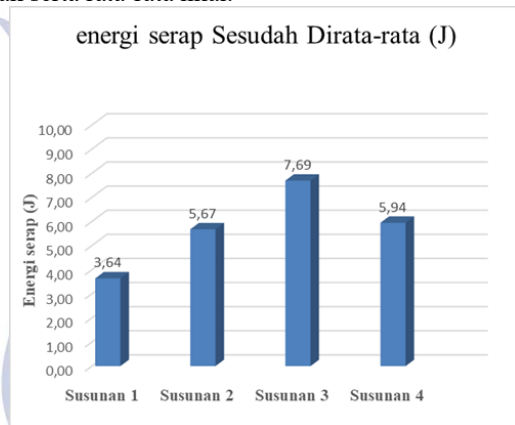
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Impact

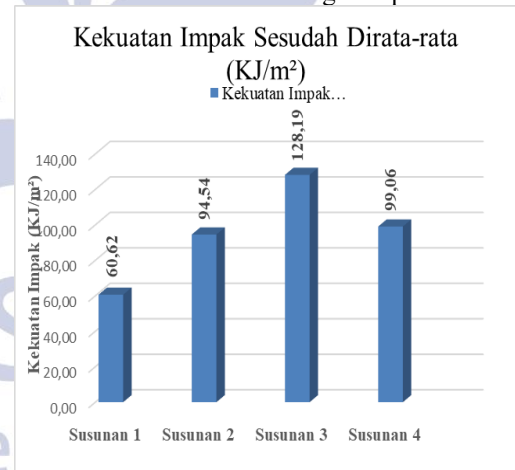
Tabel 1 data hasil pengujian impact

NO	Sudut Awal (°)	Sudut Akhir (°)	Susunan	Note	Energi Serap (J)	Rata-rata (J)	Kekuatan Impact (KJ/m ²)	Rata-Rata
1	120	115,2	Susunan 1	1-1	3,74	3,64	62,38	60,62
2	120	115,3		1-2	3,66		61,06	
3	120	115,5		1-3	3,50		58,41	
4	120	112,8	Susunan 2	2-1	5,67	5,67	94,54	94,54
5	120	112,9		2-2	5,59		93,19	
6	120	112,7		2-3	5,75		95,90	
7	120	110,5	Susunan 3	3-1	7,55	7,69	125,90	128,19
8	120	110,2		3-2	7,80		130,03	
9	120	110,3		3-3	7,72		128,65	
10	120	112,5	Susunan 4	4-1	5,92	5,94	98,61	99,06
11	120	112,7		4-2	5,75		95,90	
12	120	112,2		4-3	6,16		102,68	

Pada tabel 1 memberikan informasi perbedaan tiap susunan lamina, sudut awal dan sudut akhir, energi serap, kekuatan impact serta rata-rata nilai.



Grafik 1 nilai energi serap



Grafik 2 nilai kekuatan impact

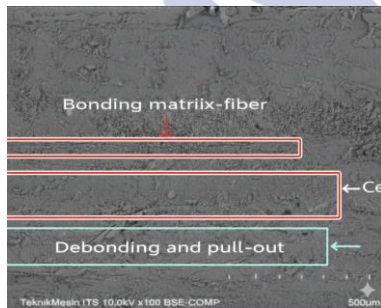
Berdasarkan tabel hasil pengujian impact, dapat disimpulkan bahwa susunan lamina dalam komposit berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kekuatan impact dan energi serap. Variasi susunan serat ke-3, yaitu konfigurasi rami-karbon-karbon-rami, menunjukkan performa paling unggul dengan nilai rata-rata energi serap sebesar 7,69 J serta kekuatan impact mencapai 128,19 kJ/m². sedangkan diketahui bahwa Susunan 1 merupakan variasi dengan performa paling rendah. Nilai rata-rata energi serap yang dihasilkan hanya sebesar 3,64 J, sedangkan kekuatan impact tercatat sebesar 60,62 kJ/m².

Rendahnya nilai energi serap dan kekuatan impact pada Susunan 1 menunjukkan bahwa konfigurasi lamina tersebut tidak mampu mendistribusikan tegangan secara optimal ketika menerima beban kejut. Hal ini dapat disebabkan oleh ikatan matriks-serat yang kurang homogen serta distribusi serat yang tidak seimbang, sehingga material lebih cepat mengalami retakan atau delaminasi. Dengan demikian, Susunan 1 memiliki ketangguhan paling rendah dan kurang efektif dalam menahan beban impact.

Secara keseluruhan, susunan lamina terbukti berpengaruh pada kekuatan dan energi serap impact material komposit. Susunan lamina rami-karbon-karbon-rami merupakan susunan lamina dengan performa mekanis yang terbaik, sementara susunan lamina rami-karbon-rami-karbon lebih cepat mengalami retakan dan memiliki ketangguhan yang rendah terhadap beban kejut.

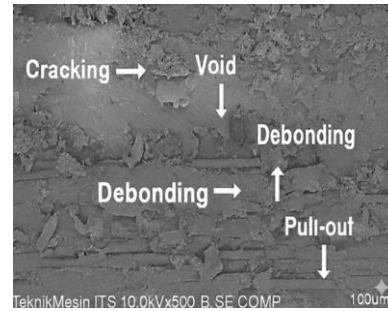
Hasil Pengujian Struktur Mikro

Pada pengamatan struktur Mikro untuk komposit hybrid bermatiks epoxy dengan susunan terbaik pada konfigurasi rami-karbon-karbon-rami dengan foto struktur mikro menggunakan mikroskop optik pembesaran 100 X dan 500 X.



Gambar 2. Foto mikro susunan terbaik 100 X

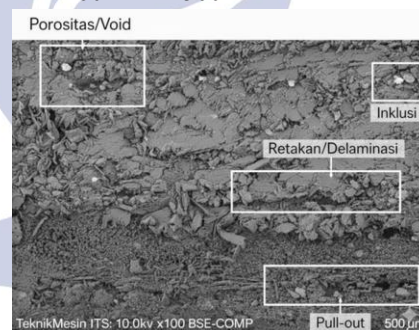
Berdasarkan gambar 2. Hasil pengamatan SEM pada perbesaran 100x menunjukkan morfologi komposit yang tidak homogen, dengan jalur tengah berpola garis sejajar akibat deformasi mekanis. Permukaan di sekitar jalur tampak kasar dan tidak beraturan, disertai rongga (void) serta retakan kecil. Kondisi ini menandakan ikatan matriks-serat kurang sempurna sehingga memungkinkan terjadinya debonding dan pull-out serat, yang berpotensi menurunkan sifat mekanik komposit. Namun, serat yang masih menahan beban sebelum terlepas tetap memberi kontribusi terhadap ketangguhan material.



Gambar 3. Foto mikro susunan terbaik 500 X

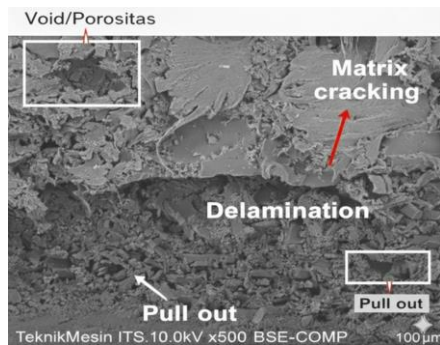
Berdasarkan gambar 3. Hasil foto Citra SEM dengan perbesaran 500x menunjukkan morfologi patahan komposit serat karbon-rami dengan resin polyester setelah beban impact. Tampak retakan halus dalam matriks, void mikro akibat pelepasan energi, serta fenomena debonding dan pull-out serat. Pada perbesaran ini, mekanisme kegagalan komposit terlihat lebih jelas melalui interaksi retakan, pelepasan serat, dan terbentuknya rongga mikro.

Pada pengamatan struktur Mikro untuk komposit hybrid bermatiks epoxy dengan susunan terburuk pada konfigurasi rami-karbon-rami-karbon dengan foto struktur mikro menggunakan mikroskop optik pembesaran 100 X dan 500 X.



Gambar 4 Foto mikro susunan terburuk 100 X

Berdasarkan gambar 4. Hasil pengamatan Citra SEM perbesaran 100x pada susunan terburuk menunjukkan adanya cacat mikro berupa porositas, retakan/delaminasi, inklusi, dan pull-out serat. Porositas tampak sebagai rongga gelap tidak beraturan, retakan memanjang menandakan pelemahan ikatan antar lapisan, inklusi terlihat sebagai partikel terang yang menunjukkan distribusi material tidak homogen, sedangkan pull-out tampak sebagai area kosong akibat serat terlepas dari matriks. Keberadaan cacat-cacat ini menurunkan integritas struktur dan kekuatan mekanik komposit.



Gambar 5 Foto mikro susunan terburuk 500 X

Citra SEM perbesaran 500× pada susunan terburuk menunjukkan adanya void berupa rongga gelap tidak beraturan, retakan besar yang menjalar diagonal, serta fenomena delaminasi antar lapisan. Terlihat pula area pull-out akibat serat tercabut dari matriks dan meninggalkan permukaan berpori. Pada perbesaran ini, detail mekanisme kegagalan komposit tampak lebih jelas, menegaskan lemahnya ikatan resin-serat yang menurunkan integritas material.

SIMPULAN

Hasil pengujian impact menunjukkan bahwa komposit serat karbon-rami berpenguat resin polyester memiliki kemampuan menyerap energi, namun nilai ketangguhan dan kekuatan tariknya dipengaruhi oleh kualitas ikatan antarmuka antara matriks dan serat. Energi serap yang relatif menurun pada beberapa sampel mengindikasikan adanya kelemahan struktural yang tidak hanya berasal dari sifat material secara keseluruhan, tetapi juga dari kondisi mikro yang terbentuk selama proses fabrikasi.

Hal ini diperkuat oleh pengamatan citra SEM pada berbagai perbesaran, yang memperlihatkan morfologi permukaan patahan dengan karakteristik cacat mikro seperti porositas atau void, retakan, delaminasi, inklusi, serta fenomena debonding dan pull-out serat. Pada perbesaran rendah (100×), terlihat ketidakhomogenan permukaan dengan rongga dan retakan kecil yang menandakan lemahnya ikatan matriks-serat. Sedangkan pada perbesaran lebih tinggi (500×), mekanisme kegagalan tampak lebih jelas melalui propagasi retakan besar, pemisahan antar lapisan (delaminasi), serta serat yang tercabut meninggalkan jejak rongga mikro.

Hasil uji impact dan SEM memberikan gambaran menyeluruh bahwa ketidak sempurnaan ikatan antar muka berkontribusi signifikan terhadap penurunan sifat mekanik komposit. Retakan dan void yang terbentuk menjadi jalur awal propagasi kerusakan, sementara debonding dan pull-out serat mempercepat pelepasan energi saat beban impact diberikan. Meskipun demikian, keberadaan serat yang masih mampu menahan beban sebelum terlepas tetap memberikan kontribusi terhadap ketangguhan material,

sehingga komposit tidak sepenuhnya kehilangan kemampuan menyerap energi.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sifat mekanik komposit sangat dipengaruhi oleh kualitas ikatan matriks-serat. Uji impact menegaskan adanya penurunan energi serap, sedangkan citra SEM memperlihatkan detail mikro penyebabnya. Keterkaitan keduanya menunjukkan bahwa peningkatan kualitas proses fabrikasi dan optimasi distribusi serat dalam matriks menjadi faktor penting untuk menghasilkan komposit dengan performa mekanik yang lebih baik dan lebih tahan terhadap beban dinamis.

SARAN

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan variasi susunan serat yang lebih beragam, termasuk orientasi silang dan kombinasi hibrid, guna memperoleh gambaran lebih jelas mengenai pengaruh konfigurasi terhadap sifat mekanik komposit.
2. Mengombinasikan pengamatan SEM dengan analisis Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS), sehingga tidak hanya morfologi permukaan yang terlihat, tetapi juga komposisi unsur pada area interface serat-matriks.
3. Perlu dilakukan studi lanjutan dengan mengatur variasi fraksi volume serat agar dapat mengetahui komposisi terbaik yang menghasilkan kekuatan mekanik maksimal dan penggunaan material yang lebih efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Aritonang, R. S. (2023). *Manufaktur dan Perhitungan Cured Ply Thickness (CPT) pada Komposit Serat Karbon Twill - Matriks Vinyl Ester dengan Metode Manufaktur Vacuum Infusion Process*. 7(1), 30–34.
- Nugroho, F. (2017). *PENGARUH KANDUNGAN PARTIKEL SERBUK GENTENG SOKKA TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN KEKUATAN IMPAK PADA KOMPOSIT BERMATRIKS EPOXY*. 2–9.
- Prihatno, A., Mesin, J. T., Bengkalis, P. N., & Serat, S. (2020). *TERHADAP KEKUATAN TARIK MENGGUNAKAN EPOXY Abstrak*. 09(3).
- Samudra, E., Setiawan, F., & Wicaksono, D. (2023). *Pengujian Keausan Material Komposit Serat Karbon Pada Fuselage Uav Skywalker 1900. Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 9(2), 223–230. <https://doi.org/10.56521/teknika.v9i2.948>
- 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>

Sugiyono, 2019. (2020). *Sugiyono. (2020). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. In 2 (pp. III-434).*

Utomo, S. W. E. (2020). Analisis Pengaruh Tekanan Vacuum Pada Proses Pembuatan Komposit Carbon Fiber Menggunakan Metode Vacuum Infusion. *Machine : Jurnal Teknik Mesin*, 6(2), 6-11.
<https://doi.org/10.33019/jm.v6i2.1438>

Yudha, V., Ferriawan Yudhanto, & Joko Waluyo. (2023). Analisa Sifat Fisis Dan Mekanis Komposit Hibrid Serat Jute/Karbon Yang Dibuat Dengan Metode Vacuum Infusion Sebagai Alternatif Bahan Helm. *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 8(1), 25-35.
<https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v8i1.248>

Yudhistira, D. (2022). Analisis Perbandingan Kekuatan Komposit Hybrid Sandwich Serat Rami-E-Glass/Epoxy Berdasarkan Variasi Ketebalan Core Kayu Balsa Terhadap Kemampuan Uji Bending. *Conference SENATIK STT Adisutjipto Yogyakarta*, 7, 69-78. <https://doi.org/10.28989/senatik.v7i0.465>

