

ANALISIS FISIS DAN MEKANIS KOMPOSIT *HYBRID* SERAT ECENG GONDOK – KARBON DENGAN METODE *VACUUM INFUSION* SEBAGAI APLIKASI *SWING ARM* MOTOR

Muhammad Zidane Ilham

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: muhammadzidane.22023@mhs.unesa.ac.id

Mochamad Arif Irfa'i

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: arifirfai@unesa.ac.id

Abstrak

Swing arm merupakan komponen penting pada sistem suspensi sepeda motor yang menahan beban roda belakang dan menjaga kestabilan kendaraan. Material konvensional memiliki bobot tinggi dan rentan korosi, sehingga diperlukan alternatif material yang lebih ringan dan kuat. Penelitian ini bertujuan menganalisis kekuatan geser komposit hybrid serat eceng gondok dan serat karbon sebagai material alternatif swing arm motor. Komposit difabrikasi menggunakan metode *vacuum infusion* dengan matriks resin epoksi dan disusun dalam empat variasi laminasi, yaitu Eceng Gondok–Karbon–Eceng Gondok–Karbon, Karbon–Eceng Gondok–Eceng Gondok–Karbon, Eceng Gondok–Karbon–Karbon–Eceng Gondok, dan Karbon–Karbon–Eceng Gondok–Eceng Gondok. Pengujian geser dilakukan berdasarkan standar ASTM D5379. Hasil penelitian menunjukkan bahwa susunan laminasi berpengaruh signifikan terhadap kekuatan geser komposit. Variasi Karbon–Eceng Gondok–Eceng Gondok–Karbon menghasilkan kekuatan geser tertinggi sebesar 23,6–26,61 MPa, diikuti Eceng Gondok–Karbon–Eceng Gondok–Karbon sebesar 20,9–23,9 MPa, sedangkan Eceng Gondok–Eceng Gondok–Karbon–Karbon dan Eceng Gondok–Karbon–Karbon–Eceng Gondok menunjukkan nilai lebih rendah. Penempatan serat karbon pada lapisan luar terbukti meningkatkan ketahanan terhadap tegangan geser.

Kata Kunci: komposit hybrid, serat eceng gondok, *vacuum infusion*, *swing arm*, uji geser.

Abstract

Swing arm is an important component in motorcycle suspension system that supports rear wheel load and maintains vehicle stability. Conventional materials are heavy and susceptible to corrosion, so lighter and stronger alternative materials are needed. This study aims to analyze the shear strength of hybrid composites of water hyacinth fiber and carbon fiber as an alternative material for motorcycle swing arms. The composites were fabricated using the vacuum infusion method with an epoxy resin matrix and arranged in four laminate variations, namely Water Hyacinth–Carbon–Water Hyacinth–Carbon, Carbon–Water Hyacinth–Water Hyacinth–Carbon, Water Hyacinth–Carbon–Carbon–Water Hyacinth, and Carbon–Carbon–Water Hyacinth–Water Hyacinth. Shear testing was carried out based on ASTM D5379 standards. The results showed that the laminate arrangement had a significant effect on the shear strength of the composite. The Carbon–Water Hyacinth–Water Hyacinth–Carbon variation produced the highest shear strength of 23.6–26.61 MPa, followed by Water Hyacinth–Carbon–Water Hyacinth–Carbon at 20.9–23.9 MPa, while Water Hyacinth–Water Hyacinth–Carbon–Carbon and Water Hyacinth–Carbon–Carbon–Water Hyacinth showed lower values. The placement of carbon fiber on the outer layer was proven to increase resistance to shear stress.

Keywords: hybrid composite, water hyacinth fiber, vacuum infusion, swing arm, shear test..

PENDAHULUAN

Swing arm merupakan komponen penting pada sepeda motor yang berfungsi menopang roda belakang, meredam beban, serta menjaga kestabilan kendaraan, sehingga menuntut material yang kuat dan aman (Smith & Kienhöfer 2014). Material konvensional seperti baja lunak masih banyak digunakan karena kemudahan fabrikasi, namun memiliki kelemahan berupa bobot tinggi, rasio kekuatan terhadap berat yang rendah, serta rentan terhadap korosi, yang dapat menurunkan efisiensi dan performa kendaraan (Ardjuna dkk., 2024).

Komposit hybrid menawarkan alternatif material yang lebih ringan, memiliki kekuatan spesifik tinggi, tahan korosi, mampu meredam getaran, serta fleksibel dalam desain melalui

pengaturan orientasi serat (Santulli, 2019).

Komposit merupakan material rekayasa yang tersusun atas matriks dan serat penguat, di mana matriks berfungsi mendistribusikan beban dan menjaga integritas struktur, sedangkan serat berperan sebagai penahan utama beban mekanik (Hasyim dkk., 2018; Yunus dkk., 2020).

Penggunaan serat alam sebagai penguat komposit menjadi perhatian karena sifatnya yang ringan, ramah lingkungan, dan mudah diperoleh, salah satunya serat eceng gondok (Sulardjaka dkk., 2020; Siagian dkk., 2024). Namun, serat eceng gondok memiliki keterbatasan berupa kekuatan mekanik yang relatif rendah dan sifat higroskopis, sehingga memerlukan kombinasi dengan serat sintetis seperti serat karbon untuk meningkatkan performa mekanik (Sabuin *et al.*, 2015; (Santulli, 2019).

Serat karbon memiliki kekuatan dan kekakuan tinggi serta bobot ringan, namun penggunaannya secara tunggal menimbulkan isu keberlanjutan lingkungan (Santulli, 2019).. Oleh karena itu, penggabungan serat karbon dan serat eceng gondok dalam komposit hybrid diharapkan mampu menghasilkan material dengan sifat mekanik yang baik sekaligus lebih ramah lingkungan.

Metode *vacuum infusion* dipilih karena mampu menghasilkan distribusi resin yang merata, fraksi serat yang lebih terkontrol, serta kandungan cacat yang rendah dibandingkan metode konvensional (Sugiyono, 2020).. Selain metode fabrikasi, susunan laminasi juga berperan penting dalam menentukan distribusi tegangan dan kekuatan mekanik komposit, khususnya terhadap beban geser (Andreawan & Arif Irfa'i, 2019).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi susunan laminasi komposit hybrid serat eceng gondok dan serat karbon bermatriks resin epoksi terhadap kekuatan geser dan struktur makro sebagai aplikasi swing arm motor. Pemilihan swing arm didasarkan pada kondisi kerja komponen yang menerima beban geser signifikan dari roda, suspensi, dan sistem penggerak, sehingga ketahanan terhadap tegangan geser menjadi faktor utama dalam menjamin keselamatan dan keandalan material (Ardjuna dkk., 2024).

METODE

Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam studi ini merupakan kombinasi antara metode kuantitatif dan eksperimental. Pendekatan ini dinilai sangat sesuai dalam penelitian mengenai material komposit, khususnya terkait dengan variasi susunan lamina. Mengacu pada pendapat (Sugiyono), penelitian kuantitatif eksperimental merupakan pendekatan yang dilakukan secara sistematis dan terukur untuk mengetahui pengaruh suatu perlakuan dengan menggunakan data numerik yang kemudian dianalisis secara statistik. Dengan metode ini, peneliti dapat menarik kesimpulan hubungan sebab-akibat yang valid dan dapat dipertanggung jawabkan secara ilmiah sesuai prinsip penelitian kuantitatif dan eksperimen (Sugiyono, 2020).

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 – Januari 2026 hingga segala data dan analisa yang dibutuhkan terpenuhi.

Variabel Penelitian

- Variabel Bebas

Variabel independen yang digunakan pada

penelitian ini yaitu menggunakan variasi susunan lamina yang terdiri dari serat karbon dan serat eceng gondok diantaranya:

1. Karbon-Eceng Gondok-Eceng Gondok-Karbon
2. Eceng Gondok-Eceng Gondok-Karbon-Karbon
3. Eceng Gondok-Karbon-Karbon-Eceng Gondok
4. Eceng Gondok-Karbon-Eceng Gondok-Karbon

- Variabel Terikat

1. Uji Geser.
2. Uji Makro.

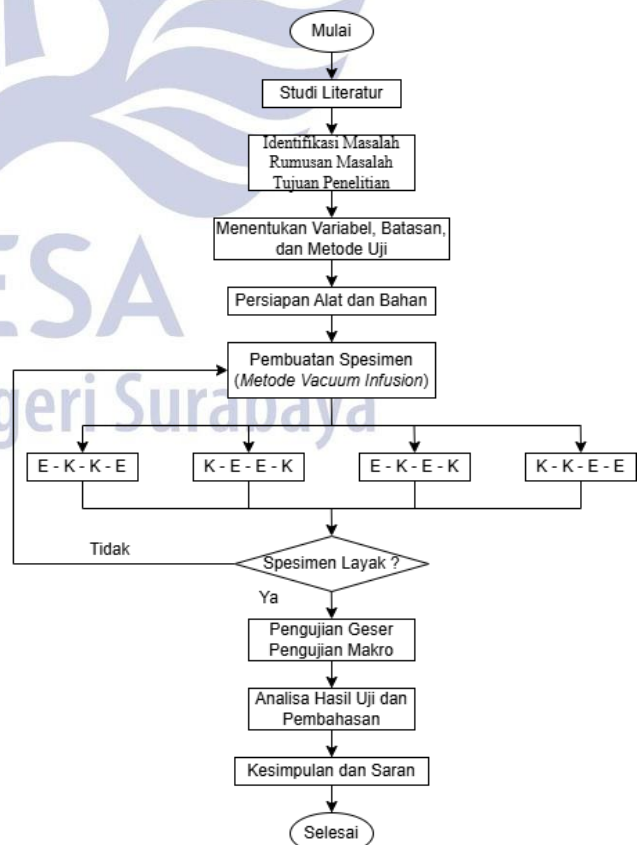
- Variabel Kontrol

1. Matriks yang digunakan resin epoksi
2. Jumlah susunan lamina 4 lapis
3. Menggunakan metode VARI
4. Standart uji geser ASTM D 5379

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 didapat melalui metode ini dianggap memiliki tingkat keakuratan yang tinggi. Proses analisis data sangat berguna untuk menghasilkan kesimpulan yang akurat serta dan interpretasi hasil secara menilai keberhasilan dari penelitian yang dilakukan.

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

1. Uji Geser

1. Rumus tegangan uji geser

$$\tau = \frac{P}{ct}$$

Keterangan:

τ = Tegangan geser (MPa)

P = Beban yang diberikan (N)

c = Jarak antar *V-notched* (mm)

t = Ketebalan spesimen (mm)

2. Uji Makro

1. Meletakkan spesimen pada meja objek.
2. Mengarahkan bidikan ke objek/spesimen kemudian fokuskan hingga diperoleh hasil yang terbaik
3. Melakukan pemotretan
4. Dengan melihat hasil pemotretan akan disimpulkan bentuk geseran tercabutnya serat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

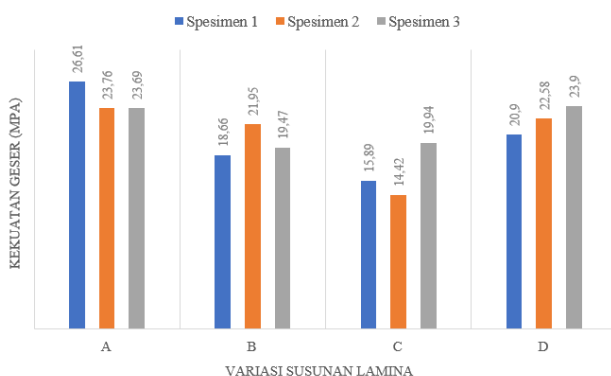
Hasil Pengujian Geser

Tabel 1 Data Hasil Pengujian Geser

Jenis	Sampel	Beban Geser (Kg)	Beban Geser (N)	t (mm)	d ₁ (mm)	d ₂ X t (mm ²)	Kekuatan Geser	Rata Rata Kekuatan Geser
A	1A	125,2	1228,212	3,55	13	46,15	26,61347779	24,69037158
	2A	128,5	1260,585	4,08	13	53,04	23,76668552	
	3A	119,3	1170,333	3,8	13	49,4	23,69095142	
B	1B	123,7	1213,497	5	13	65	18,66918462	20,03388455
	2B	115,8	1135,998	3,98	13	51,74	21,95589486	
	3B	119,5	1172,295	4,63	13	60,19	19,47657418	
C	1C	83,4	818,154	3,96	13	51,48	15,89265734	16,75229728
	2C	90,2	884,862	4,72	13	61,36	14,4208279	
	3C	88,8	871,128	3,36	13	43,68	19,94340659	
D	1D	115,8	1135,998	4,18	13	54,34	20,90537357	22,46442503
	2D	120,3	1180,143	4,02	13	52,26	22,58214696	
	3D	124,5	1221,345	3,93	13	51,09	23,90575455	

Pada tabel 1 memberikan informasi perbedaan variasi terhadap susunan lamina, beban maks, dan kekuatan geser.

PENGARUH SUSUNAN LAMINA TERHADAP KEKUATAN GESER



Grafik 1 Kekuatan Geser

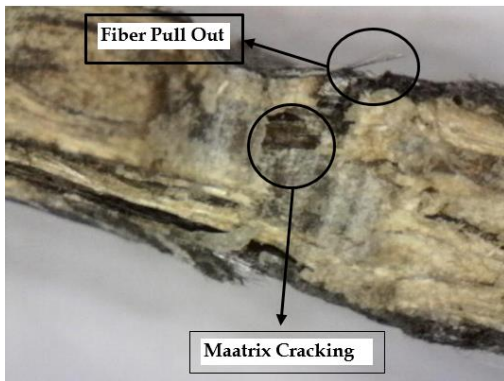
Grafik kekuatan geser menunjukkan bahwa setiap variasi susunan lapisan komposit hybrid karbon-eceng gondok menghasilkan nilai yang berbeda. Variasi A (K-E-E-K) memiliki nilai kekuatan geser tertinggi dengan kisaran 23,6–26,61 MPa, diikuti oleh variasi D (E-K-E-K) pada rentang 20,9–23,9 MPa, sedangkan variasi B (E-E-K-K) berada pada nilai menengah sekitar 18,7–22,0 MPa dan variasi C (E-K-K-E) menunjukkan nilai terendah dengan kisaran 14,4–19,9 MPa. Perbedaan ini dipengaruhi oleh posisi dan urutan lapisan serat, di mana penempatan serat karbon pada lapisan luar atau secara selang-seling mampu meningkatkan kemampuan menahan tegangan geser, sementara dominasi serat eceng gondok pada lapisan luar menurunkan efektivitas transfer tegangan. Selain itu, variasi nilai antar spesimen juga dipengaruhi oleh perbedaan luas penampang dan ketebalan spesimen, karena nilai kekuatan geser dihitung berdasarkan rasio gaya terhadap luas penampang, sehingga spesimen dengan penampang lebih kecil cenderung menghasilkan nilai tegangan geser yang lebih tinggi (Fajrin n.d., 2018).

Perbedaan nilai kekuatan geser pada variasi A, B, C, dan D terjadi karena perbedaan susunan lamina serat karbon dan serat eceng gondok yang memengaruhi distribusi serta mekanisme transfer tegangan geser di dalam komposit. Variasi A (K-E-E-K) menghasilkan kekuatan geser tertinggi karena penempatan serat karbon pada lapisan luar mampu menahan tegangan geser secara lebih efektif dan menjaga stabilitas antarlapisan. Sebaliknya, variasi C (E-K-K-E) menunjukkan nilai terendah akibat dominasi serat eceng gondok pada lapisan luar yang memiliki sifat mekanik lebih rendah dan lebih mudah mengalami kerusakan awal. Sementara itu, variasi B (E-E-K-K) dan D (E-K-E-K) menghasilkan nilai menengah karena posisi serat karbon tidak sepenuhnya berada pada lapisan luar, sehingga kemampuan menahan dan mendistribusikan tegangan geser menjadi kurang optimal.

Susunan A (K-E-E-K) menjadi konfigurasi terbaik karena serat karbon yang berada di lapisan luar berperan sebagai lapisan penahan utama terhadap tegangan geser, terutama karena tegangan maksimum cenderung terjadi di area permukaan saat pembebanan. Keberadaan serat karbon dengan sifat mekanik yang lebih tinggi meningkatkan stabilitas antarlapisan dan mengurangi inisiasi kerusakan seperti *matrix cracking* dan *fiber pull-out*. Di sisi lain, serat eceng gondok yang ditempatkan pada lapisan tengah terlindungi dari konsentrasi tegangan, sehingga transfer tegangan dari matriks ke serat berlangsung lebih optimal. Kombinasi susunan ini menjadikan variasi A memiliki kekuatan geser tertinggi dibandingkan variasi lainnya.

Hasil Pengujian Makro

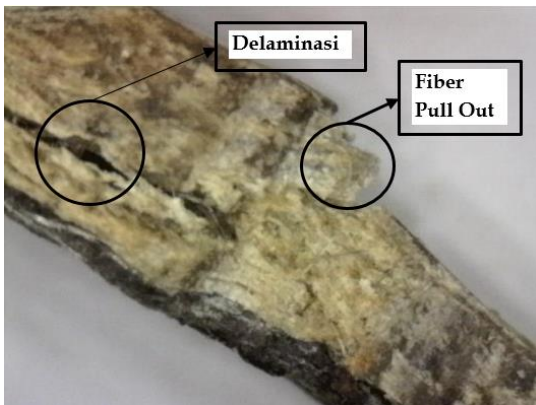
1. Susunan Karbon – Eceng Gondok – Eceng Gondok – Karbon



Gambar 1 Hasil foto makro

Pada gambar 1 Berdasarkan pengamatan makro pada permukaan patahan setelah pengujian geser, komposit serat eceng gondok menunjukkan beberapa mekanisme kerusakan. menunjukkan performa terbaik pada pengujian geser dengan tingkat kerusakan paling minimal. Penempatan serat karbon pada lapisan luar mampu menahan tegangan geser secara efektif dan menjaga kestabilan antarmuka antar lapisan. Kerusakan yang teramati didominasi oleh matrix cracking ringan di area tengah specimen dan disertai delaminasi yang ringan. Lapisan serat eceng gondok yang berada di bagian inti berperan dalam meredam konsentrasi tegangan geser, sehingga mampu menghambat pertumbuhan delaminasi. Selain itu, fenomena fiber pull-out sedikit yang menunjukkan ikatan antar lapisan cukup baik selama pembebanan geser (Nindhia n.d., 2025).

2. Susunan Eceng Gondok – Eceng Gondok – Karbon – Karbon

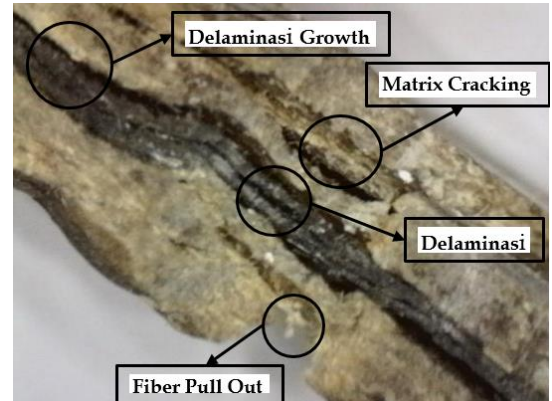


Gambar 1 Hasil foto makro

Pada gambar 4.2 menunjukkan kerusakan tingkat sedang pada pengujian geser, dengan dominasi kegagalan antarlapisan. Dua lapisan serat eceng gondok yang berurutan menyebabkan penurunan kemampuan menahan tegangan geser, sehingga retak matriks muncul lebih awal. Perbedaan modulus geser antara lapisan eceng gondok dan karbon memicu konsentrasi tegangan tinggi pada antarmuka, yang menyebabkan terjadinya delaminasi. Ikatan serat eceng gondok terhadap matriks epoxy yang relatif lemah juga mengakibatkan fiber pull-out, sehingga mempercepat

propagasi retak dan pertumbuhan delaminasi selama pengujian geser (Nindhia n.d., 2025).

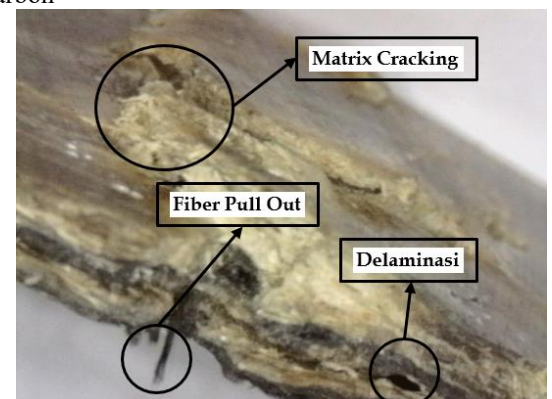
3. Susunan Eceng Gondok – Karbon – Karbon – Eceng Gondok



Gambar 1 Hasil foto makro

Pada gambar 4.3 spesimen ini mengalami kerusakan paling parah pada pengujian geser. Penempatan serat eceng gondok pada lapisan luar menyebabkan lapisan tersebut langsung menerima tegangan geser maksimum, sementara lapisan serat karbon di bagian tengah menciptakan ketidak seragaman distribusi tegangan. Akibatnya, konsentrasi tegangan geser tinggi terjadi pada antarmuka E-K yang memicu delaminasi awal. Kerusakan berkembang pesat dalam bentuk matrix cracking yang diikuti fiber pull-out pada lapisan eceng gondok. Retak antar lapisan ini menjadi jalur utama bagi delaminasi growth, sehingga kegagalan geser terjadi lebih cepat dan bersifat progresif (Yuliyono dkk., 2020).

4. Susunan Eceng Gondok – Karbon – Eceng Gondok – Karbon



Gambar 1 Hasil foto makro

Pada gambar 4.4 pada spesimen tersebut mengalami kerusakan yang lebih besar dibandingkan spesimen A, namun masih relatif terkendali pada pengujian geser. Susunan lamina berselang-seling menyebabkan distribusi tegangan geser lebih merata di sepanjang specimen. Kerusakan awal umumnya berupa matrix cracking pada lapisan serat eceng gondok, terutama di daerah konsentrasi tegangan geser. Delaminasi terjadi secara lokal pada antarmuka E-K, tetapi pertumbuhannya terhambat oleh keberadaan lapisan serat karbon. Mekanisme fiber pull-out terjadi dalam jumlah terbatas, sehingga delaminasi growth tidak

berkembang secara signifikan (Yuliyono dkk., 2020).

SIMPULAN

Hasil pengujian geser komposit hybrid serat karbon–eceng gondok berdasarkan standar ASTM D5379 menunjukkan bahwa susunan lamina berpengaruh signifikan terhadap kekuatan geser. Variasi K–E–E–K menghasilkan kekuatan geser tertinggi sebesar 23,6–23,7 MPa akibat penempatan serat karbon pada lapisan luar yang meningkatkan transfer tegangan dan stabilitas antarlapisan, sedangkan variasi E–K–K–E menunjukkan kekuatan terendah sebesar 14,4–19,9 MPa karena dominasi serat eceng gondok pada lapisan luar. Variasi E–E–K–K dan E–K–E–K menghasilkan nilai menengah, menegaskan bahwa urutan lapisan memengaruhi distribusi tegangan geser.

Pengamatan foto makro menunjukkan bahwa susunan K–E–E–K mengalami kerusakan paling minimal berupa *matrix cracking* ringan dan *fiber pull-out* terbatas tanpa delaminasi signifikan. Sebaliknya, susunan dengan serat eceng gondok pada lapisan luar memperlihatkan kerusakan yang lebih parah. Hasil ini mengonfirmasi bahwa penempatan serat karbon pada lapisan luar memberikan performa dan stabilitas struktur terbaik, sehingga berpotensi diaplikasikan sebagai material swing arm motor.

SARAN

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan perlakuan permukaan (surface treatment) pada serat eceng gondok, seperti perlakuan alkali (NaOH) dengan variasi konsentrasi dan waktu perendaman. Perlakuan ini diharapkan dapat meningkatkan ikatan antarmuka serat–matriks sehingga mampu menekan terjadinya delaminasi, *matrix cracking*, dan *fiber pull-out*, sebagaimana dilaporkan pada penelitian komposit serat alam sebelumnya.
2. Penelitian selanjutnya dapat mengkaji pengaruh variasi fraksi volume serat dan ketebalan laminasi terhadap kekuatan geser komposit agar diperoleh konfigurasi yang lebih optimal.
3. Selain pengujian geser, disarankan untuk melakukan pengujian mekanik lainnya seperti uji tarik, uji lentur, uji impak, serta uji kelelahan (fatigue) agar diperoleh karakteristik mekanik komposit yang lebih komprehensif dan relevan dengan kondisi kerja swing arm motor.
4. Untuk mendukung aplikasi nyata, penelitian ke depan juga dapat diarahkan pada analisis numerik dan simulasi pembebanan swing arm berbahan komposit hybrid, sehingga hasil eksperimen dapat divalidasi dan dioptimalkan secara desain.

DAFTAR PUSTAKA

- Andreawan, A., & Arif Irfai, M. (2019). Pengaruh Arah Orientasi Serat Ijuk Dan Serat E-Glass Terhadap Kekuatan Geser Komposit Hybrrid Dengan Resin Polyester. *Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya*, 07, 119–121.
- Ardjuna, B., Setiyana, B., & Haryanto, I. (2024). Optimasi Desain Swingarm Tipe Monoshock Dua Lengan Dengan Software Solidworks. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 12(2), 1–10.
- Fajrin, J., & Sari, N. H. (2018). *Shear properties evaluation of natural fibre reinforced epoxy composites using V-notch shear test*. 02004.
- 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.
- Purwadnyana, I. B. P., & Nindhia, T. G. T. (2025). *Pengaruh Metode Fabrikasi Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Serat Cordyline Australis*. 13(2), 199–209.
- Sabuin, A., Boimau, K., Adoe, D. G. H., & Mesin, J. T. (2015). Pengaruh Temperatur Pengovenan terhadap Sifat Mekanik Komposit Hibrid Polyester Berpenguat Serat Glass dan Serat Daun Gewang. *LONTAR Jurnal Teknik Mesin Undana (LJTMU)*, 2(1), 69–78.
- Santulli, C. (2019). Mechanical and impact damage analysis on carbon/natural fibers hybrid composites: A review. *Materials*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/ma12030517>
- Siagian, D. E. N., Hakiem, M., & Putra, S. (2024). Serat Alam Sebagai Bahan Komposit Ramah Lingkungan Natural Fiber As an Environmentally Friendly Composite Material. *CIVeng*, 5(1), 55–60.
- Smith, B., & Kienhöfer, F. (2014). Development of a carbon fibre swingarm. *9th South African Conference on Computational and Applied Mechanics, SACAM 2014, January*.
- Sugiyono. (2020). *Metodologi Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D*.
- Sulardjaka, S., Nugroho, S., & Ismail, R. (2020). Peningkatan Kekuatan Sifat Mekanis Komposit Serat Alam menggunakan Serat Enceng Gondok (Tinjauan Pustaka). *Teknik*, 41(1), 27–39. <https://doi.org/10.14710/teknik.v41i1.23473>
- Yuliyono, T., Purwanto, H., & Respati, S. M. B. (2020). *KARAKTERISASI KOMPOSIT Matrik Resin Epoxy Berpenguat Serat Glass dan Serat PelepaH Salak Dengan Perlakuan NaOH 5%*. 16, 156–161.
- Yunus, M., Arnoldi, D., & Prakarsa, M. C. P. (2020). Serat

Fiberglass Dan Serat Daun Nanas Dengan Matrik
Resin Polyester Pada Panel Panjat Dinding.
Jurnal Austenit, 12(1), 21–27.