

PENGARUH PENAMBAHAN KARBON AKTIF TERHADAP KEKUATAN MEKANIS KOMPOSIT EPOKSI SERAT KARBON DAN SERAT ECENG GONDOK

Alfan Wahyu Santosa¹⁾ Sakuri Sakuri²⁾

^{1,2)} Jurusan Teknik Mesin,
STT WIWOROTOMO PURWOKERTO
Jl. semingkir No. 01 Purwokerto,
Banyumas, Jawa Tengah, INDONESIA -
53134
Alfansantosa572@gmail.com

Abstract

The development of composite materials with high mechanical performance and minimal environmental impact is a primary focus in modern material engineering. This study aims to analyze the effect of varying activated carbon additions (5%, 10%, and 15% by resin weight) on the mechanical strength (tensile and flexural) of hybrid epoxy composites reinforced with carbon fiber and water hyacinth fiber. The composition of carbon fiber (20%) and water hyacinth fiber (10%) was kept constant, with a layered configuration (carbon fiber on the outer layers, water hyacinth in the middle). Specimens were fabricated using the hand lay-up method and cured for 24 hours. Mechanical tests were conducted according to ASTM D638 for tensile strength and ASTM D790 for flexural strength. The results indicate that activated carbon addition significantly affects the mechanical strength of the composites. The 10% activated carbon variation yielded the highest average tensile strength of 135.13 MPa and the highest average flexural strength of 132.04 MPa. This optimality is attributed to the uniform distribution of activated carbon, its ability to fill voids, and its enhancement of the interfacial bonding between the matrix and fibers. However, increasing activated carbon to 15% led to a decrease in both tensile strength (117.37 MPa) and flexural strength (110.39 MPa) due to particle agglomeration, which created weak points. This research confirms the existence of an optimal activated carbon content for improving the performance of carbon fiber and water hyacinth fiber hybrid composites.

Keywords: composite, carbon, water hyacinth fiber, activated carbon, mechanical strength.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di berbagai sektor, seperti otomotif, dirgantara, dan industri, mendorong kebutuhan akan material dengan karakteristik unggul yang tidak dapat dipenuhi oleh material tunggal. Kondisi ini memicu rekayasa material komposit, yang menggabungkan dua atau lebih material berbeda untuk menghasilkan sifat sinergis yang superior [1]. Komposit berbasis polimer, dengan resin epoksi sebagai matriks, menjadi pilihan utama karena kombinasi sifat mekanik yang baik, ketahanan kimia, dan kemudahan dalam fabrikasi [2]. Serat berperan sebagai penguat utama untuk mendistribusikan beban dan meningkatkan kekuatan struktural [3], sementara partikel filler ditambahkan untuk meningkatkan kekompakan dan ikatan antarmuka.

Tingginya harga produksi serat sintetis, seperti serat karbon, memicu eksplorasi material alternatif yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan. Serat karbon dikenal memiliki rasio kekuatan-terhadap-bobot yang sangat tinggi dan ketahanan yang luar biasa, menjadikannya ideal untuk aplikasi struktural [4]. Namun, keterbatasan biaya menjadi hambatan utama dalam aplikasi yang lebih luas. Serat alam, seperti serat eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), menawarkan solusi menjanjikan. Sebagai gulma air dengan pertumbuhan cepat, pemanfaatannya tidak hanya memberikan sumber material yang berkelanjutan tetapi juga berkontribusi pada pengelolaan lingkungan [5].

Dengan perlakuan alkali yang tepat, lignin dan hemiselulosa dapat dihilangkan, meningkatkan ikatan serat-matriks dan kekuatan komposit [6, 7]. Kombinasi serat karbon dan serat eceng gondok dalam sistem hibrida berlapis menjadi strategi rasional untuk mengoptimalkan keunggulan keduanya: serat karbon menyediakan kekuatan dan kekakuan utama di lapisan terluar, sementara serat eceng gondok menyumbang efisiensi biaya dan keberlanjutan.

Meskipun banyak penelitian telah mengkaji pengaruh filler dan kombinasi serat [8, 9], studi yang secara spesifik menginvestigasi konfigurasi berlapis serat karbon dan eceng gondok dengan penambahan karbon aktif masih terbatas. Karbon aktif, sebagai partikel filler dengan struktur mikropori yang luas, memiliki potensi untuk meningkatkan interaksi antarmuka dan mengurangi void selama proses pencetakan [10]. Namun, perlu dipahami bahwa penambahan yang berlebihan dapat menyebabkan aglomerasi, yang justru menurunkan sifat mekanis material [11]. Berangkat dari permasalahan tersebut, penelitian ini menjadi sangat penting dan mendesak.

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menganalisis secara kuantitatif pengaruh variasi penambahan karbon aktif (5%, 10%, dan 15% dari berat resin) terhadap kekuatan tarik dan lentur komposit hibrida. Selain itu, penelitian ini bertujuan mengidentifikasi kadar optimal penambahan karbon aktif yang dapat menghasilkan performa mekanik terbaik. Hasil penelitian ini diharapkan tidak hanya memberikan kontribusi ilmiah berupa pemahaman mendalam tentang sinergi material dalam komposit hibrida, tetapi juga menjadi referensi praktis bagi industri dalam mengembangkan material komposit yang unggul, berkelanjutan, dan terjangkau.

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, peneliti mengimplementasikan metode penelitian deskriptif. Metode analisis deskriptif merujuk pada penelitian terhadap objek yang diteliti dalam kondisi aslinya, sesuai dengan data yang diperoleh, yang kemudian disusun dan disimpulkan. Sementara itu, analisis dilakukan melalui pendekatan kuantitatif dengan menggunakan metode statistik untuk menguji hipotesis. Statistik deskriptif merupakan jenis statistik yang digunakan untuk menganalisis data dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah dikumpulkan sebagaimana adanya, tanpa bertujuan untuk menarik kesimpulan yang bersifat umum atau general. Variabel bebas adalah variasi kandungan karbon aktif (5%, 10%, dan 15% dari berat resin), sedangkan variabel terikat adalah kekuatan tarik dan lentur. Komposisi serat kontrol adalah 20% serat karbon dan 10% serat eceng gondok.

Bahan dan Alat:

- Serat: Kain serat karbon (2x2 twill 3K 240 gsm) dan serat eceng gondok. Serat eceng gondok diperlakukan dengan larutan NaOH 5% selama 3 jam, dibilas hingga pH netral, dan dikeringkan.
- Matriks: Resin epoksi dan hardener dengan perbandingan 2:1.
- Filler: Karbon aktif bubuk dari tempurung kelapa.
- Alat: Cetakan, timbangan digital, jangka sorong, dan *Universal Testing Machine (UTM)* untuk pengujian mekanis.

Proses Pembuatan Spesimen:

Spesimen dibuat dengan metode hand lay-up dengan konfigurasi lima lapis: dua lapisan serat karbon di bagian luar, satu lapisan serat eceng gondok di bagian tengah, dan dua lapisan serat karbon di bagian dalam. Resin dan hardener dicampur dengan variasi karbon aktif yang telah ditentukan. Campuran dituangkan ke dalam cetakan yang sudah dilapisi wax dan release film. Proses curing dilakukan pada suhu ruang selama 24 jam.

Pengujian Mekanis:

- Uji Tarik: Mengacu pada standar ASTM D638, dengan spesimen berbentuk *dog-bone*.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (1)$$

- Uji Lentur: Mengacu pada standar ASTM D790, menggunakan metode tiga titik

(three-point bending).

$$\sigma = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (2)$$

Adapun alat untuk pengujian spesimen:



Gambar 1 Alat Uji Tarik



Gambar 2 Alat Uji Lentur

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan Pembahasan Hasil pengujian mekanis menunjukkan bahwa penambahan karbon aktif secara signifikan memengaruhi kekuatan tarik dan lentur komposit.

3.1 Gambar

Dari pengujian yang telah dilakukan terhadap spesimen karbon aktif dengan variasi 5%, 10% dan 15%, terlihat hasil spesimen sebagaimana tampak pada gambar 3 dan gambar 4.



Gambar 3 Spesimen hasil uji tarik dengan variasi karbon aktif 5%, 10% dan 15%



Gambar 4 Spesimen hasil uji lentur dengan variasi karbon aktif 5%, 10% dan 15%

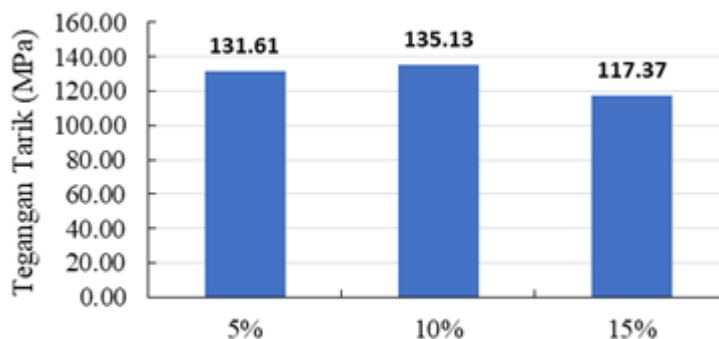
3.2 Tabel Dan Grafik

Nilai rata-rata kekuatan tarik komposit dengan variasi karbon aktif dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Kekuatan tarik rata-rata

Varian	Kekuatan Tarik (Mpa)			Rata-rata
	Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3	
5%	137.21	146.71	110.93	131.61
10%	139.72	134.87	130.79	135.13
15%	119.16	120.07	112.87	117.37

Berdasarkan data pada Tabel 1 diperoleh hasil rata-rata tegangan tarik pada komposit serat karbon dan eceng gondok dengan penambahan karbon aktif, yaitu untuk spesimen dengan karbon aktif 5% memperoleh tegangan tarik 131.61 N/mm², spesimen dengan karbon aktif 10% memperoleh tegangan tarik 135.13 N/mm², spesimen dengan karbon aktif 15% memperoleh tegangan tarik 117.37 N/mm². Untuk data tegangan tarik diatas spesimen dengan karbon aktif 10% memiliki tegangan tarik yang paling tinggi dibandingkan dengan spesimen dengan karbon aktif 15% yang memperoleh tegangan tarik kecil, seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Diagram Batang Rata-rata Uji Tarik

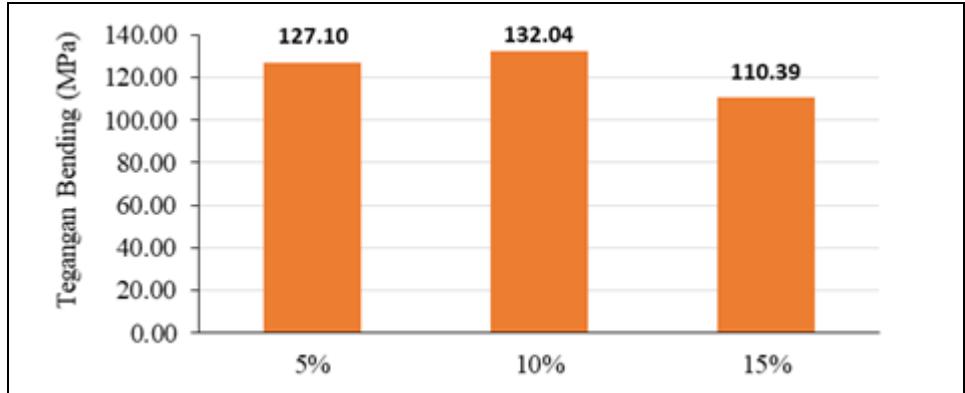
Penjelasan Berdasarkan hasil pengujian tarik, diperoleh bahwa komposit epoksi berbasis serat karbon dan serat eceng gondok dengan penambahan karbon aktif 10% menunjukkan kekuatan tarik paling optimal dibandingkan variasi 5% dan 15%. Hal ini menunjukkan bahwa pada kadar tersebut, karbon aktif mampu berperan sebagai pengisi celah antar serat sekaligus meningkatkan ikatan antar komponen akibat luas permukaan dan sifat adsorptifnya yang tinggi, sehingga distribusinya lebih merata dan kohesi internal material menjadi lebih kuat. Sebaliknya, penambahan hingga 15% justru menurunkan kekuatan tarik karena terjadinya aglomerasi partikel yang menyebabkan ketidakhomogenan struktur serta kurangnya rasio optimal antara resin dan penguat, sehingga terbentuk titik lemah yang memicu retakan saat menerima beban. Dengan demikian, kadar karbon aktif 10% dapat dikatakan sebagai komposisi paling efektif untuk meningkatkan sifat mekanis komposit, sejalan dengan konsep bahwa penambahan filler hanya bermanfaat apabila dilakukan dalam proporsi yang tepat.

Tabel 2 Kekuatan Rata-rata Uji Lentur

Varian	Kekuatan Bending (Mpa)			Rata-rata
	Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3	
5%	120.56	149.28	111.47	127.10
10%	120.97	142.87	132.29	132.04
15%	112.87	106.07	112.22	110.39

Berdasarkan data pada Tabel 2 maka diperoleh hasil rata-rata tegangan bending pada komposit serat karbon dan eceng gondok dengan penambahan karbon aktif, yaitu untuk spesimen dengan karbon aktif 5% memperoleh tegangan bending 127.10 N/mm², spesimen dengan karbon aktif 10% memperoleh tegangan bending 132.04 N/mm², spesimen dengan karbon aktif 15% memperoleh tegangan bending 110.39 N/mm². Untuk data tegangan bending diatas spesimen dengan karbon aktif 10% memiliki tegangan bending yang paling tinggi dibandingkan dengan spesimen dengan karbon aktif

15% yang memperoleh tegangan bending paling kecil, seperti terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Diagram Batang Rata-rata Uji Lentur

Hasil uji bending menunjukkan bahwa komposit epoksi yang diperkuat serat karbon dan serat eceng gondok dengan penambahan karbon aktif 10% memiliki nilai tegangan lentur tertinggi dibandingkan variasi 5% maupun 15%. Kondisi ini menandakan bahwa pada kadar 10%, karbon aktif terdistribusi lebih merata dalam matriks, mampu mengisi celah antar serat, serta memperkuat kohesi internal sehingga struktur komposit menjadi lebih kaku dan tahan terhadap gaya lentur. Peran karbon aktif sebagai filler pada kadar tersebut juga membantu meningkatkan ikatan antara serat dan matriks, sehingga komposit mampu menahan beban hingga titik maksimum sebelum mengalami kerusakan. Sebaliknya, pada variasi 15% terjadi penurunan kekuatan lentur akibat aglomerasi partikel yang menyebabkan ketidakhomogenan dan terbentuknya titik lemah dalam struktur. Sementara itu, pada variasi 5%, meskipun memberikan kontribusi positif, jumlah karbon aktif belum cukup optimal untuk memperkuat seluruh bagian matriks. Dengan demikian, penambahan karbon aktif 10% terbukti menjadi kadar paling efektif dalam meningkatkan ketahanan lentur komposit, sejalan dengan prinsip bahwa penggunaan filler harus berada pada proporsi optimal agar memberikan pengaruh maksimal terhadap sifat mekanik material. Hasil penelitian ini konsisten dengan literatur yang ada. Penelitian sebelumnya oleh Dody Yulianto (2022) dan Rizkian Mubarok (2022) juga menemukan adanya kadar filler yang optimal untuk meningkatkan sifat mekanis, dengan penurunan performa pada kadar berlebih. Selain itu, penggunaan serat karbon di lapisan luar terbukti menjadi strategi efektif, sejalan dengan temuan Sanjay, M. R. dkk. (2020) yang menegaskan bahwa penempatan serat kuat di lapisan terluar dapat secara signifikan meningkatkan kekuatan tarik dan lentur.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penambahan karbon aktif memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan mekanik komposit hibrida epoksi yang diperkuat serat karbon dan serat eceng gondok. Kedua jenis pengujian, baik uji tarik maupun lentur, secara konsisten menunjukkan bahwa penambahan karbon aktif sebesar 10% merupakan kadar optimal yang memberikan peningkatan kekuatan paling efektif. Kondisi ini terjadi karena distribusi partikel yang merata, yang berhasil mengisi celah-celah mikro dan meningkatkan ikatan antarmuka antara matriks dan serat. Sebaliknya, penambahan karbon aktif berlebih hingga 15% justru menyebabkan aglomerasi partikel, yang menciptakan titik lemah pada material dan mengakibatkan penurunan kekuatan secara keseluruhan. Temuan ini menegaskan pentingnya mengoptimalkan kadar filler untuk memaksimalkan performa material komposit.

4.2 Saran

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan karakterisasi mikrostruktur menggunakan SEM agar distribusi karbon aktif dalam matriks dapat diamati secara visual dan memperkuat analisis mekanik, serta mempertimbangkan variasi ukuran partikel karbon aktif sebagai variabel tambahan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kekuatan mekanik komposit; selain itu, pengujian dampak dan ketahanan terhadap suhu perlu dilakukan untuk mengevaluasi performa material dalam kondisi ekstrem sebagai

referensi aplikasi teknik yang lebih luas, dan disarankan pula membandingkan metode pencampuran hand lay-up dengan teknik fabrikasi lain seperti vacuum bagging atau hot press guna meningkatkan kualitas komposit yang dihasilkan.

PERNYATAAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada pembimbing, Prof. Dr. Ir. Drs. Sakuri Dahlan, M.T., atas bimbingan dan dukungan yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan artikel ini pada jurnal Rekayasa Mesin ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). Materials Science and Engineering: An Introduction (10th ed.). Wiley.
- [2] Fred, L. (1994). Polymer Matrix Composites. Chapman & Hall.
- [3] Martínez, I., & Romero, F. (2022). Eceng Gondok sebagai Material Komposit Ramah Lingkungan. Jurnal Kimia Terapan.
- [4] Putra, F. A. (2016). Pemanfaatan Karbon Aktif sebagai Filler dalam Komposit Polimer.
- [5] Randalongi, I., Aisyah, N., & Utami, L. (2024). Perlakuan Alkali Serat Eceng Gondok dan Pengaruhnya terhadap Sifat Mekanis Komposit. Jurnal Rekayasa Material.
- [6] Sarasini, F., Tirillò, J., & D'Amico, E. (2019). The Role of Nanoparticles in Modifying the Mechanical Behavior of Polymer Composites.
- [7] Schwartz, M. M. (1984). Composite Materials Handbook. McGraw-Hill.
- [8] Suugondo, P., Santosa, M. S., & Wijaya, A. K. (2022). Analisis Sifat Mekanis Komposit Serat Karbon. Jurnal Teknologi Dirgantara.
- [9] Tausa, L., Susanto, H., & Priyono, A. (2021). Karakterisasi Lignin dan Hemiselulosa dari Serat Eceng Gondok. Jurnal Ilmu Bahan.
- [10] Yulianto, D. (2022). Pengaruh Penambahan Serbuk Bambu terhadap Kekuatan Tarik Komposit Epoksi. Jurnal Rekayasa Mesin.
- [11] Mubarok, R. (2022). Analisis Sifat Mekanis Komposit Hibrida Polipropilena Beralih Serat Bambu dan Serat Kaca. Jurnal Material Teknik.
- [12] Sanjay, M. R., Binoj, J. S., & Pradeep, S. (2020). Hybridization Effect of Natural and Synthetic Fibres on Mechanical Properties of Composites.