

## Analisis Kekuatan Lentur Komposit Berbasis Serat Daun Alam sebagai Alternatif Material Bilah Turbin

Novia Arista Dwi Ramadina<sup>1</sup>, Yuliyanto<sup>1</sup>, Muhammad Subhan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Bangka

\*E-mail : noviaaristadwiramadina@gmail.com

Received 3 Desember 2025; Received in revised form 16 Desember 2025; Accepted 22 Desember 2025

### Abstract

Wind energy is one of the most promising renewable energy sources to support the transition toward sustainable energy systems, making the selection of strong and environmentally friendly wind turbine blade materials essential. This study aims to assess the potential of natural fibers as composite reinforcement, with a particular focus on flexural performance. Three types of natural fibers were compared: ijuk fiber (*Arenga pinnata*), pineapple leaf fiber, and corn husk fiber. Composite specimens were produced using polyester resin as the matrix with a 5% fiber volume fraction (95:5 ratio), and all fibers were pretreated through two hours of alkaline immersion. Test samples were fabricated following ASTM D790 standards with dimensions of 150 × 12.5 × 3 mm and evaluated using a Zwick Roell Z020 universal testing machine at the Materials Laboratory of Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. The results revealed that ijuk fiber-reinforced composites achieved the highest average flexural strength of 57.3 MPa, followed by PALF at 47.5 MPa, while corn husk fiber produced the lowest value at 29.33 MPa. One-way ANOVA confirmed significant differences among the three fiber groups ( $p < 0.05$ ). Overall, ijuk fiber demonstrated the greatest potential as a sustainable and high-performing reinforcement material for composite applications.

**Keywords:** Composites; Ijuk fiber; Pineapple leaf fiber; Corn husk fiber; Flexural strength.

### Abstrak

Energi angin adalah salah satu sumber energi terbarukan yang paling menjanjikan untuk mendukung transisi menuju sistem energi berkelanjutan, menjadikan pemilihan material bilah turbin angin yang kuat dan ramah lingkungan sangat penting. Studi ini bertujuan untuk menilai potensi serat alami sebagai penguat komposit, dengan fokus khusus pada kinerja lentur. Tiga jenis serat alami dibandingkan: serat ijuk (*Arenga pinnata*), serat daun nanas, dan serat kulit jagung. Spesimen komposit dibuat menggunakan resin poliester sebagai matriks dengan fraksi volume serat 5% (rasio 95:5), dan semua serat dipretreatment melalui perendaman alkali selama dua jam. Sampel uji dibuat sesuai standar ASTM D790 dengan dimensi 150 × 12,5 × 3 mm dan dievaluasi menggunakan mesin uji universal Zwick Roell Z020 di Laboratorium Bahan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit serat ijuk mencapai kekuatan lentur rata-rata tertinggi yaitu 57,3 MPa, diikuti oleh PALF sebesar 47,5 MPa, sedangkan serat kulit jagung menghasilkan nilai terendah yaitu 29,33 MPa. ANOVA satu arah mengkonfirmasi perbedaan signifikan di antara tiga kelompok serat ( $p < 0,05$ ). Secara keseluruhan, serat ijuk menunjukkan potensi terbesar sebagai bahan penguat yang berkelanjutan dan berkinerja tinggi untuk aplikasi komposit.

**Kata kunci:** Komposit; Serat ijuk; Serat daun nanas; Serat daun jagung; Kekuatan lentur.

## 1. PENDAHULUAN

Energi angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang potensial dikembangkan untuk mendukung transisi energi berkelanjutan [1]. Turbin angin berfungsi mengonversi energi kinetik angin

menjadi energi listrik [2], di mana bilah (blade) menjadi komponen penting dalam menangkap aliran angin dan meneruskan torsi ke rotor [3]. Selama beberapa dekade terakhir, bilah turbin angin umumnya menggunakan komposit

dengan serat kaca dan serat karbon karena unggul dalam kekakuan dan kekuatan spesifiknya [4]. Namun, penggunaan material tersebut menghadapi kendala signifikan berupa biaya produksi tinggi, ketersediaan bahan baku yang terbatas, serta kompleksitas dalam proses daur ulang setelah masa pakai selesai [5].

Seiring meningkatnya kesadaran terhadap isu lingkungan, perhatian para peneliti bergeser pada pemanfaatan serat alam sebagai penguat alternatif dalam komposit [6]. Serat alam memiliki sejumlah keunggulan, seperti densitas yang rendah, harga yang relatif murah, ketersediaan melimpah, serta sifat biodegradabilitas yang mendukung prinsip ramah lingkungan [7]. Serat daun nanas (pineapple leaf fiber, PALF) telah banyak dilaporkan berpotensi memperbaiki sifat mekanik komposit, khususnya pada kekuatan tarik dan lentur, tergantung pada orientasi dan fraksi serat yang digunakan [8]. Selain itu, serat ijuk (*Arenga pinnata*) memiliki kandungan selulosa yang cukup tinggi sehingga berkontribusi pada peningkatan sifat tarik dan lentur komposit [7].

Namun demikian, kajian terdahulu sebagian besar masih terbatas pada serat tertentu seperti abaca, jute, maupun kenaf. Misalnya, penelitian oleh [9] meneliti komposit hibrid berbasis serat abaca dan fiberglass sebagai kandidat material bilah turbin angin. Hasilnya menunjukkan bahwa variasi fraksi serat berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan lentur dengan nilai maksimum mencapai 151,96 MPa. Akan tetapi, penelitian tersebut berfokus pada serat abaca dan kombinasi serat sintetis, sehingga potensi serat daun lokal lain seperti ijuk, nanas, dan jagung belum banyak dieksplorasi secara sistematis.

Beberapa penelitian lain juga menegaskan keterbatasan studi komparatif.

## 2. METODE PENELITIAN

Serat daun nanas (pineapple leaf fiber, PALF) merupakan salah satu jenis serat alam yang kaya selulosa (70–82%) dan dikenal memiliki kekuatan tarik serta modulus yang tinggi. Orientasi serat dan variasi fraksi volume sangat mempengaruhi performa mekaniknya [8]. Penelitian oleh [8] melaporkan bahwa peningkatan fraksi serat PALF hingga 30% dapat meningkatkan kekuatan lentur komposit berbasis poli(metil metakrilat). Selain itu, perlakuan kimia seperti

[10] misalnya, mengevaluasi komposit hibrid berbasis serat daun nanas (PALF) dan Kevlar dengan matriks poliester tak jenuh. Hasilnya memperlihatkan peningkatan signifikan pada kekuatan lentur, tetapi penelitian ini tetap mengkombinasikan serat alam dengan serat sintetis, sehingga belum menggambarkan performa murni serat daun. Di sisi lain, [11] melaporkan sifat lentur dari komposit berbasis serat kulit jagung yang diproduksi dengan teknik vacuum infusion, termasuk pengaruh panjang serat dan perlakuan alkali. Hasilnya menunjukkan bahwa variasi parameter proses berpengaruh signifikan terhadap modulus lentur, namun studi ini hanya terbatas pada satu jenis serat tanpa perbandingan dengan serat daun lain.

Dari uraian tersebut dapat disimpulkan adanya kesenjangan penelitian. Pertama, sebagian besar studi hanya berfokus pada serat abaca, jute, atau kenaf, sedangkan serat daun lokal seperti ijuk, nanas, dan jagung relatif jarang dikaji dalam konteks sifat mekanik dasar. Kedua, kajian komparatif sistematis antar berbagai jenis serat daun dengan kondisi fabrikasi dan pengujian yang seragam masih sangat terbatas. Padahal, pendekatan ini penting untuk memperoleh gambaran objektif mengenai keunggulan relatif masing-masing serat dalam memperkuat matriks polimer.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini difokuskan untuk mengkaji sifat mekanik dasar komposit berbasis serat daun alam, khususnya melalui uji bending. Tujuan penelitian adalah untuk mengukur dan membandingkan nilai flexural strength dan flexural modulus dari komposit yang diperkuat dengan serat ijuk, serat daun nanas, dan serat daun jagung. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam memperkaya basis data sifat mekanik komposit berbasis serat daun lokal serta mendukung eksplorasi material alternatif yang lebih berkelanjutan

alkalisasi dapat meningkatkan ikatan antar muka serat–matriks sehingga sifat mekanik yang dihasilkan lebih baik [7].

Berbeda dengan serat nanas, serat ijuk (*Arenga pinnata*) memiliki karakteristik yang khas karena kandungan ligninnya cukup tinggi, sehingga menjadikan serat ini lebih tahan terhadap kelembaban dan degradasi biologis [12]. Penelitian terbaru oleh [13] mengkaji komposit lamina berbasis serat ijuk dengan orientasi anyam dan acak

menggunakan matriks poliester. Hasilnya menunjukkan bahwa orientasi anyam mampu menghasilkan nilai flexural strength yang lebih tinggi dibandingkan dengan orientasi acak. Temuan ini menegaskan bahwa serat ijuk berpotensi digunakan sebagai penguat komposit, khususnya ketika serat ditata dalam pola teratur yang dapat meningkatkan kekakuan dan stabilitas mekanik.

Serat daun jagung (corn husk fibre) merupakan salah satu limbah pertanian yang melimpah dan memiliki potensi besar sebagai bahan penguat dalam komposit karena sifat keberlanjutannya dan kemampuan untuk meningkatkan sifat mekanik dasar [14]. Sebagai contoh [15] dalam studi Physical and Mechanical Properties of Fiber Board from Corn Husk Fiber menemukan bahwa peningkatan fraksi serat jagung dalam komposit board dengan resin poliester (contoh: 25 % serat : 75 % resin) berhasil meningkatkan modulus elastisitas (MOE) hingga ~1179 MPa dan kekuatan lentur (MOR) ~9,4 MPa dibandingkan komposit dengan fraksi serat lebih tinggi yang distribusinya kurang merata. Selain itu, [11] melaporkan bahwa penggunaan serat jagung dengan panjang sekitar 6 cm dan perlakuan alkali terhadap serat tersebut mampu meningkatkan nilai kekuatan lentur dan modulus lentur komposit poliester secara signifikan dibandingkan dengan serat pendek atau tanpa perlakuan.

Berdasarkan uraian mengenai karakteristik serat daun nanas, serat ijuk, dan serat daun jagung, dapat dilihat bahwa setiap jenis serat memiliki potensi yang berbeda dalam meningkatkan sifat mekanik komposit. Untuk menilai sejauh mana pengaruh tersebut terhadap kemampuan lentur komposit, diperlukan metode kuantitatif yang terstandar. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan pendekatan uji lentur (flexural test) sesuai standar ASTM, di mana hasil pengujian dapat dihitung menggunakan pendekatan persamaan matematis untuk menentukan kekuatan lentur pada rumus berikut:

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2} \dots\dots\dots (1)$$

Selain itu, modulus lentur juga dapat dihitung menggunakan pendekatan matematis menggunakan rumus berikut.

$$Eb = \frac{L^3 \cdot F}{4 \cdot b \cdot d^3 \delta} \dots\dots\dots (2)$$

Dengan keterangan:

- $\sigma_b$  = Kekuatan bending (N/mm<sup>2</sup>)
- F = Beban yang diberikan (N)
- L = Jarak antara dua titik tumpuan (mm)

b = Lebar sampel uji (mm)

d = Tebal sampel uji (mm)

$\delta$  = Defleksi (mm)

Eb = Modulus elastisitas bending (N/mm<sup>2</sup>)

Penelitian ini merupakan studi eksperimental komparatif yang bertujuan membandingkan kekuatan lentur komposit berbasis tiga jenis serat daun alam dengan kondisi fabrikasi dan pengujian yang seragam.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental di laboratorium untuk menguji sifat mekanik komposit berbasis serat alam. Hipotesis yang diajukan adalah bahwa perbedaan jenis serat daun alam, yaitu serat ijuk, serat daun nanas, dan serat daun jagung, akan menghasilkan variasi nilai kekuatan lentur (flexural strength) meskipun digunakan pada fraksi volume serat yang sama. Penelitian dilaksanakan dengan menggunakan resin poliester tak jenuh sebagai matriks dan katalis metil etil keton peroksida (MEKP) sebagai pengikat. Rasio komposit yang digunakan ditetapkan pada fraksi serat 5% dan resin 95%, dengan berat serat sekitar 0,30–0,31 gram, resin 6,49 gram, serta katalis 0,08 gram.

Pemilihan fraksi volume serat sebesar 5% dalam penelitian ini didasarkan pada pertimbangan homogenitas distribusi serat dan kualitas impregnasi matriks. Pada fraksi serat yang relatif rendah, risiko terjadinya aglomerasi serat dan pembentukan void dapat diminimalkan, sehingga ikatan antarmuka antara serat dan resin poliester dapat terbentuk secara lebih optimal. Beberapa penelitian sebelumnya melaporkan bahwa peningkatan fraksi serat yang tidak diimbangi dengan metode fabrikasi yang sesuai dapat menurunkan sifat mekanik akibat distribusi serat yang tidak merata dan lemahnya ikatan serat matriks. Oleh karena itu, fraksi volume 5% dipilih untuk memastikan perbandingan sifat mekanik antar jenis serat dapat dilakukan secara objektif dengan kondisi fabrikasi yang seragam dan terkendali.

Sebelum difabrikasi menjadi komposit, serat melalui tahap persiapan berupa pembersihan dari kotoran, pemotongan, dan perlakuan alkali dengan larutan NaOH 5% selama dua jam untuk mengurangi kandungan lignin dan hemiselulosa. Setelah itu, serat dibilas hingga mencapai pH netral, kemudian dikeringkan pada suhu ruang selama 24 jam. Kemudian proses fabrikasi komposit dilakukan dengan metode hand lay-up. Resin yang telah dicampur dengan katalis dituangkan ke dalam cetakan yang berisi serat, kemudian dibiarkan mengeras pada

suhu ruang selama 24 jam dan dilanjutkan dengan proses post-curing selama dua jam agar diperoleh komposit dengan sifat mekanik yang stabil. Adapun dimensi sampel mengikuti cetakan dengan standar ASTM D790 tipe 2.

Waktu perendaman alkali selama dua jam dipilih berdasarkan hasil kajian literatur yang menunjukkan bahwa durasi tersebut cukup efektif untuk mengurangi kandungan lignin, hemiselulosa, dan kotoran permukaan serat tanpa menyebabkan degradasi struktur selulosa. Perlakuan alkali dengan durasi yang terlalu singkat cenderung belum optimal dalam meningkatkan kekasaran permukaan serat, sedangkan perendaman yang terlalu lama dapat merusak struktur serat dan menurunkan kekuatan mekaniknya. Oleh karena itu, perendaman selama dua jam dianggap sebagai kondisi yang seimbang untuk meningkatkan kualitas ikatan antarmuka serat–matriks serta menghasilkan sifat mekanik komposit yang lebih stabil dan konsisten, hal ini telah dilaporkan dalam beberapa penelitian sebelumnya [7] [11].

Spesimen uji diproduksi dengan dimensi mengikuti standar ASTM D790 Tipe 2, yaitu panjang 150 mm, lebar 12,5 mm, dan tebal 3 mm. Setiap variasi jenis serat dibuat tiga spesimen untuk mendapatkan data rata-

rata yang representatif. Spesimen yang telah dicetak kemudian divalidasi secara dimensi dan diperiksa secara visual untuk memastikan tidak terdapat cacat seperti retak atau void.

Pengujian lentur dilakukan di Laboratorium Material Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung dengan menggunakan mesin uji Zwick Roell Z020. Metode yang digunakan adalah three-point bending test dengan jarak tumpuan sesuai ketentuan ASTM D790 Tipe 2 dan kecepatan pembebanan sebesar 2 mm/menit.

Pengujian lentur menggunakan metode three-point bending dipilih karena mampu merepresentasikan kondisi pembebanan lentur yang umum dialami oleh struktur bilah turbin angin selama operasi. Pada aplikasi bilah turbin, material secara dominan menerima kombinasi beban lentur akibat tekanan aerodinamis dan gaya gravitasi. Metode three-point bending memungkinkan evaluasi respons material terhadap beban lentur terpusat secara terkontrol, sehingga parameter kekuatan lentur dan modulus lentur yang diperoleh dapat digunakan sebagai indikator awal kelayakan material komposit untuk aplikasi bilah turbin dan struktur serupa yang bekerja di bawah beban lentur.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Rasio komposisi material komposit dalam penelitian ini ditetapkan dengan fraksi volume serat sebesar 5% dan matriks resin poliester sebesar 95%. Perhitungan massa

bahan dilakukan berdasarkan volume fraksi tersebut untuk memastikan konsistensi spesimen pada setiap variasi jenis serat. Rincian komposisi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rasio komposisi komposit

Jenis Serat	Fraksi Volume Serat (%)	Massa Serat (g)	Massa Resin (g)	Massa Katalis (g)
Serat Ijuk	5	0,31	6,49	0,08
Serat Daun Jagung	5	0,30	6,49	0,08
Serat Daun Nanas	5	0,30	6,49	0,08

Perbedaan massa serat antar variasi, terutama serat ijuk yang memiliki massa 0,31 g dibandingkan serat jagung dan nanas sebesar 0,30 g, disebabkan oleh perbedaan massa jenis (density) serat. Dalam penelitian ini digunakan nilai densitas serat ijuk sebesar 1,136 g/cm<sup>3</sup>, sedangkan densitas serat daun jagung dan nanas diasumsikan sama, yaitu

1,07 g/cm<sup>3</sup>. Dengan fraksi volume yang sama, serat dengan massa jenis lebih tinggi memerlukan massa yang lebih besar agar mencakup volume yang sama.

Fenomena ini konsisten dengan prinsip dasar penentuan komposisi volume dalam komposit, di mana densitas penguat dan matriks memengaruhi perhitungan massa

yang diperlukan [16]. Sebagai ilustrasi, dalam komposit berbasis serat alam secara umum, densitas serat sangat menentukan berat total material dan distribusi berat komponen [16]. Dalam review tentang komposit serat alam, penulis menyebut bahwa keunggulan utama penggunaan serat alam adalah densitasnya yang lebih rendah dibandingkan serat kaca, sehingga memberikan keuntungan dari sisi berat jenis dan efisiensi struktural.

Dengan penyesuaian massa berdasarkan densitas ini, setiap variasi serat benar-benar mewakili fraksi volume 5% yang ditetapkan. Oleh karena itu, perbandingan sifat mekanik antar komposit serat daun ijuk,

daun nanas, dan daun jagung dapat dilakukan secara lebih objektif dan valid.

Berdasarkan pengujian lentur (three-point bending test) yang dilakukan di Laboratorium Material Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung menggunakan mesin Zwick Roell Z020, diperoleh data kekuatan bending komposit berbasis serat alam sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2. Pada penelitian ini, seluruh spesimen diproduksi dengan fraksi volume 95:5 (resin:serat) serta perlakuan alkali melalui perendaman serat selama 2 jam. Dengan kondisi uji yang terstandarisasi ini, hasil pengujian dapat digunakan untuk menilai perbedaan performa antar jenis serat.

Tabel 2. Data hasil pengujian bending

Material	Pengujian Kekuatan Bending (Mpa)			Rata-Rata (Mpa)
	ke-1	ke-2	ke-3	
Serat Ijuk	56,6	57,9	57,5	57,3
Serat Daun Jagung	28,4	30,8	28,8	29,33
Serat Daun Nanas	47,9	47,2	47,6	47,5

Hasil pada Tabel 2 menunjukkan adanya perbedaan kekuatan lentur rata-rata antar jenis serat meskipun kondisi perlakuan dan fraksi volume komposit yang digunakan sama. Komposit dengan penguat serat ijuk menghasilkan nilai tertinggi sebesar 57,3 MPa, diikuti serat daun nanas sebesar 47,5 MPa, sedangkan serat daun jagung menunjukkan nilai terendah sebesar 29,33 MPa.

Perbedaan nilai kekuatan lentur yang diperoleh menunjukkan bahwa mekanisme transfer beban dari matriks ke serat sangat dipengaruhi oleh karakteristik struktural masing-masing serat. Komposit dengan penguat serat ijuk menunjukkan kekuatan lentur tertinggi karena serat ini memiliki kandungan lignin dan densitas yang relatif lebih tinggi, sehingga mampu meningkatkan kekakuan dan stabilitas struktur komposit saat menerima beban lentur. Struktur serat ijuk yang lebih kaku memungkinkan distribusi tegangan yang lebih efektif dari matriks poliester ke serat, sehingga deformasi lentur dapat ditahan dengan lebih baik. Sebaliknya, serat daun jagung cenderung memiliki struktur yang lebih lunak dan distribusi serat yang

kurang homogen, sehingga efisiensi transfer beban menjadi lebih rendah dan menghasilkan kekuatan lentur yang lebih kecil.

Sementara itu komposit dengan penguat serat daun nanas (PALF) menunjukkan nilai kekuatan lentur yang berada di antara serat ijuk dan serat daun jagung. Hal ini dapat dikaitkan dengan kandungan selulosa PALF yang tinggi, yang secara teoritis mampu memberikan kontribusi kekuatan mekanik yang baik. Namun, performa lentur PALF sangat dipengaruhi oleh orientasi dan keterikatan antarmuka serat-matriks. Pada penelitian ini, penggunaan metode hand lay-up dengan orientasi serat acak diduga menyebabkan potensi penguatan PALF belum termanfaatkan secara optimal, sehingga nilai kekuatan lentur yang dihasilkan masih lebih rendah dibandingkan komposit serat ijuk.

Dokumentasi proses pengujian yang dilakukan dengan mesin Zwick Roell Z020 pada gambar 1 turut memperlihatkan prosedur standar yang dijalankan sehingga hasil dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.



Gambar 1. Pengujian Bending Menggunakan Mesin Zwick Roell Z20

Dengan demikian, meskipun ketiga jenis serat diuji pada kondisi dan parameter yang sama, hasil pengujian menunjukkan perbedaan performa mekanik yang signifikan. Serat ijuk memberikan kontribusi paling besar terhadap kekuatan lentur komposit, sedangkan serat daun jagung menghasilkan nilai terendah. Hal ini membuktikan hipotesis penelitian bahwa variasi jenis serat memengaruhi sifat mekanik komposit. Oleh karena itu, bagian pembahasan berikut akan mengkaji lebih lanjut faktor penyebab perbedaan ini sekaligus implikasinya terhadap potensi aplikasi serat alam sebagai penguat material komposit.

Selain analisis deskriptif berupa rata-rata kekuatan bending, diperlukan pula uji

signifikansi untuk memastikan apakah perbedaan nilai yang diperoleh antar jenis serat. Oleh karena itu, dilakukan analisis statistik menggunakan uji ANOVA satu arah dengan bantuan aplikasi Minitab. Uji ini dipilih karena sesuai untuk membandingkan rata-rata dari tiga kelompok data atau lebih, dalam hal ini komposit dengan penguat serat ijuk, serat daun nanas, dan serat daun jagung. Dengan pendekatan ini, hasil pengujian dapat diinterpretasikan secara lebih obyektif dan memberikan dasar ilmiah yang lebih kuat untuk menilai pengaruh jenis serat terhadap kekuatan bending komposit. Adapun hasil uji ANOVA satu arah dapat dilihat pada gambar 2.

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Jenis Serat	2	1211,84	605,921	818,81	0,000
Error	6	4,44	0,740		
Total	8	1216,28			

Gambar 2. Hasil Uji ANOVA 1 Arah Menggunakan Aplikasi Minitab

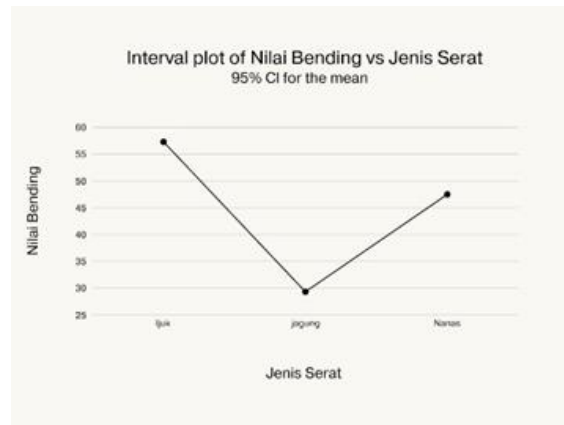
Hasil uji ANOVA satu arah menunjukkan nilai F sebesar 818,81 dengan  $p\text{-value} < 0,05$ , yang mengindikasikan adanya perbedaan signifikan secara statistik pada kekuatan lentur komposit antar jenis serat. Dengan demikian, hipotesis nol ditolak dan jenis serat terbukti berpengaruh terhadap performa lentur komposit.

Temuan ini memperkuat analisis deskriptif sebelumnya, di mana nilai rata-rata kekuatan bending tertinggi diperoleh pada komposit berbasis serat ijuk (57,3 MPa), diikuti serat daun nanas (47,5 MPa), dan terendah pada serat daun jagung (29,33 MPa). Secara

statistik, hasil ini menegaskan bahwa variasi jenis serat alam memang berpengaruh nyata terhadap performa mekanik komposit, meskipun kondisi fraksi volume serat dan perlakuan perendaman serat yang digunakan sama.

Untuk memperjelas perbedaan hasil pengujian secara visual, digunakan grafik interval plot yang menampilkan rata-rata kekuatan bending masing-masing komposit beserta rentang kepercayaan 95% yang dapat dilihat pada gambar 3. Grafik ini sekaligus mendukung hasil analisis ANOVA dengan menunjukkan bahwa rata-rata kekuatan

bending komposit berbasis serat ijuk secara konsisten lebih tinggi dibandingkan dengan serat nanas maupun jagung.



Gambar 3. Grafik Hasil Uji ANOVA 1 arah Menggunakan Aplikasi Minitab

Gambar 3 memperlihatkan rata-rata nilai kekuatan bending komposit berbasis serat alam dengan fraksi volume 95:5 dan perlakuan perendaman serat selama 2 jam. Grafik menunjukkan bahwa komposit dengan penguat serat ijuk memiliki kekuatan bending tertinggi, yaitu sekitar 57,3 MPa, dengan deviasi standar relatif kecil ( $\pm 0,67$  MPa), yang menandakan hasil pengujian cukup konsisten. Komposit dengan serat daun nanas menempati urutan kedua dengan nilai rata-rata 47,5 MPa dan deviasi standar  $\pm 0,35$  MPa. Sementara itu, komposit dengan serat daun jagung menunjukkan kekuatan bending terendah sebesar 29,33 MPa dengan deviasi standar  $\pm 1,29$  MPa, sehingga variasi hasil uji relatif lebih besar dibandingkan dua serat lainnya.

Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa jenis serat alam berpengaruh signifikan terhadap kekuatan lentur komposit berbasis resin poliester. Dengan kondisi perlakuan serat yang sama (perendaman alkali selama 2 jam) dan fraksi volume 95:5, komposit dengan penguat serat ijuk menunjukkan kekuatan bending tertinggi

dibandingkan serat daun nanas dan serat daun jagung. Hasil analisis ANOVA mengonfirmasi temuan ini dengan nilai  $p < 0,05$ , yang berarti terdapat perbedaan nyata antar kelompok serat.

Visualisasi melalui interval plot pada tingkat kepercayaan 95% juga memperkuat bukti bahwa perbedaan tersebut tidak hanya ditunjukkan oleh nilai rata-rata, tetapi juga secara statistik dapat dipertanggungjawabkan. Performa serat ijuk yang lebih tinggi diduga dipengaruhi oleh kandungan lignin dan densitas yang lebih besar dibandingkan serat daun nanas maupun jagung, sehingga menghasilkan komposit dengan kekakuan dan kekuatan lentur yang lebih baik.

Dengan demikian, hasil uji bending ini membuktikan hipotesis penelitian bahwa variasi jenis serat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik komposit. Temuan ini sekaligus menjadi dasar untuk menyusun kesimpulan dan memberikan arahan bagi penelitian lanjutan mengenai pemanfaatan serat alam sebagai material alternatif yang berkelanjutan.

#### 4. SIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi jenis serat alam memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan lentur komposit berbasis resin poliester. Pada kondisi perlakuan serat yang sama berupa perendaman alkali selama dua jam dan fraksi volume serat 5% dengan rasio komposit 95:5, komposit dengan penguat serat ijuk menghasilkan nilai kekuatan bending tertinggi dengan rata-rata sebesar 57,3 MPa, diikuti oleh komposit serat daun nanas sebesar 47,5

MPa, sedangkan komposit serat daun jagung menunjukkan nilai terendah sebesar 29,33 MPa. Analisis statistik menggunakan ANOVA satu arah mengonfirmasi bahwa perbedaan tersebut signifikan secara statistik dengan nilai  $p < 0,05$ , sehingga dapat dipastikan bahwa jenis serat merupakan faktor yang memengaruhi kekuatan lentur komposit. Temuan ini membuktikan hipotesis penelitian bahwa variasi serat alam berpengaruh nyata terhadap sifat mekanik komposit, sekaligus

menegaskan bahwa serat ijuk memiliki potensi yang lebih baik dibandingkan serat daun nanas maupun serat daun jagung untuk diaplikasikan sebagai penguat material komposit alternatif untuk aplikasi bilah turbin atau aplikasi material lain yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Selain itu berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, disarankan agar penelitian selanjutnya tidak hanya berfokus pada

pengujian kekuatan lentur, tetapi juga mencakup uji sifat mekanik lain seperti kekuatan tarik, dampak, dan kekerasan untuk mendapatkan gambaran menyeluruh mengenai performa komposit berbasis serat alam. Selain itu, variasi fraksi volume serat yang lebih luas dan perlakuan kimia yang berbeda perlu dieksplorasi untuk mengetahui kondisi optimum yang dapat menghasilkan sifat mekanik terbaik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Magar, A. Peña, A. N. Hahmann, D. A. Pacheco-Rojas, L. S. García-Hernández, and M. S. Gross, "Wind Energy and the Energy Transition: Challenges and Opportunities for Mexico," *Sustain.*, vol. 15, no. 6, pp. 1–23, 2023, doi: 10.3390/su15065496.
- [2] W. Bolton, "Technical review," *Comput. Hum.*, vol. 28, no. 3, pp. 191–198, 1994, doi: 10.1007/BF01830739.
- [3] T. M. Naqash and M. M. Alam, "A State-of-the-Art Review of Wind Turbine Blades: Principles, Flow-Induced Vibrations, Failure, Maintenance, and Vibration Suppression Techniques," *Energies*, vol. 18, no. 13, pp. 1–35, 2025, doi: 10.3390/en18133319.
- [4] Pelumi Peter Aluko-Olokun, "Comparative analysis of carbon fibre and glass fibre in blade design," *World J. Adv. Res. Rev.*, vol. 24, no. 3, pp. 1930–1940, 2024, doi: 10.30574/wjarr.2024.24.3.3902.
- [5] T. Islam *et al.*, "Advancements and challenges in natural fiber-reinforced hybrid composites: A comprehensive review," *SPE Polym.*, vol. 5, no. 4, pp. 481–506, 2024, doi: 10.1002/pls2.10145.
- [6] M. Puttegowda, "Eco-friendly composites: exploring the potential of natural fiber reinforcement," *Discov. Appl. Sci.*, vol. 7, no. 5, 2025, doi: 10.1007/s42452-025-06981-8.
- [7] M. R. M. Asyraf *et al.*, "Sugar Palm Fibre-Reinforced Polymer Composites: Influence of Chemical Treatments on Its Mechanical Properties," *Materials (Basel)*, vol. 15, no. 11, 2022, doi: 10.3390/ma15113852.
- [8] E. W. Gaba, B. O. Asimeng, E. E. Kaufmann, E. J. Foster, and E. K. Tiburu, "The influence of pineapple leaf fiber orientation and volume fraction on methyl methacrylate-based polymer matrix for prosthetic socket application," *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 19, 2021, doi: 10.3390/polym13193381.
- [9] Crodita Bangkit Wiranegara, X. Salahudin, and S. Hastuti, "Pemanfaatan Serat Alam Dan Serat Sintetis Sebagai Material Bilah Horizontal Axis Wind Turbine," *J. Foundry*, vol. 5, no. 2, pp. 30–37, 2022, doi: 10.62944/jf.v5i2.57.
- [10] R. Mohammad, M. Y. Daud, A. Aziz, F. Ramlie, and A. Kumar, "Polyester Hybrid Composite Laminates," 2022.
- [11] S. S. Mir Md, M. Y. Chan, and S. C. Koay, "Mechanical properties of polyester/corn husk fibre composite produced using vacuum infusion technique," *Polym. Polym. Compos.*, vol. 29, no. 9\_suppl, pp. S1532–S1540, 2021, doi: 10.1177/09673911211056782.
- [12] S. F. K. Sherwani, E. S. Zainudin, S. M. Sapuan, Z. Leman, and K. Abdan, "Mechanical properties of sugar palm (*Arenga pinnata* wurmb. merr)/glass fiber-reinforced poly(lactic acid) hybrid composites for potential use in motorcycle components," *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 18, 2021, doi: 10.3390/polym13183061.
- [13] F. Fatkhurrohman, I. Ismail, and F. Yudhanto, "Analisis Kekuatan Bending Komposit Lamina Serat Ijuk Anyam dan Serat Ijuk Acak bermatriks Polyester," *Quantum Tek. J. Tek. Mesin Terap.*, vol. 4, no. 1, pp. 55–61, 2022, doi: 10.18196/jqt.v4i1.16593.

- 
- [14] B. U. Harshith, T. S. Arun, and S. Prakrathi, "Bending, Tensile and Water Absorption Test of Corn Husk and Glass Fibre Reinforced Composite for Different Composition," *J. Mines, Met. Fuels*, vol. 71, no. 12, pp. 58–63, 2023, doi: 10.18311/jmmf/2023/43189.
- [15] R. Desiasni, F. Widyawati, Y. F. Sersaningsih, S. Bahtiar, and A. Kusmiran, "Physical and Mechanical Properties of Fiber Board from Corn Husk Fiber," *JPSE (Journal Phys. Sci. Eng.*, vol. 7, no. 2, pp. 134–141, 2022, doi: 10.17977/um024v7i22022p134.
- [16] S. H. Kamarudin *et al.*, "A Review on Natural Fiber Reinforced Polymer Composites (NFRPC) for Sustainable Industrial Applications," *Polymers (Basel)*, vol. 14, no. 17, pp. 1–36, 2022, doi: 10.3390/polym14173698.