

Pengaruh Komposisi Serat Batang Pisang dan Cangkang Kerang Hijau Terhadap Kekuatan Bending Komposit Bermatriks-Epoxy

Mochammad Wahyu Prasetyo¹, Cepi Yazirin², Artono Raharjo³.

¹ Teknik Mesin, Universitas Islam Malang, 21901052050@unisma.ac.id

² Teknik Mesin, Universitas Islam Malang, cepiyazirin10@unisma.ac.id

³ Teknik Mesin, Universitas Islam Malang, artono.raharjo@unisma.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh integrasi serbuk cangkang kerang hijau sebagai *filler* terhadap kekuatan bending komposit berpenguat serat batang pisang dengan matriks *epoxy*. Metodologi yang diterapkan adalah eksperimen murni menggunakan teknik *hand lay-up* yang dikombinasikan dengan sistem vakum untuk meminimalkan pembentukan *void*. Serat batang pisang diberikan perlakuan alkalisasi NaOH 5% selama 2 jam guna mengoptimalkan ikatan antarmuka. Spesimen dipabrikasi sesuai standar ASTM D790 dengan fraksi volume serat konstan 40% dan variasi *filler* 0%, 10%, serta 20%. Hasil pengujian menunjukkan nilai kekuatan bending rata-rata tertinggi sebesar 101,223 N/mm² pada fraksi *filler* 10%, yang diidentifikasi sebagai titik saturasi optimum. Analisis statistik ANOVA satu arah mengonfirmasi signifikansi hasil dengan $F_{\text{Hitung}} 16,281 > F_{\text{Tabel}} 5,143$ (P-Value 0,00377). Penurunan kekuatan signifikan terjadi pada fraksi 20% (52,374 N/mm²) yang diatribusikan pada fenomena aglomerasi partikel dan konsentrasi tegangan.

Kata Kunci: Cangkang Kerang Hijau, *Epoxy*, Kekuatan Bending, Komposit, Serat Batang Pisang.

ABSTRACT

This study evaluates the effect of incorporating green mussel shell powder as a filler on the flexural strength of banana fiber-reinforced epoxy composites. The research employed a true experimental design using the hand lay-up technique integrated with a vacuum system to minimize void formation. Banana fibers underwent a 5% NaOH alkalization for 2 hours to optimize interfacial bonding. Specimens were fabricated according to ASTM D790 standards with a constant 40% fiber volume fraction and filler variations of 0%, 10%, and 20%. The results indicated that the highest average flexural strength of 101.223 N/mm² was achieved at a 10% filler fraction, identified as the optimum saturation point. One-way ANOVA statistical analysis confirmed the significance of these findings with an $F\text{-Value of } 16.281 > F\text{-Table } 5.143$ (P-Value 0.00377). A significant decrease in strength occurred at the 20% fraction (52.374 N/mm²), attributed to particle agglomeration and stress concentration phenomena.

Keywords: Green Mussel Shell, *Epoxy*, Bending Strength, Composite, Banana Fiber

PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi material saat ini mendorong eksplorasi komposit berpenguat serat alam (natural fiber) sebagai alternatif material sintetis yang tidak ramah lingkungan. Penggunaan serat sintetis memiliki dampak negatif karena limbahnya sulit terurai, sehingga inovasi material berkelanjutan menjadi sangat krusial [1]. Indonesia memiliki potensi serat alam melimpah, salah satunya serat batang pisang. Dalam struktur tanaman pisang, bagian batang (pseudostem) menyumbang sekitar 63% dari total berat tanaman, namun pemanfaatannya masih sering terbatas sebagai limbah pertanian [2], [6].

Selain serat, limbah cangkang kerang hijau menawarkan potensi sebagai filler organik karena kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) dengan kadar kalsium (Ca) mencapai 99,5% [7]. Penambahan CaCO_3 ke dalam matriks epoxy diharapkan mampu memperbaiki daerah antarmuka (interface) dan meningkatkan kekuatan mekanik. Penelitian ini bertujuan untuk menguji secara empiris pengaruh variasi komposisi filler cangkang kerang terhadap kekuatan bending komposit serat batang pisang.

Komposit adalah sistem material rekayasa yang disintesis melalui penggabungan makroskopis dua atau lebih material dasar (matriks dan *reinforcement*) yang memiliki sifat fisik dan kimia berbeda [3]. Matriks berfungsi sebagai pengikat kontinu, sementara penguat berperan sebagai penanggung beban mekanik utama.

Serat batang pisang secara teknis memiliki karakteristik unggul dengan kandungan lignin sebesar 33,51% dan kekuatan tarik rata-rata mencapai 600 MPa [6]. Namun, serat alami ini memiliki karakteristik *lumen* dan

permukaan yang tidak beraturan, yang menuntut perlakuan khusus agar proses pembasahan (*wetting*) oleh resin dapat berlangsung optimal.

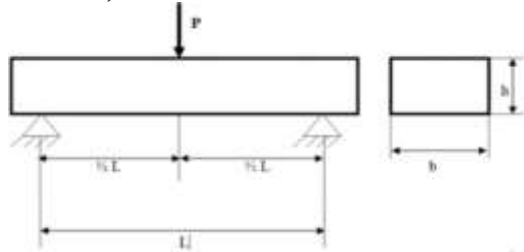
Bubuk cangkang kerang hijau bertindak sebagai stiffening agent dalam matriks polimer. Kandungan CaCO_3 yang tinggi berfungsi mengisi rongga mikro (void) dan mendistribusikan tegangan secara lebih merata di dalam sistem komposit [7].

Pengujian dilakukan menggunakan prinsip *three-point bending* berdasarkan standar **ASTM D790**. Metode ini mengukur daya lentur spesimen dengan meletakkannya di atas dua tumpuan dan memberikan beban terpusat di tengah bentang hingga terjadi kegagalan atau patah [1], [3].

METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengadopsi pendekatan eksperimen nyata (*true experimental research*) untuk mendapatkan data empiris mengenai perilaku mekanik material. Bahan yang digunakan mencakup resin *epoxy* (densitas $1,16 \text{ g/cm}^3$), serat pelepah pisang (densitas $1,5 \text{ g/cm}^3$), dan serbuk cangkang kerang hijau (densitas $2,1 \text{ g/cm}^3$) yang telah diayak menggunakan mesh 120 ($\pm 125 \mu\text{m}$). Serat batang pisang menjalani proses alkalisasi dalam larutan NaOH 5% selama 2 jam. Proses ini krusial untuk mendegradasi lignin, hemiselulosa, dan pektin, sehingga meningkatkan kekasaran permukaan serat untuk mekanisme *mechanical interlocking* yang lebih superior. Penyusunan komposit dilakukan melalui metode *hand lay-up* dua lapis dengan orientasi serat sejajar (*unidirectional*). Untuk menjamin integritas struktur, proses vakum diaplikasikan menggunakan komponen *butyl sealant*, resin trap, dan *sealant tape* guna

menciptakan lingkungan kedap udara yang meminimalkan *void*. Kekuatan bending dievaluasi menggunakan metode *three-point bending* berdasarkan standar **ASTM D790** (dimensi 120 x 15 x 7 mm).



Gambar 1. Uji Bending (Zainuri, dkk., 2019)

Parameter kekuatan bending (σ_f) dihitung menggunakan formula:

$$\sigma_f = \frac{3F_{max}L}{2bd^2}$$

Di mana F_{max} adalah beban maksimum, L adalah jarak tumpuan (60 mm), b adalah lebar, dan d adalah tebal spesimen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut adalah data mentah hasil pengujian dari sembilan spesimen yang tertera pada Tabel 1 :

Tabel 1. Tabel Ringkasan Nilai Rata-rata

No Spesimen	Variasi Fraksi (Filler:Serat)	Beban Maksimum (N)	Kekuatan Bending (N/mm^2)
1	0% : 40%	523,85	64,145
2	0% : 40%	594,49	72,794
3	0% : 40%	635,69	77,839
4	10% : 40%	733,79	89,852
5	10% : 40%	857,39	104,987
6	10% : 40%	888,79	108,831
7	20% : 40%	300,19	36,757
8	20% : 40%	506,20	61,983
9	20% : 40%	476,77	58,379

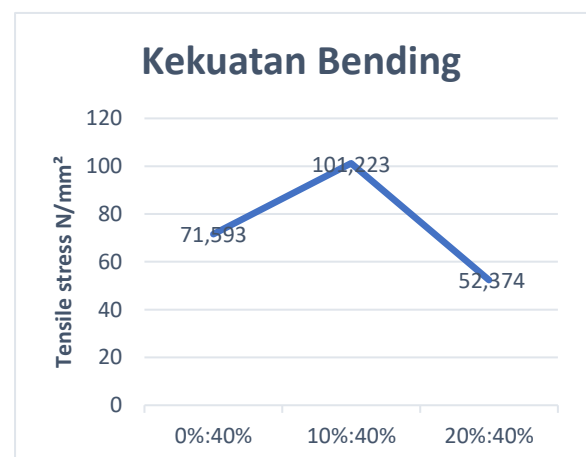
Variasi Fraksi (*Filler*:Serat) | Kekuatan Bending Rata-rata (N/mm^2) | 0% : 40% | 71,593 | 10% : 40% | 101,223 | 20% : 40% | 52,374 |

Analisis Statistik ANOVA Evaluasi signifikansi dilakukan melalui analisis ANOVA satu arah untuk menguji pengaruh variasi filler terhadap kekuatan mekanik yang tertera pada Tabel 2:

Tabel 2. Hasil analisis (ANOVA) Uji Bending

	Sum of Squares (SS)	Mean Square (MS)	F	P-value	F Hitung	F Tabel
Antar Kelompok	3633,727	21816,864	16,281	0,0035	16,281	5,143
Dalam Kelompok	669,560	111,593	-	-	-	-
Total	4303,287	800,560	-	-	-	-

Hasil menunjukkan **F Hitung (16,281) > F Tabel (5,143)**, sehingga H_0 hipotesis nol ditolak. Penambahan *filler* secara statistik memberikan pengaruh nyata terhadap performa bending komposit.



Gambar 2.

Fenomena peningkatan kekuatan pada fraksi 10% (101,223 N/mm^2) merupakan manifestasi dari peran $CaCO_3$ Kalsium Karbonat sebagai *particulate reinforcement*. Partikel ini

efektif mengisi rongga mikro (*void filler*) dan meningkatkan viskositas matriks hingga mencapai densitas yang optimal, memungkinkan transfer tegangan yang lebih efisien dari matriks ke serat. Kondisi ini didefinisikan sebagai titik saturasi optimum bagi kompatibilitas resin-epoxy dan serat batang pisang. Sebaliknya, pada fraksi 20%, terjadi degradasi kekuatan menjadi 52,374 N/mm². Secara teknis, ini disebabkan oleh viskositas campuran yang terlalu tinggi sehingga mengganggu proses pembasahan (*wetting*) matriks terhadap serat. Akibatnya, muncul fenomena aglomerasi partikel yang bertindak sebagai *stress concentrator* (pemusat tegangan), memicu inisiasi retak prematur.

Analisis morfologi patahan mengungkapkan karakteristik yang berbeda yang tertera pada gambar berikut.



Gambar 3. Foto Hasil Pengujian Spesimen 0%.

Fraksi 0%: Menunjukkan fenomena *fiber bridging*, di mana serat masih mampu menahan beban saat matriks mulai gagal, serta terdapat indikasi *fiber pull-out*. Akibatnya, kekakuan matriks relatif lebih rendah sehingga distribusi tegangan selama pembebanan bending menjadi kurang merata. Kondisi ini mempercepat terjadinya pelepasan ikatan pada daerah antarmuka serat.



Gambar 4. Foto Hasil Spesimen Pengujian Spesimen 10 %

Fraksi 10%: Jumlah rongga pada bidang patahan tampak berkurang, sedangkan serat terlihat tertanam lebih baik di dalam matriks. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa resin mampu mengisi ruang kosong di antara serat.



Gambar 5. Foto Hasil Pengujian Spesimen 20%.

Fraksi 20%: Didominasi oleh *brittle fracture* (patah getas) dengan permukaan patahan yang relatif rata akibat integritas struktur yang melemah oleh penggumpalan *filler*.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data pada penelitian ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

1. Signifikansi Pengaruh Komposisi: Variasi komposisi

antara serat batang pisang dan filler bubuk cangkang kerang hijau memberikan dampak yang nyata dan signifikan terhadap kekuatan bending komposit bermatriks epoxy. Hal ini dibuktikan secara statistik dengan nilai F Hitung (16,28111) yang lebih besar dari F Tabel (5,14325), sehingga hipotesis nol (H_0) ditolak.

2. Kondisi Optimum: Formulasi komposit paling optimum dicapai pada penambahan fraksi massa filler sebesar 10%, yang menghasilkan nilai kekuatan bending tertinggi sebesar 101,2233 N/mm². Pada kondisi ini, distribusi partikel yang homogen berhasil mengoptimalkan efek mechanical interlocking di dalam matriks.
3. Dampak Overloading Filler: Penambahan filler hingga 20% menyebabkan penurunan kekuatan bending secara drastis menjadi 52,373 N/mm². Penurunan ini disebabkan oleh fenomena aglomerasi (penggumpalan partikel) yang menciptakan titik-titik pemusat tegangan (stress concentrator), sehingga memicu terjadinya patah getas prematur pada material.

SARAN

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya agar diperoleh hasil yang lebih sempurna, disarankan beberapa hal berikut:

1. Optimalisasi Ukuran Partikel: Perlu dilakukan proses pengayakan (*sieving*) bubuk cangkang kerang dengan ukuran yang lebih spesifik dan seragam, seperti skala nanometer, untuk

mengurangi risiko aglomerasi pada fraksi massa yang lebih tinggi.

2. Peningkatan Metode Pencampuran: Disarankan menggunakan alat bantu mekanis seperti mixer atau *ultrasonic bath* saat mencampur filler ke dalam resin guna memastikan distribusi partikel benar-benar homogen sebelum proses pencetakan.
3. Kontrol Temperatur: Sebaiknya menggunakan temperatur yang lebih tinggi dari suhu ruang saat proses pencampuran untuk menghindari ketidakmerataan viskositas resin saat bercampur dengan serbuk kerang.
4. Pengujian Lanjutan: Perlu dilakukan pengujian mekanis tambahan seperti uji tarik (*tensile test*) dan uji impact (*impact test*), serta analisis mikroskopis menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengevaluasi ikatan antarmuka (*interfacial bonding*) secara lebih detail.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Zainuri, S. S. (2019). Pengaruh Jenis Anyaman dan Fraksi Volume Serat Terhadap Kekuatan Bending dan Impact Komposit Serat Rami dengan Matrik Resin Polyester. *Junal Momentum*.
- Afridalillah, N. (2022). Analisa Perlakuan Alkali (NaOH) Pada Serat Terhadap Kekuatan Impact dan Bending Komposit Epoxy. *Doctoral Dissertation, Universitas Islam Riau*.
- Apriani, E. (2017). Analisa Pengaruh Variasi Komposisi Bahan Limbah dari Serat Kelapa Muda ,

Batang Pisang dan Kertas Bekas Terhadap Kekuatan Bending sebagai Papan Komposit. *Jurnal Engine*, vol. 1, no. 2, pp. 38-46.

B. Maryanti, A. A. (2011). Pengaruh Alkalisasi Komposit Serat Kelapa-Poliester Terhadap Kekuatan Tarik. *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 2, no. 2, pp. 123-129.

Hariyanto, A. (2010). Pengaruh Perlakuan Alkali pada Rekayasa Bahan Komposit Berpenguat Serat Rami Bermatrik Poliester terhadap Kekuatan Mekanis. *Media Mesin*, vol. 11, no. 1, pp. 8-14.

N. Ophelia, I. d. (2024). Eksplorasi Penggunaan Bahan Material Komposit dari Serat Alam pada Drone. *Jurnal Review*, vol. 9, no. 1.

Putri. (2023). Analisis Sifat Mekanis Komposit Matriks Polyester dengan Penguat Cangkang Kerang Hijau. *Jurnal Fisika*, vol. 13, no. 1, pp. 20-28.