

## Pengaruh Variasi Kandungan Serbuk Karbon Terhadap Karakteristik Mekanik Komposit Polyester Kulit Nunang

Suteja<sup>1</sup>

Universitas Mataram

Syarif Hidayatullah<sup>2</sup>

Universitas Mataram

Alamat : Jalan Majapahit 62 Gomong, 83115 Mataram, Nusa Tenggara Barat,  
Indonesia.

Korespodensi Penulis: [suteja@unram.ac.id](mailto:suteja@unram.ac.id)

**Abstract.** *The development and performance of high-strength, environmentally friendly, and renewable nunang fiber (*Cordia dichotoma*)-reinforced polyester composites continue to be refined to achieve optimal performance. This study characterizes the key properties of nunang fiber-reinforced polyester composites with carbon powder fillers. The polyester composites were fabricated using a hot-press method with a nunang fiber volume fraction of 20% (by weight) and varying carbon powder content from 0–10% (by weight). The results of the investigation show that the tensile and bending strengths of the composites increase with increasing carbon powder content up to 2.5%. However, adding carbon powder filler up to 10% to the polyester–nunang fiber composites reduces their tensile and bending strengths. A different trend is observed for the impact toughness of the composites, which increases up to a carbon powder content of 5% and decreases when the carbon powder content reaches 10%. This phenomenon is attributed to the ability to form an optimal fiber-matrix interface between the nunang fibers and the polyester–carbon powder matrix. SEM morphological observations confirmed fiber pull-out failure and matrix failure due to the high stiffness caused by the presence of the carbon powder filler.*

**Keywords:** *Polyester composites, nunang fibers, carbon powder, mechanical strength, morphology.*

**Abstrak.** Pengembangan komposit polyester diperkuat serat nunang (*Cordia dichotoma*) yang kuat, ramah lingkungan dan terbarukan terus dikembangkan untuk memperoleh performa terbaiknya. Investigasi ini mengkarakterisasi perilaku penting komposit polyester diperkuat serat nunang dengan *filler* serbuk karbon. Fabrikasi komposit polyester menggunakan metode *hot press* fraksi volume serat nunang 20% (berat) dan variasi serbuk karbon 0-10% (berat). Hasil investigasi menunjukkan bahwa kekuatan tarik dan bending komposit meningkat seiring bertambahnya kandungan serbuk karbon sampai 2.5%. Namun, penambahan *filler* serbuk karbon sampai 10% pada komposit

---

Received April 22, 2026; Revised Juni 09, 2026; Accepted Juni 15, 2026

\*Corresponding author, [suteja@unram.ac.id](mailto:suteja@unram.ac.id)

polyester – serat nunang menurunkan kekuatan tarik dan kekuatan bendungnya. Hal berbeda terjadi pada nilai ketangguhan impak komposit meningkat sampai kandungan serbuk karbon 5% dan menurun ketika kandungan serbuk karbon 10%. Fenomena ini disebabkan kemampuan untuk membentuk ikatan *interface* serat nunang dengan polyester – serbuk karbon pada kondisi optimal. Pengamatan morfologi dengan SEM membuktikan terjadi kegagalan serat nunang *pull out* dan matrik polyester akibat kekakuan yang tinggi oleh hadirnya *filler* serbuk karbon.

**Kata Kunci :** Komposit polyester, serat nunang, serbuk karbon, kekuatan mekanik, morfologi.

## PENDAHULUAN

Sifatnya yang ramah lingkungan dan ketersediaannya yang melimpah menjadikan komposit diperkuat serat alam sebagai material yang diperhitungkan (Gapsari *et al.*, 2022). Serat alam sebagai penguat komposit telah dilaporkan dan terbukti mampu memperbaiki sifat mekanik dan termal dengan proporsi yang tepat dan sesuai (Herlina *et al.*, 2024; Suteja *et al.*, 2025). Akan tetapi masih diperlukan perbaikan untuk mendapatkan karakteristik komposit yang maksimal. Beberapa metode dilaporkan mampu memperbaiki sifat-sifat komposit, seperti perlakuan kimia serat alam dan penambahan *filler* sebagai agen penguat sekunder di dalam komposit. Kedua metode tersebut terbukti murah dan efektif dalam meningkatkan karakteristik komposit (Mohammadi *et al.*, 2025).

Komposit yang diperkuat serat nunang diketahui dan diyakinkan memiliki karakteristik yang dapat digunakan sebagai penguat komposit ramah lingkungan (Andoko *et al.*, 2024). Oleh karena itu, komposit polymer yang diperkuat serat nunang terus dikembangkan sebagai material alternatif. Tujuannya tidak hanya untuk meningkatkan sifat mekanik dan fisik komposit, tetapi juga mencari alternatif dengan biaya proses yang paling rendah. Modifikasi penguat dengan *filler* dan serat yang dipadukan bersama-sama dianggap sebagai metode terbaik karena sederhana, efektif, dan murah. Selain itu, metode ini lebih unggul karena mampu mempertahankan sifat asli bahan (Ouyang *et al.*, 2022; Sienkiewicz *et al.*, 2022).

Sebagai penguat sekunder, peran *filler* berupa serbuk di dalam komposit sangat ditentukan ukurannya. Ukuran yang berskala nano terbukti mampu meningkatkan sifat mekanik komposit diperkuat serat alam. Penambahan *filler* seperti  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , serbuk karbon, serbuk besi, aluminium dan lain sebagainya (Cheng *et al.*, 2024; Diharjo *et al.*,

2024; Gapsari *et al.*, 2022; Ouyang *et al.*, 2022). Serbuk karbon dari tempurung kelapa menjadi salah satu alternatif yang sangat potensial sebagai pengisi komposit (Sari *et al.*, 2021). Penambahan *filler* ke dalam komposit polymer yang diperkuat serat alam juga dapat meningkatkan ketahanan aus, ketahanan terhadap penyerapan air, dan sifat mekanik komposit. Rasio permukaan antara serat-nanopartikel dengan matrik menunjukkan peningkatan dan pembentukan antarmuka yang diperkuat oleh matrik menunjukkan nilai lebih besar (Jia *et al.*, 2020). Serbuk karbon dari tempurung kelapa merupakan salah satu solusi alternatif untuk memperbaiki sifat komposit. Serbuk karbon dari tempurung kelapa dikenal sebagai *filler* aktif yang dapat memberikan pengaruh lain seperti dapat meningkatkan sifat makro dan mikro komposit polimer. Sari *et al.* (2021) telah mengembangkan komposit polyester diperkuat serat kulit jagung dengan variasi volume serbuk karbon dari tempurung kelapa variasi volume 5% dan 10% (vol.), sedangkan kandungan serat kulit jagungnya adalah 10%, 15%, 20%, dan 30% (vol.). Kekuatan tarik komposit poliester/5% vol serbuk karbon menurun drastis dari 22,459 MPa menjadi 16,955 MPa. Namun, kekuatan lentur meningkat dari 24,233 MPa menjadi 45,844 MPa seiring dengan peningkatan kandungan serat kulit jagung. Selain itu, semua komposit poliester-10% serbuk karbon memiliki nilai kekuatan lentur yang lebih tinggi daripada komposit poliester-5% serbuk karbon. Sebaliknya, sifat kekuatan tarik menurun pada kandungan serat kulit jagung 10%-15% dan kemudian meningkat pada kandungan serat kulit jagung 20%-30%. Hasil ini disebabkan oleh ikatan antarmuka yang lebih erat dan kuat antara serat kulit jagung – serbuk karbon – poliester serta berkurangnya jumlah serat yang terlepas. Morfologi patahan yang diamati dengan SEM menunjukkan ikatan antarmuka yang lemah antara serat kulit jagung – serbuk karbon – poliester dan serat yang terlepas pada komposit. Dalam meningkatkan sifat mekanik, perlu diperhatikan distribusi dan besar *filler*. Distribusi, jumlah, dan ukuran *filler* yang tidak sesuai dapat mengurangi sifat mekanik, fisik, dan termal komposit (Venkidasamy *et al.*, 2024).

Tujuan penelitian ini memodifikasi polyester dengan menambahkan *filler* serbuk karbon. Selanjutnya, penelitian ini membandingkan sifat mekanik komposit yang dipengaruhi oleh variasi volume *filler* (serbuk karbon). Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dan data yang detail mengenai komposit polyester – diperkuat serat nunang dengan variasi fraksi volume *filler* yang berbeda.

## METODE

### Material

Lembaran serat nunang dihasilkan dengan ekstraksi oleh mikrobakterial melalui proses pembusukan. Serat nunang (*Cordia dichotoma*) diperoleh dari desa Kuta Lombok Tengah NTB. Kulit batang nunang diambil dari ranting pohon yang telah berumur sekitar 1-2 tahun (Gapsari et al., 2021). Matrik sebagai pengikat komposit berupa resin poliester dibeli dari PT Justus Kimia Raya, Surabaya, Indonesia dan katalis *methyl ethyl ketone peroxide* perbandingan 100:1 Densitas dan kekuatan tarik polyester masing-masing sebesar 1,2 g/cm<sup>3</sup> dan 8.8 kg/mm<sup>2</sup>. *Filler* serbuk karbon diproduksi dan dibeli dari PT. Indratma Sahitaguna (Semarang, Indonesia). Ukuran partikel serbuk karbon yaitu lolos pada 200 mesh.

### Fabrikasi Komposit

Dengan menggunakan *analytical balance*, serat nunang ditimbang sesuai dengan fraksi volume komposisi yang telah ditentukan (tabel 1). Untuk mempermudah ekstraksi spesimen, serat nunang ditempatkan secara horizontal pada cetakan baja yang telah diolesi dengan *mirror glass* sebelumnya. Poliester resin, dicampur dengan *filler* (serbuk karbon) hingga homogen. Setelah itu, 1% katalis (MEKSPO) ditambahkan dan semua diaduk dengan baik. Adonan dituang ke dalam seluruh bagian serat nunang dan *dipress* menggunakan mesin *hot press* menggunakan tekanan 10 MPa pada temperatur 70 °C selama 45 menit. Komposit poliester serat nunang dengan *filler* serbuk karbon dibentuk dalam variasi % *filler* (dalam fraksi volume). Tabel 1 menunjukkan variabel dan kode spesimen.

**Tabel 1.** Kode dan variasi komposisi komposit.

No.	Kode	Volume Fraction (%)		
		Poliester	Serat Nunang	Serbuk Karbon
1	FGR	70	30	0
2	ACM	67.5		2.5
3	SYH	65		5
4	FYF	60		10

## Karakterisasi

### Pengujian Tarik

Spesimen uji tarik komposit poliester – serat nunang dengan *filler* serbuk karbon memiliki bentuk dan dimensi yang sesuai dengan standar ASTM D 3039 (De Baere et al., 2011). Mesin uji tarik RTG-1310 digunakan pada kecepatan 5 mm/min dengan kapasitas beban maksimal 20 kN. Untuk setiap sampel masing-masing dilakukan pengujian 3 kali pengulangan dan dihitung nilai rata-rata kekuatan tarik komposit.

### Pengujian Bending

Pengujian *three point bending* komposit poliester – serat nunang *filler* serbuk karbon dilakukan dengan alat dan pembebanan yang sama dengan uji tarik. Berdasarkan standar ASTM D790 (Raj et al., 2021), jarak tumpuan pengujian diberikan sebesar 48 mm dengan dimensi sampel komposit yaitu 127 mm x 12.7 mm x 6 mm. Untuk setiap sampel masing-masing dilakukan pengujian 3 kali pengulangan dan dihitung nilai rata-rata kekuatan bending komposit.

### Pengujian Impak

Mesin uji impak Charpy Model IT-30 telah digunakan untuk mengkarakterisasi ketangguhan impak komposit poliester – serat nunang *filler* serbuk karbon. Pengujian ini mengacu pada standar ASTM D256 dengan dimensi spesimen 55 mm x 10 mm x 10 mm (Schaeffer et al., 1998). Untuk setiap sampel masing-masing dilakukan pengujian 3 kali pengulangan dan dihitung nilai rata-rata ketangguhan impak komposit.

### Pengamatan Morphology (*Scanning Electron Microscope (SEM)*)

Metode SEM (JEOL, JSM-S5200) digunakan untuk mengamati permukaan patahan pada komposit poliester – serat nunang. Selain itu, kualitas antarmuka poliester – serat nunang *filler* serbuk karbon dan kegagalan serat komposit dianalisa. Sebelum pengamatan SEM, sampel komposit poliester – serat nunang dilapisi dengan lapisan tipis emas mendekati ketebalan 50 nm (Dago et al., 2023). Pengamatan SEM dilakukan dengan mengatur akselerasi tegangan pada 3 kV dan 15 mA.

Spesimen komposit hasil uji diolah data menggunakan *software* OriginLab. Selanjutnya dilakukan analisis data eksperimen dengan menggunakan pendekatan metode kuantitatif. Dengan variasi komposisi penyusun komposit sebagai variabel bebas untuk

menentukan karakteristik tarik, bending, impak dan morphology (variabel terikat) komposit.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

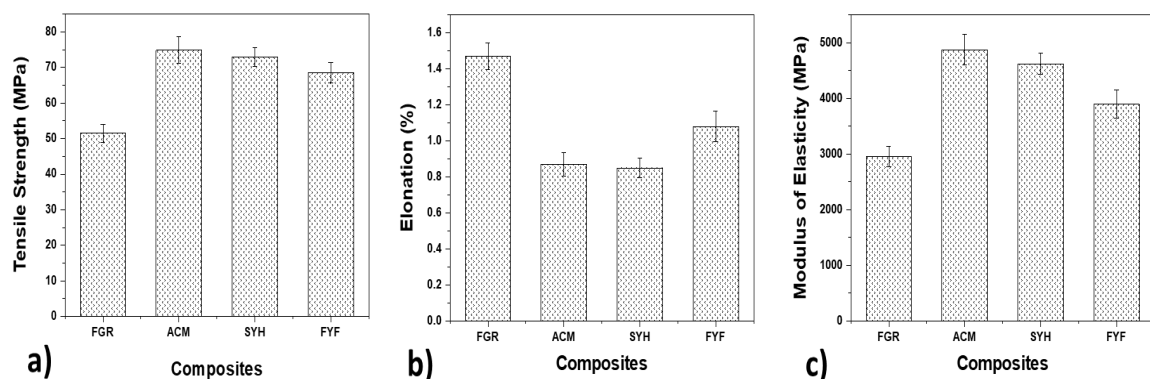
### Analisis Kekuatan Tarik

Hasil fabrikasi komposit polyester – serat nunang dengan *filler* serbuk karbon ditampilkan pada gambar 1. Spesimen komposit selanjutnya dilakukan pengujian dan analisa.



**Gambar 1.** Sampel komposit Poliester – serat nunang dengan variasi serbuk karbon (sampel 5% vol.)

Hasil kekuatan tarik dari komposit poliester – serat nunang dengan *filler* serbuk karbon ditampilkan pada Gambar 2a. Kekuatan tarik rata-rata komposit poliester – serat nunang tanpa dan dengan *filler* serbuk karbon dari variasi 0%, 2.5%, 5%, dan 10% masing-masing sebesar 51.56 MPa, 74.86 MPa, 72.96 MPa dan 68.62 MPa (komposit FGR, ACM, SYH dan FYF). Komposit poliester – serat nunang dengan *filler* serbuk karbon menunjukkan sifat tarik yang sangat baik dibandingkan dengan komposit berpenguat serat alam tanpa *filler*, akan tetapi *filler* yang terlalu besar berdampak buruk terhadap kekuatan tarik komposit (Gambar 2a dan Tabel 2).



**Gambar 2.** Karakteristik Kekuatan Tarik Komposit

Secara keseluruhan, kekuatan tarik komposit polyeater – serat nunang meningkat dibandingkan dengan tanpa *filler*, akan tetapi maksimal pada *filler* 2.5% serbuk karbon dan lebih dari fraksi volume tersebut (5% dan 10%) kekuatan tarik komposit menurun. Hal ini dikarenakan kurangnya interaksi antara serat nunang dan poliester yang dibuktikan dengan jumlah serat nunang yang *pull out*, *voids* dan *fiber damage*, seperti yang terlihat pada hasil pengamatan foto SEM. Yang pada akhirnya, kekuatan tarik yang mampu diransfer dari matrik ke serat nunang lebih rendah daripada komposit yang tanpa *filler*. Penjelasan mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan tarik komposit poliester – serat nunang melibatkan viskositas yang digunakan untuk membasahi serat nunang dalam matriks poliester, serta identifikasi cacat pada ujung serat (Aboul *et al.*, 2025). Ikatan antarmuka antara serat nunang yang diberikan oleh mikrofibril selulosa bawaan menyebabkan konsentrasi tegangan tinggi. Sugiman *et al.*, (2021) mengungkapkan bahwa penambahan pengisi komposit cenderung meningkatkan interaksi serat nunang - serat nunang atau serat nunang dengan *filler* serbuk karbon dibandingkan dengan interaksi serat nunang – poliester, yang mengakibatkan penurunan kekuatan tarik. Akibatnya, matriks poliester memiliki kemampuan untuk membasahi serat nunang yang buruk, sehingga menghasilkan transfer tegangan yang buruk ketika beban tarik diberikan. Penambahan *filler* dalam komposit juga menyebabkan ketidakcocokan *interface* antara *filler* serbuk karbon dengan serat nunang yang bersifat hidrofilik (Liu *et al.*, 2023). Selain itu, *filler* yang memiliki kehalusan dan keseragaman bentuk partikel dari *filler* memberikan dispersi yang baik (Salasinska *et al.*, 2018).

**Tabel 2.** Nilai Karakteristik Kekuatan Tarik Komposit.

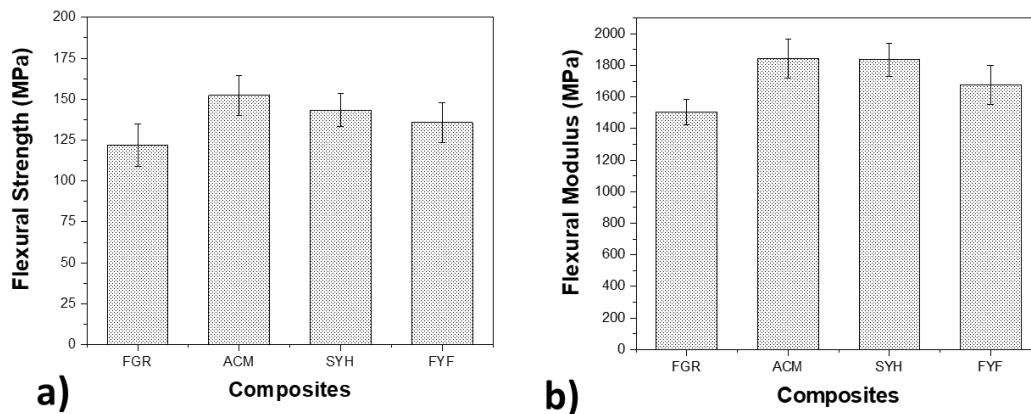
<b>Sampel</b>	<b>Kekuatan Tarik (MPa)</b>	<b>Elongasi (%)</b>	<b>Modulus Elastisitas (MPa)</b>
<b>FGR</b>	51.56 ± 2.56	1.47 ± 0.074	2952.8 ± 186
<b>ACM</b>	74.86 ± 3.71	0.87 ± 0.067	4872.3 ± 272
<b>SYH</b>	72.96 ± 2.72	0.85 ± 0.054	4618.7 ± 187
<b>FYF</b>	68.62 ± 2.9	1.08 ± 0.086	3896.5 ± 248

Gambar 2b dan Tabel 2 menampilkan elongasi komposit poliester – serat nunang saat patah dengan *filler* serbuk karbon. Gambar 2b juga menampilkan komposit tanpa *filler* (komposit FGR) memiliki elongasi paling tinggi yaitu mencapai 1.47%. Spesimen komposit ACM, SYH dan FYF memiliki elongasi yang cenderung menurun sampai dengan titik terendah dimiliki oleh ACM dan SYH. Nilai elongasi mencapai 0.87% dan 0.85% seiring dengan peningkatan fraksi volume serbuk karbon dari 2.5% hingga 5%. Elongasi komposit meningkat kembali pada komposit SYH yang mencapai 1.08% setelah penambahan *filler* serbuk karbon 10%, kenaikan elongasi ini disebabkan oleh pergerakan serat nunang di dalam komposit sebelum patah yang merupakan akibat rendahnya ikatan antara serat nunang dengan matrik poliester. Penurunan nilai elongasi komposit setelah penambahan *filler* menunjukkan bahwa sifat *ductility* komposit polyester lebih tinggi dibandingkan dengan bahan penyusun lainnya terutama serat nunang (Sathish *et al.*, 2025).

Gambar 2c dan Tabel 2 menampilkan perbandingan modulus elastisitas komposit poliester – serat nunang dengan *filler* serbuk karbon. Modulus elastis komposit mengalami peningkatan yang signifikan dengan adanya *filler* serbuk karbon. Komposit FGR (tanpa *filler*) memiliki kekakuan terendah yaitu sebesar 2952.8 MPa. Kemudian meningkat signifikan menjadi 4872.3 MPa untuk sampel ACM (2.5% serbuk karbon). Modulus elastisitas komposit selanjutnya menurun menjadi 4618.7 MPa dan 3896.5 MPa untuk sampel SYH dan FYF berturut-turut. Penurunan modulus elastisitas ini merupakan akibat dari kelebihan serbuk karbon di dalam komposit sehingga tidak mampu saling mengikat dengan baik. Penurunan ini disebabkan karena pergeseran dan pergerakan antara serat dan matrik sehingga komposit tidak dapat menahan deformasi yang mengakibatkan regangan tarik (Sari *et al.*, 2020). Ketidakcocokan komposisi dan ikatan antara *filler* serbuk karbon dan poliester menyebabkan lemahnya ikatan antara bahan-bahan penyusun komposit (Mawaddah *et al.*, 2024). Berdasarkan foto patahan komposit, terlihat mode kegagalan *cup-and-cone* yang menunjukkan bahwa komposit bersifat lentur (Sugiman *et al.*, 2021). Namun, dibandingkan dengan komposit tanpa *filler* dan komposit berpenguat serat alam lainnya, penambahan *filler* serbuk karbon 2.5% (berat) meningkatkan nilai modulus elastisitas.

### Analisis Kekuatan Bending

Gambar 3a dan Tabel 3 menampilkan rata-rata hasil uji kekuatan bending komposit polyester diperkuat serat nunang dengan *filler* serbuk karbon. Untuk kekuatan bending komposit FGR diperoleh kekuatan bending sebesar 121.74 MPa kemudian meningkat menjadi 152.24 MPa, 143.38 MPa dan 135.62 MPa setelah ditambahkan *filler* serbuk karbon 2.5%, 5% dan 10% (berat) untuk masing-masing komposit ACM, SYH dan FYF berturut-turut. Fenomena ini dikarenakan oleh serbuk karbon dalam kondisi optimal (2.5% vol.) dalam matriks polietser mampu menciptakan ikatan permukaan yang baik dan kuat antara serat serat nunang dengan resin polietser. Selanjutnya, fenomena ini menyebabkan kapasitas transfer beban tarik antara serat serat nunang - *filler* serbuk karbon – polyester sangat kuat melalui interaksi antar permukaan. Sedangkan pada sampel SYH dan FYF condong mengalami penurunan kekuatan bending dari komposit ACM. Kondisi disebabkan oleh meningkatnya kemungkinan penggumpalan partikel serbuk karbon sehingga dapat menghambat pembasahan serat nunang oleh matriks polyester (Fuseini *et al.*, 2025) akibat viskositas matrik polister yang semakin tinggi. Partikel yang diaglomerasi menjadi tempat konsentrasi tegangan, sehingga mendorong inisiasi retakan sampai terjadinya kegagalan komposit. Hal ini menegaskan bahwa aglomerasi *filler* serbuk karbon dan viskositas poliester merupakan faktor krusial yang menyebabkan buruknya performa material komposit, terutama dalam terperangkapnya gelembung udara (agregasi *void*) pada matriks menjadikan tegangan terkonsentrasi pada titik tersebut (Alamri & Low, 2013).



Gambar 3. Karakteristik Kekuatan Bending Komposit.

Modulus bending komposit polyester diperkuat serat nunang akibat perbedaan *filler* serbuk karbon (Gambar 3b dan Tabel 3). Nilai modulus bending komposit yang dikembangkan memiliki pola yang sama dengan kekuatan tarik, modulus elastisitas dan kekuatan bending. Dari fenomena ini disimpulkan bahwa masuknya serbuk karbon mempengaruhi modulus bending pada komposit polyester diperkuat serat nunang melalui peningkatan aspek rasio sehingga meningkatkan kekakuan matrik poliester sendiri. Semakin kecil ukuran partikel maka modulus bending semakin meningkat pada skala mikro bahkan skala nano, karena ukuran partikel skala sangat kecil memerlukan tingkat tegangan yang lebih tinggi untuk menyebabkan *debonding* yang nyata (Wrześniewska-Tosik *et al.*, 2020). Hal ini dikarenakan oleh luas permukaan reaktif per unit yang lebih besar serta mengembangkan interaksi kuat dengan matriks – penguat (Alazzawi *et al.*, 2024). Viskositas kompleks dari resin polyester lebih rendah setelah ditambahkan serbuk karbon dibandingkan polyester tanpa bahan pengisi. Perlu digaris bawahi bahwa dengan penambahan snail powder sampai >5% berat, viskositas komposit meningkat dengan cepat dan memungkinkan interaksi antarmuka antara pengisi serbuk karbon dan matriks polyester. Semakin kuat gaya adhesi antar muka maka semakin sulit terjadinya pergerakan molekul, sehingga rantai molekul polimer terjalin erat dan lebih kompak, akan tetapi sulit masuk ke dalam celah-celah serat nunang.

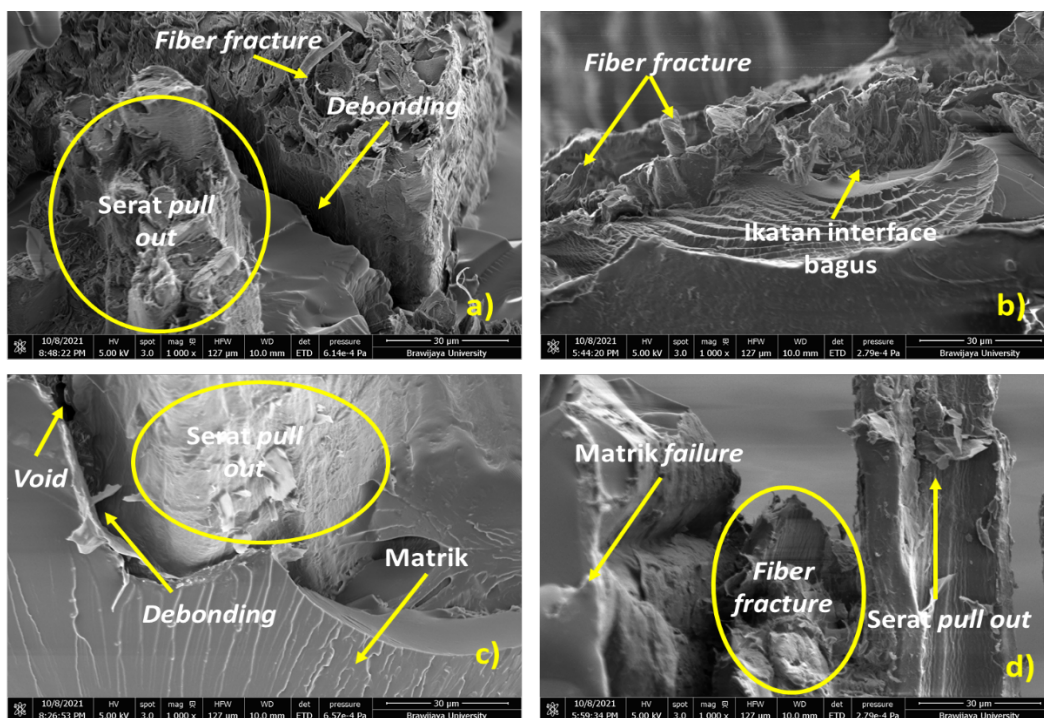
**Tabel 3.** Nilai Karakteristik Kekuatan Bending Komposit.

Sampel	Kekuatan Bending (MPa)		Modulus Bending (MPa)	
	1	2	1	2
<b>FGR</b>	121.74	13	1504.91	82
<b>ACM</b>	152.24	12	1844.02	125
<b>SYH</b>	143.38	10	1834.93	106
<b>FYF</b>	135.62	12	1676.76	124

### Analisis Morphology Patahan Komposit (SEM)

Gambar 4 menunjukkan morfologi kegagalan permukaan komposit poliester – serat nunang tanpa dan dengan *filler* serbuk karbon setelah pembebanan tarik. Kondisi serat nunang dalam bentuk lembaran menunjukkan penyebaran serat yang tidak seragam dan beban tarik yang lebih rendah, tetapi cukup baik dalam ikatan antara penguat dan pengikat, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4a. Sedangkan pada gambar 4b menunjukkan permukaan *interface* yang lebih baik antara serat nunang dan poliester –

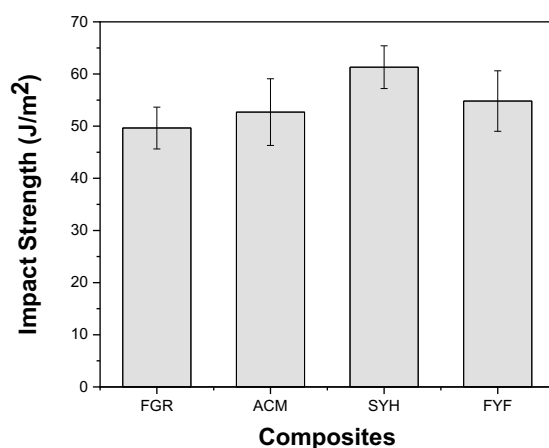
serbuk karbon, termasuk *interface* yang sempit dan kuat, dan serat nunang *pull out* yang berkurang seiring dengan ditambahkan 2.5% (berat) serbuk karbon. Serbuk karbon mendorong pembentukan rantai *interface matrix* dengan serat nunang. Morfologi komposit dengan *filler* serbuk karbon 2.5% juga membantu kesesuaian antara nilai kekuatan tarik dan bending komposit. Gambar 4c dan d, terjadi dominansi serat nunang *pull out* yang signifikan dalam komposit. Ini menyebabkan tegangan penjarangan propagation poliester menjalar ke serat nunang maksimal sampai mengalami kegagalan melalui cacat tertentu setelah adanya perlakuan kimia. Permukaan patahan yang tidak rata menunjukkan bahwa dengan menambah *filler* serbuk karbon yang bersifat *amorph* menyebabkan komposit dapat menjadi lebih keras.



Gambar 4. Foto Morphology Patahan Komposit, a) FGR, b) ACM, c) SYH, d) FYF.

### Analisis Ketangguhan Impak

Pengaruh perbedaan fraksi volume *filler* serbuk karbon terhadap ketangguhan impak (*impact strength*) ditunjukkan pada Gambar 5 dan Tabel 4. Pengujian impak komposit poliester – serat nunang menunjukkan ketangguhan impak yang cukup baik. Ketangguhan impak mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya fraksi volume *filler* serbuk karbon dari 0 – 5% (berat).



**Gambar 5.** Ketangguhan impak komposit.

Ketangguhan impak selanjutnya, menurun dengan bertambahnya *filler* serbuk karbon di 10% (berat). Nilai ketangguhan impak dapat dilihat pada tabel 4. Fenomena turunnya ketangguhan impak komposit pada fraksi volume *filler* serbuk karbon 10% (berat) disebabkan oleh melemahkan ikatan matriks polyester – serat nunang sehingga komposit menyerap lebih sedikit energi (de Lima et al., 2020).

**Tabel 4.** Nilai Karakteristik Kekuatan Impak Komposit.

Sampel	Kekuatan impak (J/m <sup>2</sup> )
<b>FGR</b>	49.64 ± 4
<b>ACM</b>	52.7 ± 6.4
<b>SYH</b>	61.31 ± 4.1
<b>FYF</b>	54.82 ± 5.8

## KESIMPULAN DAN SARAN

Pengembangan dan investigasi komposit poliester dengan penguat serat nunang dimodifikasi dengan variasi *filler* serbuk karbon 0, 2.5%, 5% dan 10% dianalisis sifat mekanik (kekuatan tarik, bending dan impak) dan morfologinya. Kekuatan tarik komposit tertinggi diperoleh pada komposit ACM (2.5% berat serbuk karbon) sebesar 74.86 MPa dan merupakan kondisi optimal membentuk ikatan *interface* antara serat nunang – poliester – serbuk karbon. Sedangkan ketika kandungan serbuk karbon meningkat sampai 10% (berat) kekuatan tarik komposit menurun kembali sampai 68.62

MPa akan tetapi masih di atas kekuatan tarik komposit FGR (tanpa *filler* serbuk karbon) yang hanya sebesar 51.56 MPa. Elongasi tertinggi komposit dimiliki oleh sampel FGR sebesar 1.47% dan terendah dimiliki oleh komposit SYH sebesar 0.85%. Fenomena perubahan nilai elongasi ini disebabkan oleh faktor ikatan yang dihasilkan oleh keberadaan *filler* serbuk karbon di dalam komposit. Nilai modulus elastisitas komposit memiliki tren yang sama dengan kekuatan tarik, modulus elastisitas tertinggi dimiliki oleh komposit ACM sebesar 1844.02 MPa dan modulus elastisitas terendah dimiliki oleh komposit FGR sebesar 1504.91 MPa. Demikian juga tren kekuatan bending dan modulus bending komposit nilai tertinggi dimiliki oleh komposit ACM dengan nilai masing-masing sebesar 152.24 MPa dan 1844.02 MPa berturut-turut. Pengamatan morfologi dengan SEM komposit membuktikan adanya kegagalan berupa *fiber pull out* pada komposit FYF, yang mendukung hasil pengujian mekanik. Hal berbeda terjadi pada hasil pengujian impak komposit, ketangguhan impak meningkat dengan penambahan *filler* serbuk karbon dari 0 - 5% (berat) dan menurun pada *filler* serbuk karbon di 10% (berat).

## UCAPAN TERIMAKASIH

Author menyampaikan terimakasih kepada tim peneliti dari teknik mesin Universitas Brawijaya dan teknik mesin Universitas Mataram atas bantuannya dalam pengambilan data penelitian ini.

## DAFTAR REFERENSI

- About Hrouz, S., Abdellaoui, H., Dänoun, K., Jioui, I., Amadine, O., & Zahouily, M. (2025). Natural fibers coating processes for reinforcement of polymer composites. In *Surface Modification and Coating of Fibers, Polymers, and Composites* (pp. 331–346). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-22029-6.00016-2>
- Alamri, H., & Low, I. M. (2013). Effect of water absorption on the mechanical properties of nanoclay filled recycled cellulose fibre reinforced epoxy hybrid nanocomposites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 44, 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2012.08.026>
- Alazzawi, S., Mahmood, W. A., & Shihab, S. K. (2024). Comparative study of natural fiber-Reinforced composites for sustainable thermal insulation in construction. *International Journal of Thermofluids*, 24, 100839. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2024.100839>

- Andoko, A., Diharjo, K., Soedarsono, J. W., Gapsari, F., Rangappa, S. M., & Siengchin, S. (2024). Influence of various chemical treatments on mechanical, thermal and morphological characteristics of *Cordia dichotoma* fiber. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, *10*, 100972. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100972>
- Cheng, L., Chen, Y., Song, Z., Zhang, L., & Yu, Q. (2024). High performance CaCO<sub>3</sub>-based composites using sodium tripolyphosphate as phase controlling additive: Bamboo fiber driven high strength development. *Construction and Building Materials*, *445*, 137961. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.137961>
- Dago, M. R., Zo-Bi, I. C., Badouard, V., Patacca, M., & Hérault, B. (2023). Concomitant effects of multiple disturbances (logging, fire, biological invasion) on native tree abundances into West Africa's semi-deciduous forests. *Biological Conservation*, *285*, 110220. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110220>
- De Baere, I., Van Paepegem, W., Quaresimin, M., & Degrieck, J. (2011). On the tension–tension fatigue behaviour of a carbon reinforced thermoplastic part I: Limitations of the ASTM D3039/D3479 standard. *Polymer Testing*, *30*(6), 625–632.
- de Lima, G. G., Ferreira, B. D., Matos, M., Pereira, B. L., Nugent, M. J. D., Hansel, F. A., & Magalhães, W. L. E. (2020). Effect of cellulose size-concentration on the structure of polyvinyl alcohol hydrogels. *Carbohydrate Polymers*, *245*, 116612. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116612>
- Diharjo, K., Gapsari, F., Andoko, A., Wijaya, M. N., Mavinkere Rangappa, S., & Siengchin, S. (2024). Flammability and thermal resistance of *Ceiba petandra* fiber-reinforced composite with snail powder filler. *Polymer Composites*, *45*(6), 4947–4960. <https://doi.org/10.1002/pc.28100>
- Fuseini, M., Yousry Zaghoul, M. M., Abakar, D., & Yousry Zaghoul, M. M. (2025). Review of epoxy nano-filled hybrid nanocomposite coatings for tribological applications. *FlatChem*, *49*, 100768. <https://doi.org/10.1016/j.flatc.2024.100768>
- Gapsari, F., Purnowidodo, A., Hidayatullah, S., & Suteja, S. (2021). Characterization of Timoho Fiber as a reinforcement in green composite. *Journal of Materials Research and Technology*, *13*, 1305–1315. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.05.049>
- Gapsari, F., Purnowidodo, A., Setyarini, P. H., Hidayatullah, S., Suteja, Izzuddin, H., Subagyo, R., Mavinkere Rangappa, S., & Siengchin, S. (2022). Properties of organic and inorganic filler hybridization on Timoho Fiber-reinforced polyester polymer composites. *Polymer Composites*, *43*(2), 1147–1156. <https://doi.org/10.1002/pc.26443>
- Gapsari, F., Purnowidodo, A., Setyarini, P. H., Suteja, S., Abidin, Z., Rangappa, S. M., & Siengchin, S. (2022). Flammability and mechanical properties of Timoho fiber-

- reinforced polyester composite combined with iron powder filler. *Journal of Materials Research and Technology*, 21, 212–219. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.09.025>
- Herlina Sari, N., Suteja, S., Pruncu, C. I., Setyawan, I., Ilyas, R. A., & Lamberti, L. (2024). Physicomechanical, water absorption and thermal properties and morphology of *Paederia foetida* fiber– $\text{Al}_2\text{O}_3$  powder hybrid-reinforced epoxy composites. *Polymer International*, 73(7), 573–585. <https://doi.org/10.1002/pi.6632>
- Jia, Y., Ajayi, T. D., Wahls, B. H., Ramakrishnan, K. R., Ekkad, S., & Xu, C. (2020). Multifunctional Ceramic Composite System for Simultaneous Thermal Protection and Electromagnetic Interference Shielding for Carbon Fiber-Reinforced Polymer Composites. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 12(52), 58005–58017. <https://doi.org/10.1021/acsami.0c17361>
- Liu, F., Zhang, X., Xiao, X., Duan, Q., Bai, H., Cao, Y., Zhang, Y., Alee, M., & Yu, L. (2023). Improved hydrophobicity, antibacterial and mechanical properties of polyvinyl alcohol/quaternary chitosan composite films for antibacterial packaging. *Carbohydrate Polymers*, 312, 120755. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.120755>
- Mawaddah, N. A., Irmawaty, R., & Ngeljaratan, L. N. (2024). Physical and mechanical properties of abaca fiber reinforced polymer composites for sustainable structural application. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 14(6), 18955–18960.
- Mohammadi, M., Mohamad, H., Rangappa, S. M., & Siengchin, S. (2025). Incorporation of nano-fillers on the properties of natural fiber reinforced composites: A review. *Sustainable Materials and Technologies*, 45, e01600. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2025.e01600>
- Ouyang, Y., Bai, L., Tian, H., Li, X., & Yuan, F. (2022). Recent progress of thermal conductive ploymer composites:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  fillers, properties and applications. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 152, 106685. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2021.106685>
- Raj, S. S., Michailovich, K. A., Subramanian, K., Sathiamoorthy, S., & Kandasamy, K. T. (2021). Philosophy of selecting ASTM standards for mechanical characterization of polymers and polymer composites. *Materiale Plastice*, 58(3), 247–256.
- Salasinska, K., Barczewski, M., Górný, R., & Kloziński, A. (2018). Evaluation of highly filled epoxy composites modified with walnut shell waste filler. *Polymer Bulletin*, 75(6), 2511–2528. <https://doi.org/10.1007/s00289-017-2163-3>

- Sari, N. H., Fajrin, J., Suteja, & Fudholi, A. (2020). Characterisation of swellability and compressive and impact strength properties of corn husk fibre composites. *Composites Communications*, 18, 49–54. <https://doi.org/10.1016/j.coco.2020.01.009>
- Sari, N. H., Suteja, S., Fudholi, A., Zamzuriadi, A., Sulistyowati, E. D., Pandiatmi, P., Sinarep, S., & Zainuri, A. (2021). Morphology and mechanical properties of coconut shell powder-filled untreated cornhusk fibre-unsaturated polyester composites. *Polymer*, 222, 123657. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2021.123657>
- Sathish Kumar, G., Sridhar, R., Parthiban, A., Sivabalan, S., Sathish, T., Giri, J., Lalvani, J. I. J. R., Hourani, A. O., Becheikh, N., & Bettaieb, B. B. (2025). Mechanical and Dynamic Properties of Banana Fiber-Reinforced Polyester Composites: A Multi-Analytical Characterization Study. *Engineering Reports*, 7(6). <https://doi.org/10.1002/eng2.70200>
- Schaeffer, S. L., Johnson, R. L., & Lewis, W. B. (1998). Impact force comparison of polymers: Molded-notch versus cut-notch using the ASTM D 256 Izod Impact Test Method. *Journal of Testing and Evaluation*, 26(2), 151–156.
- Sienkiewicz, N., Dominic, M., & Parameswaranpillai, J. (2022). Natural Fillers as Potential Modifying Agents for Epoxy Composition: A Review. *Polymers*, 14(2), 265. <https://doi.org/10.3390/polym14020265>
- Sugiman, S., Salman, S., & Anshari, B. (2021). Hydrothermal ageing of hydrophobic nano-calcium carbonate/epoxy nanocomposites. *Polymer Degradation and Stability*, 191, 109671. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2021.109671>
- Suteja, Hidayatullah, S., Gapsari, F., Purnowidodo, A., Susanti, L., Rangappa, S. M., & Siengchin, S. (2025). Enhancing the performance of natural fiber composites: Integrating Walikukun fiber and aluminum filler in epoxy matrices. *Reactive and Functional Polymers*, 214, 106302. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2025.106302>
- Venkidasamy, R., Elumalai, T., Govindhasamy, S., Tharmalingam, S., & Emmanuel Rajan, J. J. S. (2024). Synthesis of CaCO<sub>3</sub> nanocomposite from natural carbonate source and its effect on the inclusion of Eu<sup>3+</sup> ions for photocatalytic activity. *Chemical Engineering Communications*, 211(2), 229–250. <https://doi.org/10.1080/00986445.2023.2233002>
- Wrześniewska-Tosik, K., Ryszkowska, J., Mik, T., Wesołowska, E., Kowalewski, T., Pałczyńska, M., Sałasińska, K., Walisiak, D., & Czajka, A. (2020). Composites of Semi-Rigid Polyurethane Foams with Keratin Fibers Derived from Poultry Feathers and Flame Retardant Additives. *Polymers*, 12(12), 2943. <https://doi.org/10.3390/polym12122943>