

**PENGARUH FRAKSI VOLUME DAN ARAH SERAT TERHADAP
KETANGGUHAN IMPAK DAN KEKUATAN LENTUR PADA MATERIAL
KOMPOSIT SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT**

***THE EFFECT OF VOLUME FRACTION AND FIBER DIRECTION ON IMPACT
TOUGHNESS AND LENTUR STRENGTH OF OIL PALM EMPTY FRUIT
COMPOSITE MATERIALS***

Jefri Aldo¹⁾, Sunardi²⁾, Mekro Permana Pinem³⁾ dan Jefri Aldo⁴⁾

^{1,2,3} Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Banten, Indonesia

⁴ Program Studi Pemeliharaan Mesin, Politeknik Negeri Subang, Kab. Subang, Jawa Barat, Indonesia

email: jefrialdo7@gmail.com¹⁾*, sunardi@untirta.ac.id²⁾, mekro_pinem@untirta.ac.id³⁾,
jefri.aldo@polsub.ac.id⁴⁾

Received:
13 Mei 2025

Accepted:
31 Juli 2025

Published:
21 Agustus
2025



Abstrak

Material komposit berbasis serat alam menjadi alternatif ramah lingkungan yang terus dikembangkan karena ketersediaannya yang melimpah, ringan, dan biaya produksinya rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh fraksi volume dan arah serat terhadap sifat mekanik komposit berbasis serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS), khususnya ketangguhan impact dan kekuatan lentur. Proses pembuatan komposit dilakukan secara eksperimental menggunakan metode *hand lay-up* dan cetak tekan. Serat TKKS digunakan sebagai bahan penguat dan resin poliester sebagai matriks, dengan penambahan katalis MEKPO sebesar 1% dari volume resin. Komposit divariasikan berdasarkan fraksi volume serat (20%, 30%, dan 40%) dan arah serat (0°, 45°, dan 90°). Pengujian ketangguhan impact dilakukan dengan metode Izod mengacu pada ASTM D256, sementara kekuatan lentur diuji menggunakan metode tiga titik lentur (ASTM D790). Hasil penelitian menunjukkan bahwa fraksi volume 30% dengan arah serat 0° menghasilkan kekuatan lentur tertinggi sebesar 95,7 MPa, sedangkan fraksi volume 40% dengan arah 45° menunjukkan ketangguhan impact tertinggi sebesar 28,1 kJ/m². Peningkatan fraksi volume serat di atas 30% menurunkan kekuatan lentur akibat aglomerasi serat. Arah serat 0° optimal untuk lentur, sedangkan 45° paling efektif untuk menyerap energi tumbukan.

Kata Kunci: TKKS, fraksi volume, arah serat, kekuatan lentur, ketangguhan impact

Abstract

Natural fiber-based composite materials are becoming an environmentally friendly alternative that continues to be developed due to their abundant availability, light weight, and low production costs. This study aims to determine the effect of volume fraction and fiber direction on the mechanical properties of empty oil palm fruit bunch (OPEFB) fiber-based composites, particularly impact toughness and flexural strength. The composite manufacturing process

was carried out experimentally using hand lay-up and compression molding methods. OPEFB fibers were used as reinforcement and polyester resin as matrix, with the addition of MEKPO catalyst at 1% of the resin volume. Composites were varied based on fiber volume fraction (20%, 30%, and 40%) and fiber direction (0°, 45°, and 90°). Impact toughness testing was carried out using the Izod method referring to ASTM D256, while flexural strength was tested using the three-point bending method (ASTM D790). The results showed that a 30% volume fraction with a 0° fiber direction produced the highest flexural strength of 95.7 MPa, while a 40% volume fraction with a 45° direction showed the highest impact toughness of 28.1 kJ/m². Increasing the fiber volume fraction above 30% decreased the flexural strength due to fiber agglomeration. The 0° fiber direction was optimal for flexure, while 45° was most effective for absorbing impact energy.

Keywords: EFB, volume fraction, fiber direction, flexural strength, impact toughness

DOI: 10.20527/sjmekinematika.v10i2.747

How to cite: Aldo, J., Sunardi, Pinem, M. P., & Aldo, J., "Pengaruh Fraksi Volume dan Arah Serat Terhadap Ketangguhan Impak dan Kekuatan Lentur Pada Material Komposit Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit". *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 10(2), 242-250, 2025.

PENDAHULUAN

Material komposit telah berkembang pesat sebagai alternatif bahan struktural yang ringan namun kuat, terutama dalam industri otomotif, kedirgantaraan, konstruksi, dan kelautan[1,2]. Salah satu varian yang semakin populer adalah komposit serat alam, yang menawarkan keunggulan berupa ketersediaan melimpah, biodegradabilitas, biaya produksi rendah, serta berat jenis yang ringan [3,4]. Dalam konteks keberlanjutan, serat alam seperti rami, kenaf, abaka, dan serat kelapa menjadi pilihan menarik untuk menggantikan serat sintesis seperti serat kaca dan karbon yang tidak ramah lingkungan[5,6]. Meskipun demikian, penggunaan serat alam sebagai penguat dalam komposit masih menghadapi sejumlah tantangan, salah satunya adalah variabilitas sifat mekanik yang sangat dipengaruhi oleh fraksi volume serat dan orientasi serat terhadap arah beban[7,8,9].

Beberapa penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa peningkatan fraksi volume serat umumnya berkontribusi pada peningkatan kekuatan mekanik seperti kekuatan tarik, lentur, dan impak[10]. Misalnya, penelitian oleh Rahmawaty, dkk.[9] menunjukkan bahwa fraksi volume serat sebesar 30% memberikan kekuatan tarik maksimum pada komposit berbasis serat rami dan matriks epoksi. Namun, penambahan serat yang melebihi kapasitas ikatan dengan matriks justru menurunkan performa akibat terjadinya penggumpalan serat dan lemahnya kohesi antar fase[11,12]. Di sisi lain, penelitian oleh Yudha, dkk.[13] menekankan pentingnya orientasi serat, di mana orientasi sejajar (0°) memberikan kekuatan lentur maksimum, sementara orientasi tegak lurus (90°) menghasilkan kekuatan terendah. Akan tetapi, kajian mengenai efek arah serat terhadap ketangguhan impak, khususnya dalam kondisi orientasi miring (misalnya 45°), masih terbatas dan belum banyak dijelaskan dalam konteks berbagai fraksi volume[14].

Gap yang ditemukan dalam studi pustaka adalah kurangnya pendekatan terpadu yang mengkaji secara simultan pengaruh fraksi volume serat dan orientasi serat terhadap dua sifat mekanik utama secara bersamaan, yaitu kekuatan lentur dan ketangguhan impak. Padahal, kedua parameter ini sangat krusial dalam aplikasi struktural yang melibatkan beban dinamis dan lentur, seperti pada panel bodi kendaraan, pelat struktural, dan *casing* pelindung.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menginvestigasi bagaimana variasi fraksi volume (20%, 30%, dan 40%) dan orientasi serat (0°, 45°, dan 90°) memengaruhi kekuatan lentur dan ketangguhan impak dari komposit

berbasis serat alam. Pendekatan yang digunakan bersifat eksperimental, dengan metode pembuatan spesimen melalui proses pencetakan cetak tekan (*compression molding*), dilanjutkan dengan pengujian impak menggunakan metode *Charpy* dan pengujian lentur tiga titik (*three-point Lentur*). Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pertimbangan dalam desain material komposit yang optimal, baik dari segi performa mekanik maupun keberlanjutan lingkungan, serta mengisi kekosongan pengetahuan dalam literatur terkait pengaruh interaktif antara arah dan kandungan serat terhadap sifat mekanik komposit.

METODE PENELITIAN

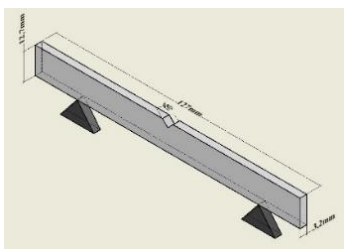
Penelitian ini dilakukan secara eksperimental di laboratorium dengan menggunakan pendekatan kuantitatif [15]. Bahan utama yang digunakan adalah serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebagai penguat (*reinforcement*) dan resin poliester sebagai matriks. Serat TKKS yang digunakan terlebih dahulu melalui proses persiapan yang meliputi pembersihan, pemotongan, dan pengeringan selama 24 jam pada suhu 60°C untuk mengurangi kadar air dan meningkatkan adhesi dengan matriks menggunakan oven pemanas. Resin poliester dicampur dengan katalis MEKPO (*Methyl Ethyl Ketone Peroxide*) sebanyak 1% dari total volume resin sebagai bahan pengeras.



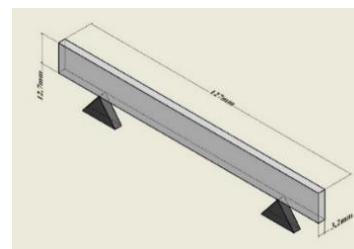
Gambar 1. Diagram alir penelitian

Komposit dibuat dengan metode *hand lay-up*, di mana serat disusun ke dalam cetakan dengan variasi arah serat 0° , 45° , dan 90° , serta variasi fraksi volume serat sebesar 20%, 30%, dan 40%. Setiap kombinasi dibuat dalam tiga spesimen uji untuk menjamin keakuratan hasil. Setelah proses pencetakan, komposit didiamkan selama 24 jam agar terjadi proses *curing* secara optimal, kemudian dilakukan pemotongan sesuai standar pengujian. Adapun prosedur penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 1.

Pengujian sifat mekanik dilakukan meliputi uji impak dan uji lentur. Uji impak menggunakan metode Izod mengacu pada standar ASTM D256 untuk mengukur ketangguhan terhadap beban tumbukan seperti pada Gambar 2. Sementara itu, uji lentur dilakukan dengan metode tiga titik lentur (*three-point Lentur*) berdasarkan standar ASTM D790, untuk menentukan kekuatan lentur maksimum yang mampu ditahan oleh material komposit sebelum mengalami kerusakan seperti Gambar 3. Data yang diperoleh dianalisis antar variasi fraksi volume dan arah serat untuk mengetahui pengaruh masing-masing parameter terhadap performa mekanik komposit yang dihasilkan.



Gambar 2. Standar spesimen uji impak

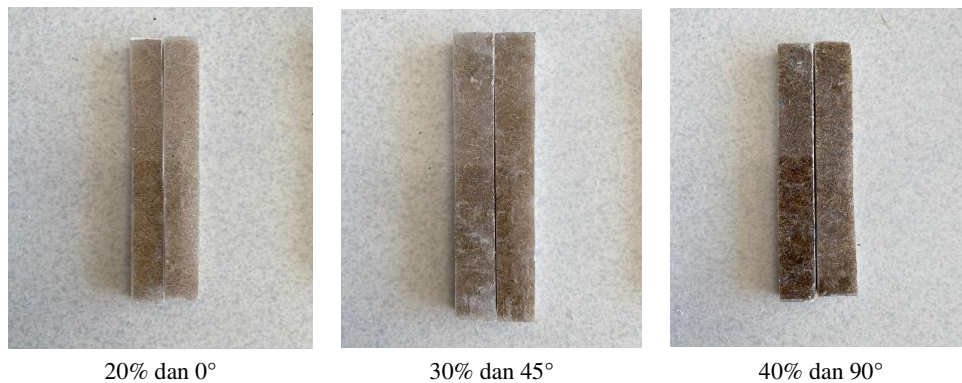


Gambar 3. Standar spesimen uji lentur

HASIL DAN PEMBAHASAN

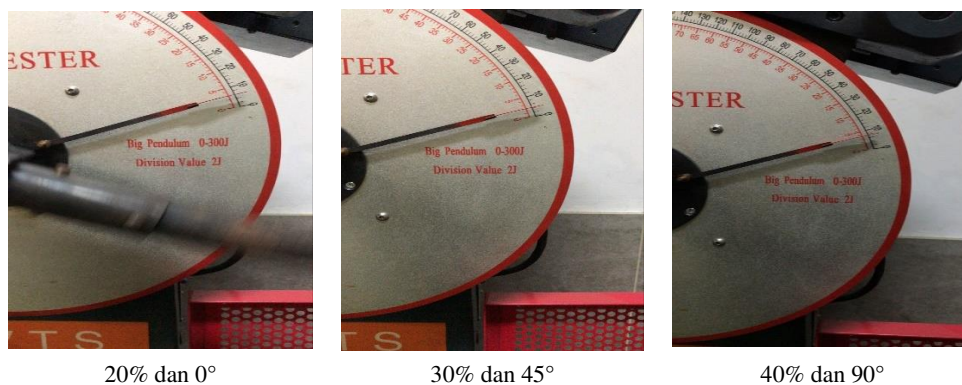
Pengaruh Fraksi Volume dan Arah Serat terhadap Ketangguhan Impak

Perbedaan visual hasil komposit pada Gambar 4 menunjukkan variasi struktur dan penyebaran serat akibat perubahan fraksi volume dan arah orientasi serat. Spesimen dengan fraksi volume 20% dan orientasi serat 0° tampak lebih terang dan homogen, menandakan distribusi serat yang masih jarang dan sejajar dengan panjang spesimen. Sementara itu, komposit dengan fraksi volume 30% dan arah serat 45° terlihat sedikit lebih gelap dan padat, mengindikasikan peningkatan jumlah serat dan penyebarannya yang miring terhadap arah panjang spesimen. Pada fraksi volume 40% dengan arah serat 90° , komposit tampak lebih kasar dan gelap, menunjukkan distribusi serat yang lebih rapat dan orientasi serat tegak lurus terhadap arah panjang, yang berpotensi menimbulkan aglomerasi.



Gambar 4. Hasil komposit

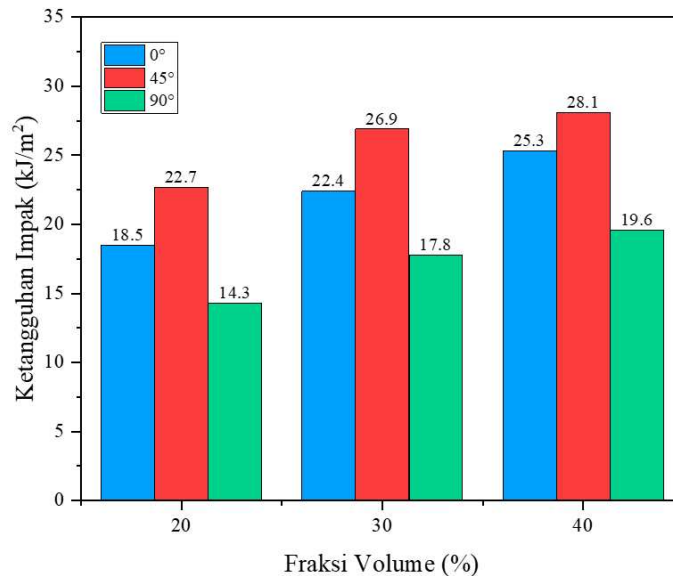
Gambar 4 menunjukkan perbedaan visual spesimen komposit akibat variasi fraksi volume dan arah serat. Spesimen 20% dan 0° tampak lebih terang dan homogen, menandakan serat yang jarang namun terdistribusi sejajar. Pada 30% dan 45° , spesimen terlihat lebih padat dan gelap, menunjukkan peningkatan jumlah serat dengan orientasi diagonal. Sementara itu, spesimen 40% dan 90° tampak paling gelap dan kasar, mengindikasikan serat rapat dengan orientasi tegak lurus yang berpotensi menimbulkan aglomerasi.



Gambar 5. Hasil pengujian impact

Setelah dilakukan pengujian impact pada Gambar 5, terlihat adanya perbedaan bentuk kerusakan antar spesimen. Pada spesimen 20% dan 0° , retakan terjadi secara linier searah serat, menunjukkan ketahanan impact yang masih rendah akibat peran dominan dari matriks. Spesimen 30% dan 45° menunjukkan kerusakan yang lebih menyebar dan bercabang, menandakan bahwa orientasi serat diagonal mampu menyerap energi tumbukan dengan lebih merata, sehingga menghasilkan ketangguhan impact yang lebih baik. Sementara itu, spesimen 40% dan 90° mengalami kerusakan yang lebih kasar dan tidak beraturan. Hal ini

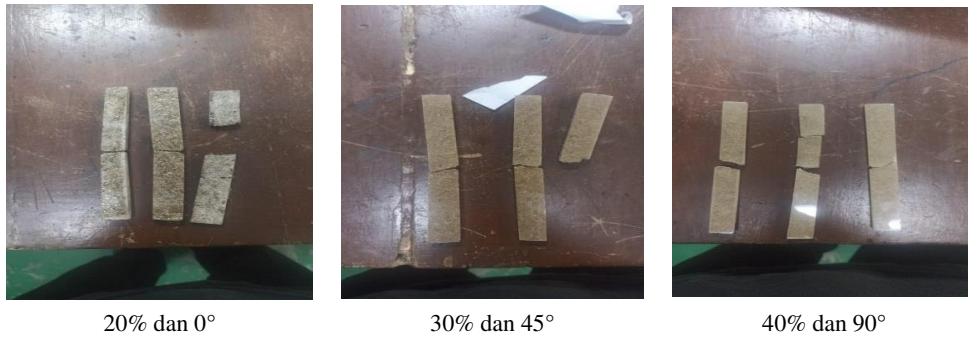
menunjukkan bahwa meskipun kandungan serat tinggi, orientasi 90° kurang efektif dalam menahan beban tumbukan karena serat tegak lurus terhadap arah beban, menyebabkan sebagian besar energi diserap oleh matriks yang lebih lemah. Dengan demikian, orientasi dan fraksi volume serat mempengaruhi pola kerusakan dan efektivitas penyerapan energi tumbukan secara signifikan.



Gambar 6. Pengaruh fraksi volume terhadap ketangguhan impact

Gambar 6 menunjukkan bahwa arah orientasi serat memberikan pengaruh nyata terhadap nilai ketangguhan impact komposit. Pada fraksi volume 40%, orientasi serat 45° memberikan nilai ketangguhan impact tertinggi yaitu 28,1 kJ/m², dibandingkan dengan arah 0° sebesar 24,5 kJ/m² dan 90° sebesar 23,0 kJ/m². Hal ini menunjukkan bahwa serat yang ditempatkan pada sudut miring (45°) mampu mendistribusikan tegangan secara lebih merata selama proses tumbukan, sehingga energi benturan dapat diserap lebih baik tanpa menyebabkan kegagalan material secara dini. Pada fraksi volume 30%, kecenderungan yang sama juga terlihat. Orientasi 45° menghasilkan ketangguhan impact sebesar 26,9 kJ/m², lebih tinggi dibandingkan dengan orientasi 0° sebesar 22,4 kJ/m² dan 90° sebesar 17,8 kJ/m². Penelitian yang dilakukan oleh Dhaka dkk.[8] Peningkatan ketangguhan impact seiring peningkatan fraksi volume serat terjadi karena semakin banyaknya serat yang mampu menahan dan mendistribusikan tegangan benturan. Begitu pula pada fraksi volume 20%, nilai ketangguhan impact untuk orientasi 45° adalah 22,7 kJ/m², lebih tinggi daripada orientasi 0° sebesar 18,5 kJ/m² dan 90° sebesar 14,3 kJ/m². Meskipun nilai ketangguhan impact di fraksi volume ini masih relatif rendah dibandingkan dua fraksi volume di atas, pola kecenderungan pengaruh arah serat terhadap nilai impact tetap konsisten.

Secara keseluruhan, serat dengan orientasi 0° cenderung menerima tegangan benturan secara linier sepanjang arah serat, yang berpotensi menyebabkan konsentrasi tegangan di titik tertentu. Sedangkan orientasi 90° , di mana serat tegak lurus terhadap arah tumbukan, menyebabkan beban lebih banyak ditanggung oleh matriks komposit yang memiliki ketangguhan lebih rendah, sehingga mudah terjadi retak awal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Mujiyanto & Tri waluyo[7]. Sebaliknya, serat yang disusun pada sudut 45° mampu menyalurkan tegangan benturan ke seluruh permukaan komposit secara merata, menunda kerusakan, dan meningkatkan kemampuan material dalam menyerap energi tumbukan.



Gambar 7. Hasil pengujian uji impak

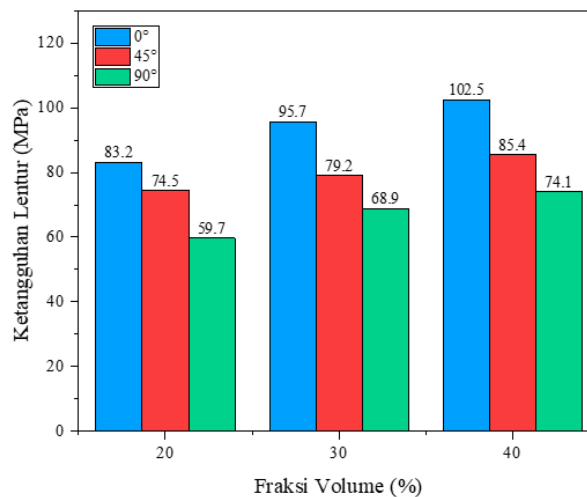
Hasil Pengujian pada Gambar 7 menunjukkan pola kerusakan setelah uji impak. Spesimen 20% dan 0° mengalami retakan linier searah serat, menandakan ketangguhan rendah. Spesimen 30% dan 45° menunjukkan kerusakan menyebar, menandakan penyerapan energi lebih merata. Spesimen 40% dan 90° mengalami kerusakan kasar dan tak beraturan karena orientasi serat tegak lurus kurang efektif menyerap energi tumbukan.

Pengaruh Fraksi Volume dan Arah Serat terhadap Kekuatan Lentur



Gambar 8. Hasil pengujian kekuatan lentur komposit

Gambar 8 menunjukkan bahwa orientasi serat berperan penting dalam menentukan kekuatan lentur material. Pada orientasi 0°, di mana serat disusun sejajar dengan arah pembebanan lentur, kekuatan lentur mencapai nilai tertinggi.



Gambar 9. Data hasil pengujian pengaruh fraksi volume terhadap kekuatan lentur

Pada Gambar 9 dapat dilihat nilai fraksi volume 20%, nilai kekuatan lentur tercatat sebesar 83,2 MPa, meningkat menjadi 95,7 MPa pada 30%, dan mencapai nilai tertinggi

yaitu 102,5 MPa pada 40%. Hal ini terjadi karena serat yang sejajar dengan beban mampu menahan tegangan tarik dan tekan secara maksimal di sepanjang panjang seratnya, sehingga mampu meningkatkan daya dukung terhadap deformasi lentur. Serat berfungsi sebagai tulangan utama yang berperan dalam meredam gaya-gaya eksternal yang bekerja, sementara matriks berperan dalam menjaga posisi serat serta menyalurkan tegangan antar serat. Pada orientasi 45° , nilai kekuatan lentur lebih rendah dibandingkan 0° di setiap fraksi volume. Pada fraksi 20%, nilai lentur mencapai 74,5 MPa, kemudian meningkat menjadi 79,2 MPa pada 30%, dan 85,4 MPa di 40%. Posisi serat yang miring terhadap arah pembebanan menyebabkan kemampuan transfer tegangan antar serat berkurang. Selain itu, posisi ini menyebabkan serat menerima kombinasi beban tarik, tekan, dan geser secara bersamaan. Efisiensi penyaluran tegangan dari matriks ke serat menjadi tidak optimal, sehingga kekuatan lentur mengalami penurunan. Menurut Julian, orientasi serat diagonal terhadap beban lentur memang dapat menyebabkan mekanisme kegagalan kombinasi antara geser antarmuka serat-matriks dan fraktur serat[16]. Sedangkan pada orientasi 90° , di mana serat tegak lurus terhadap arah pembebanan lentur, kekuatan lentur terendah tercatat di semua fraksi volume.

Pada fraksi 20%, nilai kekuatan lentur hanya sebesar 59,7 MPa, kemudian meningkat menjadi 68,9 MPa di 30%, dan 74,1 MPa pada 40%. Kondisi ini disebabkan karena pada posisi tersebut, beban lentur sebagian besar ditanggung oleh matriks, sementara serat kehilangan fungsi utamanya sebagai penahan beban tarik-tekan dalam arah pembebanan. Matriks polimer umumnya memiliki kekuatan mekanik yang jauh lebih rendah dibandingkan serat, sehingga mengakibatkan menurunnya kekuatan lentur secara signifikan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Oyedeji, dkk.[4]. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Siagian, dkk.[17], yang menguji komposit serat alam dengan variasi orientasi serat terhadap kekuatan mekanik. Supian melaporkan bahwa orientasi serat sejajar terhadap arah pembebanan mampu meningkatkan kekuatan lentur hingga 30–40% dibanding orientasi serat tegak lurus. Penelitian lain oleh Naiborhu, dkk.[1] juga menunjukkan bahwa orientasi serat 0° menghasilkan kekuatan lentur tertinggi, sementara orientasi 90° menghasilkan kekuatan paling rendah akibat dominasi beban oleh matriks.



Gambar 10. Hasil pengujian uji lentur

Pada hasil pengujian spesimen pada Gambar 10, menunjukkan perbedaan visual dan kerusakan spesimen komposit sebelum dan sesudah uji lentur. Spesimen 20% dan 0° terlihat lebih terang dan homogen, menandakan distribusi serat yang merata. Pada 40% dan 45° , warna lebih gelap menunjukkan peningkatan kandungan serat. Sedangkan spesimen 60% dan 90° tampak paling padat, namun berpotensi mengalami ketidakterikatan serat akibat kepadatan berlebih. Setelah pengujian, spesimen 20% dan 0° mengalami patahan mulus di tengah, menandakan efektivitas serat dalam menahan beban lentur. Spesimen 40% dan 45° menunjukkan kerusakan menyebar, sedangkan 60% dan 90° menunjukkan retakan tajam, mengindikasikan arah serat 90° kurang efektif dalam menahan beban lentur karena tidak searah dengan gaya pembebanan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang pengaruh fraksi volume dan arah serat terhadap ketangguhan impact dan kekuatan lentur komposit berbasis serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS), dapat disimpulkan bahwa kedua parameter tersebut memiliki pengaruh signifikan terhadap performa mekanik komposit. Pada pengujian impact, orientasi serat 45° menunjukkan ketangguhan impact tertinggi di semua tingkat fraksi volume, dengan nilai maksimum sebesar 28,1 kJ/m² pada fraksi 40%. Hal ini menunjukkan bahwa serat yang ditempatkan diagonal mampu mendistribusikan energi tumbukan secara merata dan meningkatkan ketahanan terhadap kerusakan. Sebaliknya, orientasi 0° dan 90° menunjukkan performa lebih rendah karena keterbatasan dalam menyebarkan energi secara efektif. Pada uji lentur, orientasi serat 0° menghasilkan kekuatan lentur tertinggi karena posisi serat sejajar dengan arah pembebanan, memungkinkan serat bekerja optimal dalam menahan gaya tarik dan tekan. Nilai kekuatan lentur tertinggi tercatat sebesar 102,5 MPa pada fraksi volume 40% dan orientasi 0°. Sebaliknya, orientasi serat 90° menunjukkan kekuatan lentur paling rendah karena beban dominan ditanggung oleh matriks yang lebih lemah.

Dengan demikian, fraksi volume 30% dan arah serat 0° direkomendasikan untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan lentur tinggi, sedangkan fraksi volume 40% dengan arah serat 45° lebih cocok untuk kebutuhan ketangguhan impact yang optimal. Penelitian ini membuktikan bahwa pengaturan kombinasi fraksi volume dan orientasi serat sangat penting dalam desain material komposit berbasis serat alam untuk memperoleh performa mekanik yang seimbang dan ramah lingkungan.

REFERENSI

- [1] W. A. Naiborhu, M. D. Putra, A. S. B. Siahaan, and D. M. Muhammad, "A Utilization Of Oil Palm Empty Fruit Bunch Biomass As An Alternative Fuel For Steam Power Plants," vol. 13, no. 01, pp. 97–104, 2024, doi: 10.58471/infokum.v13i01.
- [2] M. Rizal, R. A. Wicaksono, and Y. E. Prawatya, "Pembuatan Bumper Mobil Listrik Biokomposit Berpenguat Serat Acak Tandan Kosong Kelapa Sawit- Polyester Menggunakan Metode Vacuum Bagging," *J. Teknol. Rekayasa Tek. Mesin*, vol. 4, no. 1, pp. 38–43, 2023.
- [3] R. Boubaaya, M. Djendel, K. Sidhoum, S. Benaniba, O. Kessal, and T. Tayebi, "Evaluation of the mechanical properties of hybrid composites reinforced with plant fibers," *Stud. Eng. Exact Sci.*, vol. 5, no. 2, p. e7148, 2024, doi: 10.54021/seesv5n2-133.
- [4] A. N. Oyedeji, I. Iliyasu, J. B. Bello, K. A. Salami, M. N. Dibal, and D. S. Yawas, "Effect of Fibre Parameters on the Physical and Mechanical Properties of Epoxy-Based Reinforced Deleb Palm Fibre Composite; Using Taguchi Grey Relational Optimization," *J. Appl. Res. Ind. Eng.*, vol. 10, no. 3, pp. 350–363, 2023, doi: 10.22105/jarie.2022.349919.1487.
- [5] H. Mahmoudi, M. S. Bennouna, M. Khalfi, and M. Khelif, "Enhancing the mechanical properties and performance of bio- composites reinforced with palm fibers Melhorando as propriedades mecânicas e o desempenho de bio- compositos reforçados com fibras de palma Mejora de las propiedades mecánicas y el rendimiento de," pp. 1–24, 2024, doi: 10.54021/seesv5n2-612.
- [6] A. Syahrie and N. D. Anggraeni, "Analisa Kadar Air Pada Komposit Matrik Polypropylene High Impact (PPHI) Berpenguat Serat Nanas Fraksi Volume 20 %," vol. 20, pp. 1–11, 2021.
- [7] A. Mujianto and H. Tri Waloyo, "Studi Kelayakan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Penguat Komposit Untuk Aplikasi Lambung Kapal," *Manutech J. Teknol.*

- Manufaktur*, vol. 15, no. 01, pp. 74–81, 2023, doi: 10.33504/manutech.v15i01.270.
- [8] H. N. Dhakal, S. H. Khan, I. A. Alnaser, M. R. Karim, A. Saifullah, and Z. Zhang, *Potential of Date Palm Fibers (DPFs) as a Sustainable Reinforcement for Bio-Composites and its Property Enhancement for Key Applications: A Review*, vol. 2400081. 2024.
- [9] P. Rahmawaty, M. Si, D. Respati, S. Sumunar, and M. Si, “Pengaruh Fraksi Volume dan Varias Perendaman NaOh Terhadap Kekuatan Tarik dan Impak Komposit Berpenguat Serat Ampas Tebu,” vol. 2, no. January, pp. 978–979, 2022.
- [10] D. Safrizal, M. Herry, N. C. Rahmadhani, and S. Satriananda, “Pembuatan Kertas Komposit Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis*) Dan Limbah Kertas Hvs,” *J. Sains dan Teknol. Reaksi*, vol. 20, no. 01, 2022, doi: 10.30811/jstr.v20i01.3234.
- [11] F. Sakinah, M. J. Suriani, R. A. Ilyas, M. Petru, and S. M. Sapuan, “Flammability , Tensile , and Morphological Properties of Oil,” *Polymers (Basel)*., vol. 13, no. 1282, pp. 1–18, 2021.
- [12] M. R. Adlani and Z. Abadi, “Analisis Pengaruh Campuran Serbuk Kayu Meranti dan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Terhadap Uji Tarik dan Impak Komposit Program Studi Teknik Mesin , Universitas Negeri Padang,” vol. 9, pp. 2829–2837, 2025.
- [13] S. P. Yudha, R. R. Latief, and I. S. Azis, “Pengaruh Penggunaan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Penguat Terhadap Sifat Mekanik Komposit,” *Pros. Semin. Nas. Teknol. Ind. X 2023*, pp. 336–339, 2023.
- [14] S. Salah *et al.*, “Skripsi pembuatan papan komposit berbasis serat pelepah pinang (filler) dan bahan plastik matriks polypropylene (pp),” 2024.
- [15] John W. Creswell., *Educational Research: Planning, Conducting, and Evaluating Quantitative and Qualitative Research (3th ed.)*, vol. 66. 2012.
- [16] J. Julian, “Pengembangan Material Komposit Berpenguat Serat Alami Untuk Aplikasi Bumper Mobil,” *J. Al Ulum LPPM Univ. Al Washliyah Medan*, vol. 10, no. 2, pp. 92–98, 2022, doi: 10.47662/alulum.v10i2.239.
- [17] U. W. R. Siagian, I. G. Wenten, and K. Khoiruddin, “Circular Economy Approaches in the Palm Oil Industry: Enhancing Profitability through Waste Reduction and Product Diversification,” *J. Eng. Technol. Sci.*, vol. 56, no. 1, pp. 25–49, 2024, doi: 10.5614/j.eng.technol.sci.2024.56.1.3.