



Sifat Mekanik Komposit Serat Pelepah Kelapa Sawit sebagai Penguat Komposit Terhadap Kekuatan Tarik dan Impak

Satria Uji Perdana¹, Sri Hastuti², Ikhwan Taufik³

¹⁻³Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Universitas Tidar, Indonesia

Alamat : Jl. Kapten Suparman No.39, Potrobangsari, Kec. Magelang Utara, Kota Magelang, Jawa Tengah 56116

Email Korespondensi : satriaup66@gmail.com

Abstract Palm fronds are solid waste from oil palm plantations that contain a lot of natural fibers. One of the utilization efforts that can be done is to optimize palm frond fiber waste into composite materials. The use of natural fiber mixtures in composites has produced stronger materials, which can serve as alternative materials for car bumpers. This research was conducted with the aim of knowing the value of impact toughness, tensile strength, and the type of failure that occurs in the fracture cross section. In this study, composites were made using palm frond fibers and polyester resin. The volume fraction variation applied is 30% fiber and 70% matrix with fiber lengths of 20 mm, 40 mm, and 60 mm. Impact toughness testing refers to ASTM E23 standard and tensile strength testing refers to ASTM D638 standard. The impact toughness value obtained in the 20 mm variation was 0.0065 J/mm², 40 mm was 0.0108 J/mm², and the 60 mm variation had the highest value of 0.0164 J/mm². The tensile strength value obtained in the 20 mm variation is 6.18 MPa, the 40 mm variation is 8.26 MPa, and the 60 mm variation has the highest value of 16.45 MPa. Analysis of the fracture cross section is categorized as a splitting fracture in multiple areas and the fracture cross section also shows the occurrence of fiber pull out after the fracture.

Keywords: Palm frond fiber, composite, car bumper, impact test, tensile test

Abstrak Pelepah kelapa sawit merupakan limbah padat dari perkebunan kelapa sawit yang banyak mengandung serat alam, upaya pemanfaatan yang dapat dilakukan salah satunya mengoptimalkan limbah serat pelepah kelapa sawit menjadi bahan pembuatan komposit. Pemanfaatan campuran serat alami dalam komposit telah menghasilkan material yang lebih kuat, yang dapat berfungsi sebagai alternatif bahan untuk bumper mobil. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui nilai ketangguhan impak, kekuatan tarik, serta tipe kegagalan yang terjadi pada penampang patahan. Dalam penelitian ini, komposit dibuat dengan menggunakan serat pelepah kelapa sawit, dan resin polyester. Variasi fraksi volume yang diterapkan yaitu serat 30% dan matriks 70% dengan panjang serat 20 mm, 40 mm, dan 60 mm. Pengujian ketangguhan impak mengacu pada standar ASTM E23 dan pengujian kekuatan tarik mengacu pada standar ASTM D638. Nilai ketangguhan impak diperoleh pada variasi 20 mm sebesar 0,0065 J/mm², 40 mm sebesar 0,0108 J/mm², dan variasi 60 mm memiliki nilai tertinggi sebesar 0,0164 J/mm². Nilai kekuatan Tarik di peroleh pada variasi 20 mm sebesar 6,18 MPa, variasi 40 mm sebesar 8,26 MPa, dan variasi 60 mm memiliki nilai tertinggi sebesar 16,45 MPa. Analisis penampang patahan dikategorikan sebagai patahan splitting in multiple area dan penampang patahan juga menunjukkan terjadinya fiber pull out setelah terjadinya patahan.

Kata kunci: Serat pelepah sawit, komposit, bumper mobil, uji impak, uji tarik.

1. LATAR BELAKANG

Pada saat ini, dunia teknologi semakin berkembang pesat. Manusia telah melakukan bermacam-macam inovasi di dalam penggunaan teknik material komposit untuk mendapatkan material yang memiliki kualitas yang lebih baik dari material yang sebelumnya. Material komposit adalah material yang terbuat dari dua atau lebih material penyusun yang mempunyai sifat fisik dan/atau kimia yang berbeda, yang jika digabungkan akan menghasilkan suatu material dengan karakteristik yang berbeda dari masing-masing komponennya.

Komposit adalah struktur yang dibuat dari bahan yang berbeda-beda, ciri-cirinya pun tetap terbawa setelah komponen terbentuk sepenuhnya. Material komposit, di sisi lain menunjukkan kemungkinan tidak terbatas untuk memenuhi banyak kebutuhan industri yang muncul, dalam hal sifat mekanik, listrik, magnetik, optik, dan termal yang ekstrem, yang tidak dapat dipenuhi oleh material monolitik. Keuntungan utama dari material komposit adalah kekuatan, ketangguhan, kekakuan, dan ketahanan terhadap mulur yang tinggi sehingga menghasilkan lebih sedikit korosi, keausan, dan kelelahan dibandingkan dengan material konvensional. Di bidang otomotif, khususnya pelindung kendaraan (bumper), penggunaan komposit yang diperkuat serat alam semakin meningkat karena material ini lebih ramah lingkungan dan lebih terjangkau dibandingkan dengan logam seperti FeCr.

Kombinasi serat alami dalam matriks polimer menarik perhatian karena serat alami lebih ramah lingkungan, murah, melimpah, biodegradable, dan memiliki kekuatan spesifik tinggi, menjadikannya alternatif yang menarik untuk pengembangan komposit. Penggunaan serat alam sebagai bahan baku komposit seringkali memanfaatkan limbah perkebunan seperti ijuk, serat nanas, dan kelapa, yang tersedia melimpah di alam.

Limbah perkebunan kelapa sawit, seperti pelepah yang dihasilkan dari fase pra-panen hingga fase panen, seringkali dibiarkan membusuk tanpa pengolahan yang tepat. Pohon kelapa sawit menghasilkan banyak pelepah yang jika tidak diolah dapat menjadi masalah lingkungan karena jumlahnya yang besar dan memakan tempat. Berbagai studi menunjukkan bahwa limbah kelapa sawit memiliki kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang potensial untuk pengembangan serat alam dalam pembuatan komposit.

2. KAJIAN TEORITIS

Penelitian yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan impact komposit dengan penguat serat pandan wangi serta pengisi serbuk gergaji kayu, penelitian ini menggunakan metode *hand lay up* dengan variasi panjang serat antara 15 mm hingga 100 mm, serta penggunaan larutan NaOH 4%. Hasil penelitian menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan dengan bertambahnya fraksi volume serat dan panjang serat.

Penelitian terkait komposit berbasis serat pelepah kelapa sawit dengan matriks *polypropylene* untuk pembuatan bumper mobil menggunakan metode *hot press*. Papan komposit dibuat menggunakan tiga variasi fraksi volume yaitu 20% serat: 80% matriks, 30% serat: 70% matriks dan 40% serat: 60% matriks, besar diperoleh pada fraksi volume 40% serat:

60% matriks dengan nilai 21,106 MPa, diikuti penurunan kekuatan tarik pada fraksi volume 30% serat: 70% matriks dan 20% serat: 80% matriks. Meningkatnya kuantan tarik dikarenakan orientasi serat searah dan penambahan komposisi serat, komposit masih layak dibuat bumper karena nilai kekuatan tariknya tidak kurang dari standar bumper yaitu 8,09 Mpa.

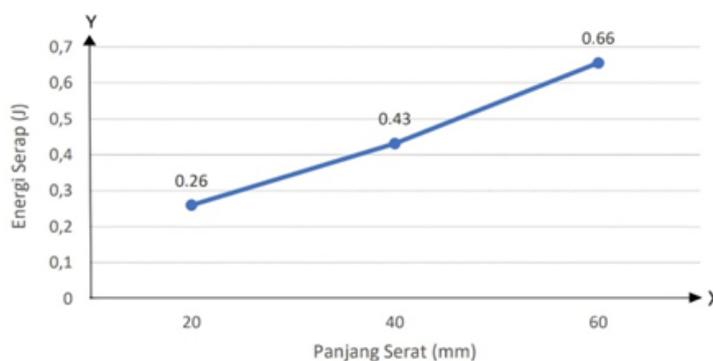
3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen langsung dengan tujuan mendapatkan data hasil percobaan. Matriks yang digunakan adalah resin polyester dengan katalis MEKP dan serat pelepah kelapa sawit yang telah mengalami perlakuan alkalisasi menggunakan larutan 5% NaOH. Proses pembuatan komposit dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Tidar dengan variasi panjang serat 20 mm, 40 mm, dan 60 mm, serta fraksi volume serat dan matriks masing-masing 30% dan 70%. Cetakan besi yang digunakan diolesi pelumas dan komposit dibuat dengan metode Hand Lay-Up. Langkah-langkah meliputi penentuan fraksi volume, pencampuran resin, penuangan ke cetakan, proses press selama 24 jam, dan pembukaan cetakan. Pengujian dilakukan di Laboratorium Manufaktur Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sanata Dharma dengan standar ASTM E23 untuk uji impak dan ASTM D638 untuk uji tarik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Uji Impak

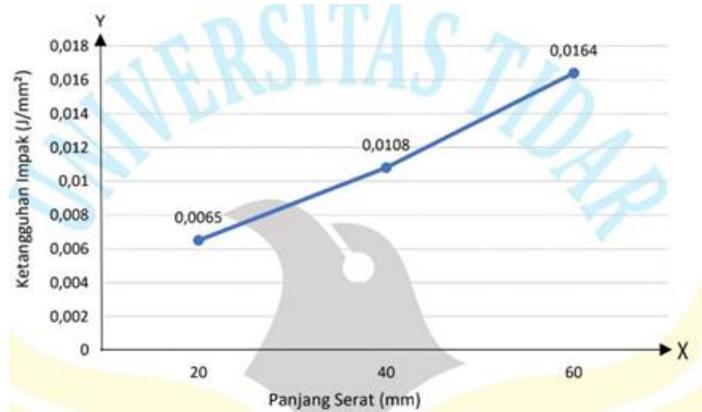
Rata-rata energi serap dan ketangguhan impak disajikan dalam grafik untuk mengetahui pengaruh varian panjang serat dan fraksi volume ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Grafik nilai energi serap

Berdasarkan Gambar 1 dapat diketahui bahwa komposit dengan variasi panjang serat 20 mm, 30% serat, dan 70% matriks memiliki energi serap paling rendah, sebesar 0,26 J. Variasi

panjang serat 60 mm, 30% serat, dan 70% matriks memiliki energi serap paling besar, sebesar 0,66 J. Pada Gambar 2 menyajikan grafik nilai ketangguhan impak.

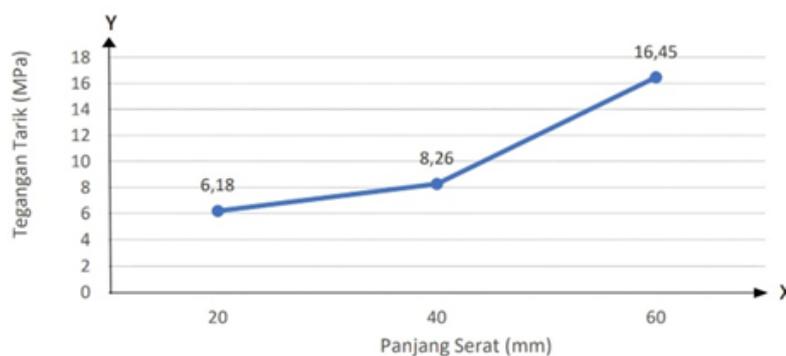


Gambar 2. Grafik nilai ketangguhan impak

Dapat diketahui bahwa komposit dengan variasi panjang serat 20 mm, 30% serat, dan 70% matriks memiliki ketangguhan impak paling kecil, sebesar 0,0065 J/mm². Variasi panjang serat 60 mm, 30% serat, dan 70% matriks memiliki ketangguhan impak paling besar, sebesar 0,0164 J/mm². Hasil pengujian ketangguhan impak diketahui bahwa komposit dengan variasi panjang serat 60 mm dapat digunakan sebagai pembuatan material alternatif bumper mobil, dimana hasil harga impaknya sebesar 0,0164 J/mm² lebih dari pengujian minimum standar ketangguhan bahan bumper mobil yang mengacu pada standar AIS E 102, Regulation 42 (ECE R.42) mechanical testing sebesar 0,01348 J/mm². Adanya peningkatan kekuatan impak dengan bertambahnya panjang serat dalam material komposit dikarenakan beban yang diteruskan dari matrik (poliester) mampu ditahan oleh serat dengan bertambahnya panjang serat dalam komposit. Hal lain yang berpengaruh terhadap peningkatan ketangguhan impak komposit yakni adanya ikatan yang baik antara matrik (poliester) dan serat dalam material komposit.

2. Uji Tarik

Hasil pengolahan data pengujian tarik untuk nilai rata-rata tegangan tarik pada setiap spesimen dapat dilihat dalam grafik pada Gambar 3.



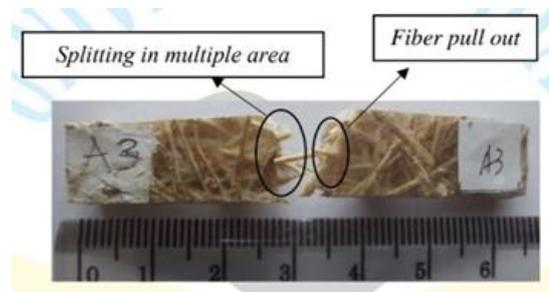
Gambar 3

Gambar 3 menunjukkan nilai tegangan tarik komposit variasi 60 mm memiliki rata-rata tegangan tarik tertinggi sebesar 16,45 MPa. Sedangkan nilai rata-rata tegangan tarik terendah pada komposit variasi 20 mm, sebesar 6,18 MPa. Perbandingan tegangan tarik komposit terhadap standar SAE J 1717 bahwa kekuatan tarik standar bumper adalah sebesar 8,09 MPa yang mengacu pada standar Society of Automotive Engineering (SAE) J 1717. Pengujian tarik pada penelitian ini diperoleh nilai kekuatan tarik yang memenuhi standar SAE J 1717 dengan panjang serat komposit variasi 40 mm sebesar 8,26 MPa dan variasi 60 mm sebesar 16,45 MPa. Untuk variasi 20 mm sebesar 6,18 MPa belum memenuhi standar bumper. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin panjang serat pada komposit dapat meningkatkan nilai tegangan tariknya. Hal ini disebabkan semakin panjang serat didalam matriks, maka permukaan serat yang menanggung beban yang diberikan oleh matriks menjadi besar, dan begitu juga sebaliknya.

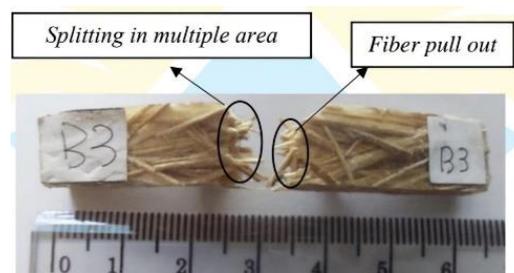
3. Foto Pengamatan Patahan

a). Foto Penampang Patahan Hasil Uji Impak

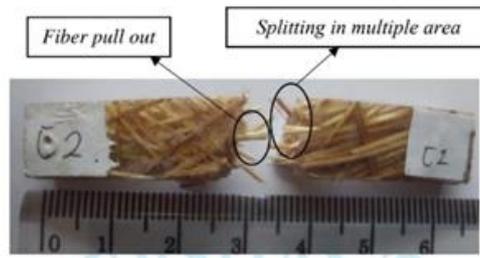
Foto penampang patahan pengujian komposit setelah dilakukan pengujian impact dapat dilihat pada Gambar 4, 5, dan 6.



Gambar 4. Variasi panjang serat 20 mm



Gambar 5. Variasi panjang serat 40 mm

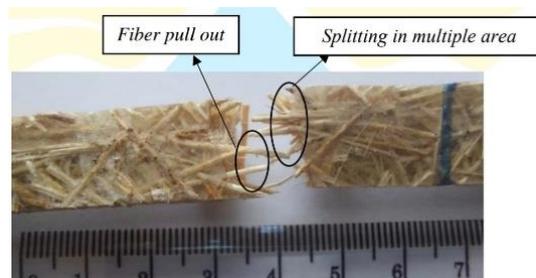


Gambar 6. Variasi panjang serat 60 mm

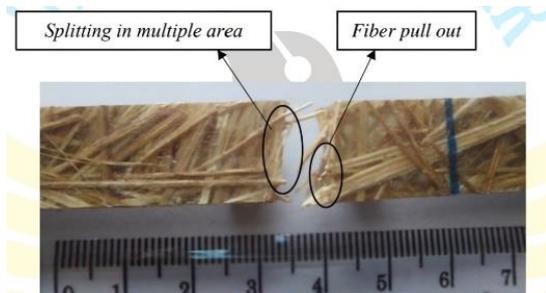
Penampang patahan pada uji impak komposit, seperti yang terlihat pada gambar di atas, menunjukkan bahwa setiap variasi menunjukkan keberadaan *fiber pull out*, yang dapat disebut sebagai patahan ulet. Hal ini dinyatakan dengan banyaknya *fiber pull out* yang terlihat. Keberadaan *fiber pull out* mengidentifikasi bahwa beban terdistribusi hingga ke serat, yang menyebabkan serat tertarik keluar. Patahan *fiber pull out* ini meningkatkan ketangguhan komposit dalam menyerap beban.

b). Foto Penampang Patahan Hasil Uji Tarik

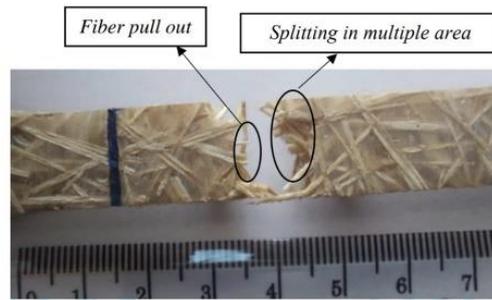
Foto penampang patahan pengujian komposit setelah dilakukan pengujian tarik dapat dilihat pada gambar 7, 8, dan 9.



Gambar 7. Variasi panjang serat 20 mm



Gambar 8. Variasi panjang serat 40 mm



Gambar 9. Variasi panjang serat 60 mm

Penampang patahan yang muncul dari uji tarik pada setiap variasi menunjukkan adanya patahan *Splitting in multiple area*. Terjadinya patahan *Splitting in multiple area* mengidentifikasi bahwa beban terdistribusi hingga ke serat, menyebabkan serat tertarik keluar. Proses patahan tidak terjadi secara serentak, patahan ini menyebabkan adanya *fiber pull out* ini juga menandakan bahwa sifat ulet serat komposit semakin meningkat, dan beban terdistribusi hingga ke serat, sehingga komposit menjadi lebih tangguh dalam menyerap beban. *Fiber pull out* pada spesimen terjadi karena matriks tidak mampu menahan beban dengan baik, sehingga serat terlepas kemudian patah akibat gaya searah yang diterimanya.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan beberapa pengujian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan:

Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit dengan fraksi volume serat 30% dan resin 70% menunjukkan performa terbaik pada variasi panjang serat 60 mm, dengan nilai ketangguhan impak rata-rata $0,0164 \text{ J/mm}^2$, melebihi standar ketangguhan bahan bumper AIS E 102 ($0,01348 \text{ J/mm}^2$). Sebaliknya, panjang serat 20 mm dan 40 mm masing-masing memiliki nilai ketangguhan yang lebih rendah ($0,0065 \text{ J/mm}^2$ dan $0,0108 \text{ J/mm}^2$) dan tidak memenuhi standar. Dalam hal tegangan tarik, panjang serat 60 mm juga menunjukkan nilai optimal sebesar 16,45 MPa, serta panjang serat 40 mm mencapai 8,26 MPa, keduanya memenuhi standar kekuatan tarik bumper SAE J 1717 (8,09 MPa). Namun, panjang serat 20 mm menghasilkan tegangan tarik terendah sebesar 6,18 MPa dan tidak memenuhi standar. Pengamatan penampang patahan dari uji impak dan tarik menunjukkan karakteristik patahan yang dominan berupa patahan ulet, ditandai dengan fenomena *fiber pull out* akibat distribusi beban yang merata.

DAFTAR REFERENSI

- Ambarita, Y. P., M, I. P. H., & Maulina, S. (2015). Pembuatan asam oksalat dari pelepah kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) melalui reaksi oksidasi asam nitrat. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(4), 46–50.
- Diniardi, E., Mahmud, K. H., Basri, H., & Ramadhan, A. I. (2019). Analysis of the tensile strength of composite material from fiber bags. *Journal of Applied Science and Advanced Technology*, 2(1), 1-10.
- Egbo, M. K. (2021). A fundamental review on composite materials and some of their applications in biomedical engineering. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 33(8), 557–568. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2021.04.003>
- Faizal, M., & Pramono, C. (2023). Pengaruh orientasi serat ampas tebu pada bahan komposit dengan matrik epoxy terhadap kekuatan tarik dan ketangguhan impak. *SEMASTER: Seminar Nasional Riset*, 1–9.
- Gibson, R. F. (2007). *Principles of composite material mechanics* (3rd ed.). CRC Press.
- Hanifi, R., Dewangga, G., Kasiadi, K., & Widiyanto, E. (2019). Analisis material komposit berbasis serat pelepah kelapa sawit dan matriks polypropylene sebagai bahan pembuatan bumper mobil. *Gorontalo Journal of Infrastructure and Science Engineering*, 2(2), 15–20.
- Hasan, M., Zhao, J., & Jiang, Z. (2019). Micromanufacturing of composite materials: A review. *International Journal of Extreme Manufacturing*, 1(1), 1–10. <https://doi.org/10.1088/2631-7990/ab03d5>
- Hutagalung, C. O., & Maulida. (2014). Karakteristik Fourier Transform Infra Red dan kekuatan bentur komposit poliester tak jenuh berpengisi abu sekam padi putih. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 3(1), 23–26.
- Indrayani, N. L. (n.d.). Studi pengaruh variasi temperatur hot press terhadap sifat ketangguhan komposit polypropylene berpenguat serat pelepah sawit. In *Proceedings of the Seminar Nasional Teknologi Terapan* (pp. 128–133).