

Komposit Berbasis Serat Tangkos Kelapa Sawit: Kajian Fisik dan Mekanis

Sandi Y.B Zaqy^{1*}, Satrio Darma Utama², Wibi Pramanda¹

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat, Politeknik Jambi
Jl. Lingkar Barat III, Lrg Veteran, Rt.04, Kel Bagan Pete, Kec Alam Barajo, Kota Jambi

²Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Jambi
Jl. Lingkar Barat III, Lrg Veteran, Rt.04, Kel Bagan Pete, Kec Alam Barajo, Kota Jambi

*Corresponding author: sandi@politeknikjambi.ac.id

Abstract

This study explores the utilization of oil palm empty fruit bunch waste as an eco-friendly reinforcement for composite materials, aiming to provide a sustainable alternative to conventional materials. The fabrication process employed PLA molds produced through 3D printing, resin as the matrix, and oil palm empty fruit bunch waste fibers as reinforcement. Mechanical properties were evaluated following ASTM standards: tensile testing (ASTM D3039) with specimen dimensions of 250 × 25 × 2.5 mm, compressive testing (ASTM D695) with dimensions of 7.94 × 1.90 × 3.3 mm, and Vickers microhardness testing (ASTM E384) using an indenter averaging 80.67–97.46 μm. The results revealed an average maximum tensile strength of 8.18 MPa, a compressive strength of 3.95 MPa, and Vickers hardness values ranging from 19.53 to 29.04, with an average of 25.73 VHN. These findings highlight the potential of oil palm empty fruit bunch waste-based composites as sustainable materials that support waste reduction and circular economy principles. Nevertheless, further optimization of fiber fraction and surface treatment is essential to enhance mechanical performance. This research not only contributes to scientific knowledge but also opens opportunities for innovative, eco-conscious material applications in engineering, particularly for lightweight structural components requiring adequate strength and durability.

Keywords: Empty Fruit Bunch Fiber; Oil palm; Composite; tensile test; compression test; hardness

Abstrak

Penelitian ini bertujuan memanfaatkan limbah tandan kosong kelapa sawit sebagai penguat komposit ramah lingkungan untuk menggantikan material konvensional yang berdampak negatif terhadap lingkungan. Proses fabrikasi dilakukan menggunakan cetakan berbahan PLA yang dicetak dengan teknologi 3D printing, resin sebagai matriks, dan serat tangkos kelapa sawit sebagai penguat. Pengujian sifat mekanis dilakukan sesuai standar ASTM, meliputi uji tarik (ASTM D3039) dengan dimensi spesimen 250 × 25 × 2,5 mm, uji tekan (ASTM D695) dengan dimensi 7,94 × 1,90 × 3,3 mm, serta uji kekerasan mikro Vickers (ASTM E384) menggunakan indenter berukuran rata-rata 80,67–97,46 μm. Hasil pengujian menunjukkan tegangan tarik maksimum rata-rata 8,18 MPa, tegangan tekan maksimum 3,95 MPa, dan nilai kekerasan Vickers berkisar antara 19,53–29,04, dengan rata-rata 25,73 VHN. Temuan ini menegaskan potensi komposit berbasis serat tangko kelapa sawit sebagai material alternatif yang mendukung pengurangan limbah industri sawit dan prinsip keberlanjutan. Namun, optimasi fraksi serat dan perlakuan permukaan masih diperlukan untuk meningkatkan performa mekanis. Penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi ilmiah, tetapi juga membuka peluang inovasi material berkelanjutan untuk aplikasi teknik, khususnya pada komponen struktural ringan yang membutuhkan kekuatan memadai dan sifat ramah lingkungan.

Kata kunci: Serat Tangkos; Kelapa Sawit; komposit; uji tarik; uji tekan; kekerasan

1. Pendahuluan

Di era keberlanjutan, dunia industri dan akademik semakin menuntut material yang tidak hanya kuat dan ringan, tetapi juga ramah lingkungan. Serat alam hadir sebagai jawaban atas tantangan ini. Salah satu yang paling menjanjikan adalah serat tandan kosong (tangkos) kelapa sawit, limbah padat

dari industri kelapa sawit yang jumlahnya melimpah di Indonesia. Jika dibiarkan, limbah ini berpotensi mencemari lingkungan. Namun, dengan pendekatan yang tepat, serat tangkos kelapa sawit dapat diubah menjadi bahan penguat komposit bernilai tinggi—sebuah solusi yang mendukung ekonomi sirkular dan pengurangan limbah industri [3][7][10].

Keunggulan serat alam bukan hanya pada ketersediaannya, tetapi juga pada sifat mekanisnya yang dapat ditingkatkan melalui rekayasa. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa optimasi fraksi serat, orientasi, dan perlakuan permukaan mampu memperkuat ikatan antarmuka antara serat dan matriks polimer [1][4][6]. Studi pada serat luffa dan sabut kelapa dalam matriks epoksi membuktikan bahwa pengaturan komposisi dapat meningkatkan kekuatan tarik dan modulus elastisitas [1]. Penelitian lain pada serat jute dan polyurethane menegaskan pengaruh orientasi serat terhadap performa mekanis [2][5][9]. Bahkan, kajian terhadap serat eceng gondok dan pisang memperlihatkan bahwa modifikasi kimia dan teknik fabrikasi berperan penting dalam meningkatkan daya tahan komposit [4][8].

Perlakuan kimia seperti alkalisasi (NaOH) menjadi salah satu metode yang efektif untuk meningkatkan kualitas serat. Proses ini menghilangkan lignin dan hemiselulosa, sehingga permukaan serat lebih bersih dan mampu berikatan lebih baik dengan matriks polimer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan alkali dapat meningkatkan kekuatan tarik serat sawit hingga 28,8% dan modulus elastisitas lebih dari 50% [14][15][16]. Temuan ini membuka peluang besar untuk memanfaatkan serat tangkos kelapa sawit sebagai penguat komposit yang tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga memiliki performa mekanis yang kompetitif.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan komposit berbasis serat tngkos kelapa sawit melalui pendekatan eksperimental yang terstruktur, dengan fokus pada karakterisasi sifat mekanis (tarik, tekan, dan kekerasan) sesuai standar ASTM [11][12][13]. Hasil penelitian diharapkan memberikan gambaran nyata tentang potensi serat TKKS sebagai material alternatif yang ringan, kuat, dan mendukung pengurangan limbah industri sawit. Lebih jauh, penelitian ini diharapkan menjadi dasar untuk optimasi komposisi dan

perlakuan serat pada tahap pengembangan berikutnya.

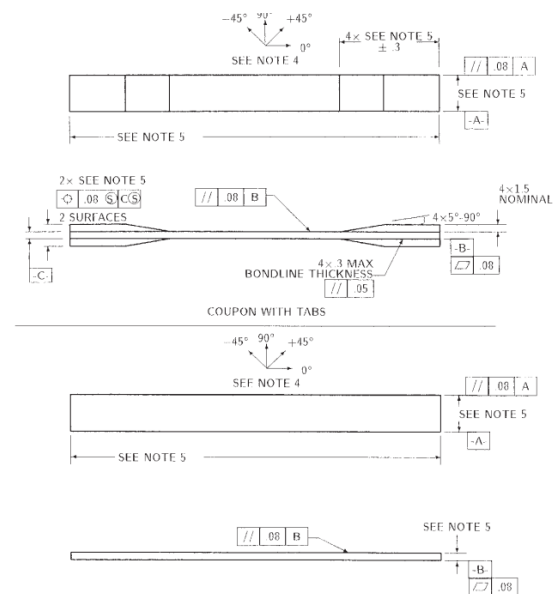
2. Metode Penelitian

Serat Tangkos Kelapa Sawit yang telah dipilah dan disaring dari Limbah Tangkos Kelapa Sawit dibuat matriks dengan mengisi resin.

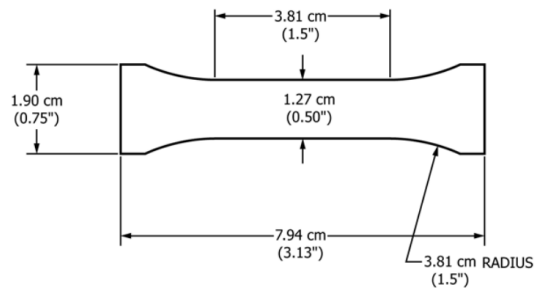


Gambar 1. Bahan dan Alat yang digunakan

Fabrikasi dilakukan melalui *hand lay-up* sesuai tahapan, dimana cetakan dibuat menggunakan printer 3D dengan material dasar adalah PLA (*Polylactic Acid*). Setelah cetakan dibuat, keudian pelapisan karet lembaran digunakan agar komposit mudah untuk dilepaskan dari cetakan. Profil cetakan digunakan sesuai dengan standar spesimen uji yang disiapkan untuk pengujian tarik, ASTM D3039 [12], tekan ASTM D695 [13], dan kekerasan mikro Vickers ASTM E384 [11].



Gambar 2. Profil Sepsimen untuk uji Tarik berdasarkan ASTM D3039 [12]



Gambar 3. Profil Spesimen untuk uji Tekan berdasarkan ASTM D695 [13]



Gambar 4. Cetakan Komposit dan Spesimen hasil Cetakan untuk Pengujian Tarik, Tekan dan Pengujian Kekerasan

Pengujian Kekuatan Tarik dan Tekan dilakukan dengan menggunakan mesin Uji Tarik/Tekan dengan periode waktu tertentu.



Gambar 5. Mesin Uji Tarik/Tekan (kiri) dan Proses Uji Tarik/Tekan (kanan)

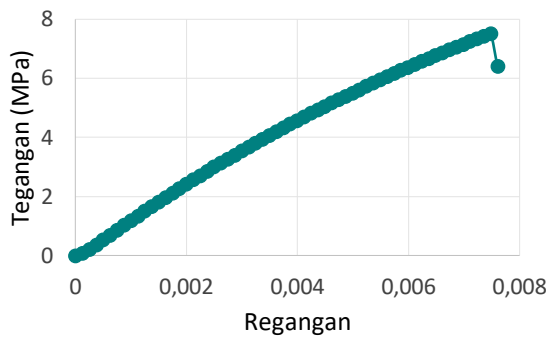
Pengukuran kekerasan menggunakan pengujian Vickers dengan beban 100 gf yang ditahan selama waktu tertentu. Uji tarik/tekan dilakukan menggunakan *universal testing machine*; data beban direkap oleh laboratorium pengujian.



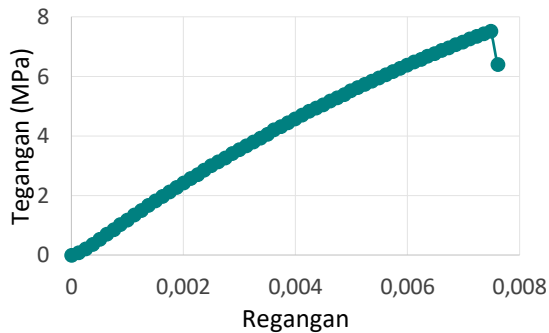
Gambar 6. Mesin Uji Kekerasan (kiri) dan Proses Uji Kekerasan (kanan atas dan kanan kiri)

3. Hasil dan Pembahasan

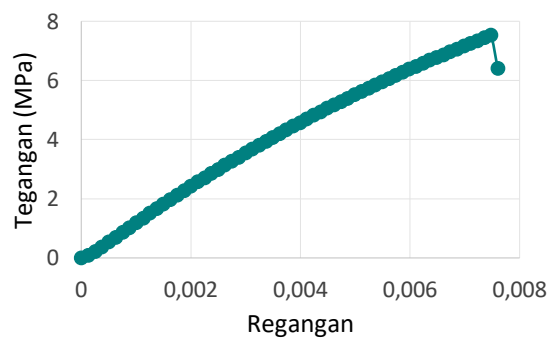
Pengujian Tarik dilakukan berdasarkan ASTM D3039 dengan dimensi spesimen uji adalah 250 x 25 x 2.5 mm. komposisi serat berbanding dengan resin adalah 50% : 50% dengan fraksi arah serat acak (*random*). Dari 3 buah spesimen yang diuji, didapatkan grafik tegangan – regangan sebagai berikut:



Gambar 7. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 1



Gambar 8. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 2



Gambar 9. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 3

Ringkasan hasil uji tarik (n=3):

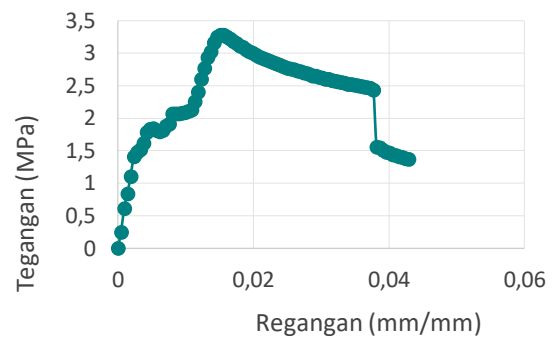
Tabel 1. Hasil Pengujian Tarik

Spesimen	Tegangan Maks (MPa)	Beban Maks (N)	Modulus (MPa)
1	7.5297	351.33	82.113
2	7.1261	332.50	60.869
3	9.8716	460.61	38.899

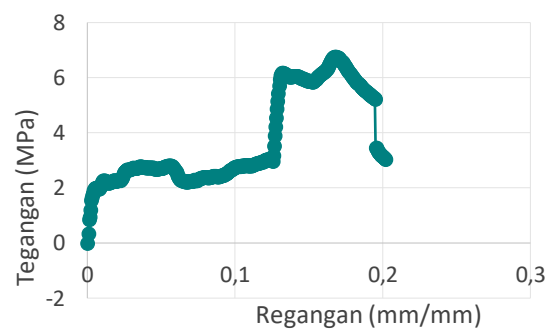
Rata-rata tegangan tarik maksimumnya adalah 8.18 MPa; rata-rata beban maksimumnya adalah 381.48 N dan rata-rata modulusnya adalah 60.63 MPa.

Pengujian Tekan dilakukan berdasarkan ASTM D695 dengan dimensi spesimen uji adalah $7,94 \times 1,90 \times 3,3$ mm. komposisi serat berbanding dengan resin adalah 50% : 50% dengan fraksi arah serat

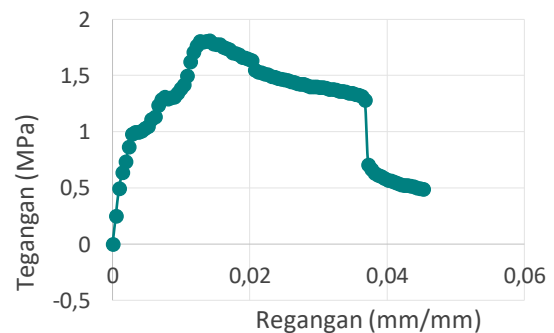
acak (*random*). Dari 3 buah spesimen yang diuji, didapatkan grafik tegangan – regangan sebagai berikut:



Gambar 10. Hasil Pengujian Tekan Spesimen 1



Gambar 11. Hasil Pengujian Tekan Spesimen 2



Gambar 12. Hasil Pengujian Tekan Spesimen 3

Ringkasan hasil uji tekan (n=3)

Tabel 2. Hasil Pengujian Tekan

Spesimen	Tegangan Maks (MPa)	Beban Maks (N)	Modulus (MPa)
1	3.2862	144.380	552.98
2	6.7487	296.500	480.22
3	1.8094	79.493	257.47

Rata-rata tegangan tekan maksimumnya adalah 3.95 MPa, rata-rata beban maksimumnya adalah 173.46 N dan rata-rata modulus tekannya adalah 430.22 MPa.

Pengujian Kekerasan dilakukan berdasarkan ASTM E384 dengan dimensi indenter berukuran diameter rata-rata 80,67–97,46 μm dan beban penekanan sebesar 100 gram *force*. Komposisi serat berbanding dengan resin adalah 50% : 50% dengan fraksi arah serat acak (*random*). Hasil uji kekerasan mikro Vickers (n=9)

Tabel 3. Hasil Pengujian Kekerasan

No	d1 (μm)	d2 (μm)	d $\bar{}$ (μm)	VHN
1	90.68	95.24	92.96	21.46
2	90.36	80.84	85.60	25.31
3	80.13	79.70	79.92	29.04
4	80.66	80.67	80.67	28.50
5	81.14	83.14	82.14	27.48
6	97.31	97.60	97.46	19.53
7	81.28	83.22	82.25	27.41
8	82.09	81.67	81.88	27.66
9	85.47	86.17	85.82	25.18

Rata-rata nilai kekerasan adalah 25.73 VHN

4. Kesimpulan

Besarnya nilai tegangan tarik dan tegangan tekan untuk komposit serat tandan kosong kelapa sawit berada pada rentang 3.95 – 8.18 MPa dengan nilai kekerasan berada pada rata-rata 25.73 VHN.

Ucapan terimakasih

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Tahun Anggaran 2025 atas dukungan dana yang diberikan untuk penelitian ini.

Referensi

[1] "Mechanical Properties of Luffa Cylindrica and Coconut Coir Reinforced Epoxy Hybrid Composite," International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology, vol. 9, nr XI, pp. 54 - 65, 2021.

- [2] S. Shinde och A. V. Salve, "Experimental Evaluation of Tensile Strength and Young's Modulus of Woven Jute fiber and Polyurethane Composite," International Journal of Engineering Research, vol. 4, nr 8, pp. 446 - 449, 2015.
- [3] S. Nikmatin, I. I. B. Hermawan, T. Kardiansyah, F. T. Seti, I. N. Afiah och R. Umam, "Oil Palm Empty Fruit Bunches as Raw Material of Dissolving Pulp for Viscose Rayon Fiber in Making Textile Products," Polymers, vol. 3208, nr 14, pp. 1-18, 2022.
- [4] S. Raghavendra, Lingaraju, P. B. Shetty och P. Mukunda, "Mechanical Properties of Short Banana Fiber Reinforced Natural Rubber Composites," International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, vol. 2, nr 5, pp. 1652 - 1655, 2013.
- [5] S. K. Degala och K. Urmilla, "Physical and Mechanical Characteristics of the Jute Fibre Reinforced Polymer Composites," International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology, vol. 2, nr 6, pp. 298 - 301, 2016.
- [6] S. K. K. M och J. S., "Comparison of Mechanical Properties of Natural Fiber Reinforced Polymer Composites," International Journal of Scientific Research and Reviews, vol. 8, nr 4, pp. 194 - 203, 2019.
- [7] D. E. N. Siagian och M. H. S. Putra, "SERAT ALAM SEBAGAI BAHAN KOMPOSIT RAMAH LINGKUNGAN," CIVeng, vol. 5, nr 1, pp. 55 - 60, 2024.
- [8] A. Musliman och F. Damayanti, "ANALISIS MEKANIK DAN

- TERMAL MATERIAL KOMPOSIT BERBASIS SERAT ECENG GONDOK SEBAGAI BAHAN KEMASAN RAMAH LINGKUNGAN,” *JoP*, vol. 9, nr 1, pp. 98 - 103, 2023.
- [9] M. Farzana, K. M. Maraz, S. N. Sonali, M. M. Hossain, M. Z. Alom och R. A. Khan, ”Properties and application of jute fiber reinforced polymer-based composites,” *GSC Advanced Research and Reviews*, vol. 11, nr 1, p. 084–094, 2022.
- [10] A. Gholampour och T. Ozbakkaloglu, ”A review of natural fiber composites: properties, modification and processing techniques, characterization, application,” *J Mater Sci*, 2019.
- [11] ASTM E384-22, Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials.
- [12] ASTM D3039, Standard Test for Tensile Properties of Polymer
- [13] ASTM D695, Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics.
- [14] Jiang, Y., et al. (2019). Tensile Properties and Structure Characterization of Palm Fibers by Alkali Treatment. *Journal of Natural Fibers*, 16(5), 1–12.
- [15] [15] Makri, A., et al. (2024). Investigation on the Mechanical Behavior of Date Palm Fibers Reinforced Composites. *Materials Today: Proceedings*, 72, 1–8.
- [16] Debabeche, M., et al. (2023). Effect of Fiber Surface Treatment on Palm Petiole Fiber/LLDPE Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 42(3), 145–158.
- [17] Awad, A., et al. (2020). Alkali-treated Oil Palm Fiber / Pineapple Fiber Hybrid Composites. *Journal of Natural Fibers*, 17(6), 1–14.