

Fabrikasi Biokomposit Papan Serat Pelepah Sawit untuk Bahan Insulasi Termal

Intan Kusmawati, Debi Yana, Ropiqotul Husna, Nurul Aisyah,
Romi Fadli Syahputra*, Delovita Ginting

¹⁾ Progam Studi Fisika, FMIPA dan Kesehatan, Universitas Muhammadiyah Riau

Email korespondensi : romifadli@umri.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.20527/flux.v21i2.17003>

Submitted: 09th September 2024; Accepted: 29th May 2024

ABSTRAK- Pemanfaatan biomassa pelepah sawit untuk produksi bahan komposit akan berdampak positif dalam pengelolaan limbah perkebunan sawit. Produk biokomposit serat pelepah sawit telah terbukti memiliki sifat mekanis yang baik. Namun, eksplorasi sifat fisis lainnya, terutama sifat insulasi termal, belum banyak ditelaah. Sebagai bahan non-konduktor, serat pelepah sawit berpotensi memiliki sifat insulasi termal yang baik. Tujuan dari studi ini adalah untuk memfabrikasi papan serat biokomposit pelepah sawit yang potensial sebagai material biokomposit termal. Papan serat difabrikasi melalui penggunaan metode hand lay up yang diikuti cold-compaction oleh mesin press. Karakteristik papan serat yang ditinjau adalah sifat fisis, mekanis, dan termal. Bahan utama pembuatan papan serat sebagian besar terdiri dari serat pelepah sawit dan resin epoksi dengan lima variasi sampel, PSP-1 (84% serat:16% resin), PSP-2 (83% serat:17% resin), PSP-3 (82% serat:18% resin), PSP-4 (81% serat:19% resin), dan PSP-5 (80% serat:20% resin). Temuan eksperimental dari pengujian sifat fisis mengungkapkan bahwa densitas papan serat bervariasi antara 0,28 g/cm³ dan 0,55 g/cm³, sementara penyerapan air berkisar dari 107,25% hingga 194,00%. Sifat daya serap air yang sangat fluktuatif dengan standar deviasi cukup tinggi 28,15-80,35%. Daya serap air papan serat cenderung rendah ketika densitasnya tinggi. Selanjutnya, pengujian mekanis mendapati flexural strength atau kuat lentur papan serat berkisar 1,10-5,42 MPa. Kapasitas panas spesifik dari papan serat berkisar 2,1-3,5 J/g °C dan konduktivitas termal 0,001-0,0020 W/mK.

KATA KUNCI: Insulasi termal, Pelepah sawit, Sifat fisis, Sifat mekanis, Sifat termal.

ABSTRACT- Utilizing palm frond biomass for the production of composite materials will have a positive impact in managing palm oil plantation waste. Palm frond fiber biocomposite products have been proven to have good mechanical properties. However, exploration of other physical properties, especially thermal insulation properties, has not been widely studied. As a non-conducting material, palm frond fiber has the potential to have good thermal insulation properties. The aim of this study is to fabricate palm frond biocomposite fiberboard which has potential as a thermal biocomposite material. Fiberboard is made by the manual hand lay-up technique, which is subsequently followed by cold compaction using a press machine. The characteristics under consideration for the fiberboard in concern encompass its physical, mechanical, and thermal properties. The main ingredients utilized in the fabrication of fiberboard predominantly comprise palm frond fiber and epoxy resin, with five distinct sample variants denoted as PSP-1 (84% fiber:16% resin), PSP-2 (83% fiber:17% resin), PSP-3 (82% fiber:18% resin), PSP-4 (81% fiber:19% resin), and PSP-5 (80% fiber:20% resin). The experimental results obtained from the testing of physical parameters indicated that the density of fiberboard exhibited a range of values spanning from 0.28 g/cm³ to 0.55 g/cm³. Similarly, the water absorption capacity of the fiberboard was seen to vary between 107.25% and 194.00%. The water absorption abilities display significant variability, as indicated by a rather large standard deviation ranging from 28.15% to 80.35%. When the density of fiberboard is high, its water absorption capacity tends to be low. Furthermore, the mechanical tests conducted revealed that the flexural strength of the fiberboard showed a range of values spanning 1.10-5.42 MPa. The magnitude of specific heat capacity for fiberboard is calculated to be between 2.1-3.5 J/g °C, while the thermal conductivity lies within the range of 0.001-0.0020 W/mK.

KEYWORDS: mechanical properties, palm frond, physical properties, thermal properties

PENDAHULUAN

Perkebunan kelapa sawit yang berada di wilayah Provinsi Riau memiliki luas lahan yang besar, yaitu lebih dari 23.991 hektar (Zainuri et al., 2018). Berdasarkan sebuah penelitian, ditemukan bahwa setiap hektar perkebunan kelapa sawit menghasilkan limbah pelepah kering bulanan sebesar 3.108 ton, atau setara dengan 37.296 ton setiap tahunnya (Thebora S. et al., 2019). Pemanfaatan pelepah sawit terbuka lebar dengan tersedianya limbah pelepah sawit yang sangat banyak. Biasanya, pelepah sawit hanya ditumpuk di sekitar pohonnya, dan dibiarkan tanpa dimanfaatkan lebih lanjut. Penelitian sebelumnya melaporkan bahwa pelepah sawit memiliki kandungan yang dapat dijadikan sebagai bahan kompos (Berrehail et al., 2018). Komposisi pelepah sawit terdiri atas selulosa 34,9%, hemiselulosa 27,14%, dan lignin 19,87% (Maulina et al., 2018).

Bahan serat alam dapat dimanfaatkan sebagai material penguat (reinforcement) dan pengisi (filler) komposit. Produk ini lebih dikenal dengan biokomposit yang ramah lingkungan dan dapat didaur ulang (Apriani, 2017; Asroni & Handono, 2018). Salah satu produk biokomposit yang bernilai ekonomis adalah papan serat. Bahan utama papan serat terdiri atas serat alami sebagai penguat, resin sebagai dan bahan aditif (Haniel et al., 2023).

Papan serat memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan papan partikel maupun komposit semen. Papan serat memiliki sifat mekanis yang lebih unggul dibandingkan dengan papan partikel. Papan serat yang diperkuat serat rami dapat mencapai kuat lentur 96,7 MPa (Haniel et al., 2023), bandingkan dengan papan partikel semen komposit sekam padi/polipropilena yang kuat lentur hanya 14,7 MPa (Wicaksono & Purbawanto Hidayat, 2019). Selain itu, densitas papan serat lebih ringan dibandingkan dengan komposit semen, sehingga cocok untuk aplikasi sektor furnitur dan sistem penahan panas (Abu-Jdayil et al., 2019).

Serat pelepah sawit diketahui memiliki kemampuan menyerap panas yang baik

dengan ketersediaan melimpah dan biaya bahan baku yang murah (Syamani et al., 2012). Penelitian ini bertujuan untuk memfabrikasi papan serat biokomposit dengan bahan dasar serat pelepah sawit (PSP). Papan serat difabrikasi melalui paduan serat pelepah sawit dan resin dengan pencetakan manual (*hand lay-up*) dan diberi tekanan mesin press pada suhu ruang (*cold-compaction*). Karakterisasi yang ditinjau dalam studi ini mencakup karakterisasi sifat fisis (densitas dan daya serap air), mekanik (*flexural strength*), dan termal (kapasitas panas spesifik dan konduktivitas termal). Potensi dampak positif dari pemanfaatan pelepah sawit untuk produksi biokomposit memiliki manfaat ganda yaitu, mengatasi masalah limbah yang dihasilkan oleh perkebunan kelapa sawit dan menghasilkan produk papan serat yang bernilai guna namun tetap hemat biaya (Hasan et al., 2021).

METODE DAN BAHAN

Alat dan bahan pembuatan komposit ini diperlukan cetakan 10cm×10cm×5cm, serat pelepah sawit, mesin *pres*, *mixer*, resin *epoxy*, dan NaOH 16%.

Preparasi Serat Pelepah sawit

Pelepah diperoleh dari perkebunan milik warga di kecamatan Tapung, Kabupaten Kampar, Riau. Pohon sawit tersebut sudah tidak produktif dan berumur sekitar 10 tahun.

Fabrikasi Papan serat

Pabrikasi pembuatan papan serat pelepah sawit ditunjukkan Gambar 1, dengan perbandingan serat dan resin seperti ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi papan serat pelepah sawit

Kode sampel	Serat (%)	Resin (%)
PSP-1	84	16
PSP-2	83	17
PSP-3	82	18
PSP-4	81	19
PSP-5	80	20

Serat pelepah sawit dan resin dicampurkan menggunakan *mixer*. Pengadukan serat dengan resin, harus sesuai

dengan berat kebutuhan volume isi komposisi pada papan serat pelepah sawit. Kemudian pelepah sawit dan resin yang sudah tercampur

dimasukkan ke dalam cetakan, di *press* dengan tekanan 2ton selama 5 menit. Sampel dibiarkan pada suhu ruang selama 7 hari.



Gambar 1. Fabrikasi papan serat pelepah sawit

Karakterisasi PSP

Analisis Sifat Fisis dan Mekanik

Pengujian sifat fisis yang dilakukan adalah massa jenis dan daya serat papan serat. Papan serat pelepah sawit melalui penimbangan massa sampel serta menghitung volumenya. Perhitungan massa jenis menggunakan Persamaan 1 (Said et al., 2021):

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

dimana ρ massa jenis (g/cm^3), m massa papan serat (g) serta V yaitu volume PSP (cm^3).

Pengujian daya serap air dilakukan dengan menimbang massa sampel sebelum dan sesudah perendaman selama ± 25 jam. Perhitungan daya serap air menggunakan Persamaan 2:

$$WR (\%) = \frac{W_f - W_i}{W_i} \times 100 \quad (2)$$

dengan $WR (\%)$ adalah persentase penyerapan air pada sampel, W_f dan W_i masing-masing adalah berat awal (sebelum perendaman) dan berat akhir (sesudah perendaman) papan serat pelepah sawit (Berrehail et al., 2018).

Pengujian sifat mekanik yaitu *flexular strength* bertujuan untuk menguji kekuatan lentur (*bending*) material ketika diberi beban tekan sampai material tersebut patah. Metode

pengujian *bending* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *threepoint bending*. Perhitungan *flexular strength* menggunakan Persamaan 3 (Susilowati et al., 2022):

$$\sigma = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (3)$$

Analisis Fourier Transform Infra Red (FTIR)

Analisis FTIR bertujuan untuk menganalisis gugus fungsi serat yang terkandung dalam serat pelepah sawit. Untuk mengetahui mekanisme yang terjadi, dilakukan analisis Fourier Transform Infrared (FTIR) pada sampel bahan baku serat dan papan serat (Widyorini et al., 2016).

Analisis Morfologi Permukaan

Uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan untuk mengamati morfologi permukaan PSP (Ikumapayi et al., 2020). Selanjutnya, estimasi keberadaan rongga dari foto SEM permukaan PSP dianalisis menggunakan software ImageJ.

Analisis termal

Uji sifat termal menggunakan alat kapasitas panas spesifik dan konduktivitas termal yang telah melalui tahap kalibrasi. Uji kapasitas panas spesifik menggunakan prinsip kalorimeter sederhana. Spesimen papan serat dipanaskan hingga suhu $\pm 70^\circ C$

kemudian dimasukkan kedalam alat kalorimeter berisi air murni (*aquades*) dan diamati perubahan suhu sistem kalorimeter. Ketika suhu seimbang tercapai, maka kapasitas panas bahan dapat ditentukan (Azhar et al., 2022). Pengujian konduktivitas menggunakan alat konduktivitas termal PHT 320 (Pudak Scientific), dimana demonstrasi prinsip kerjanya serupa dengan referensi (Dziob & Čepič, 2020).

HASIL DAN PEMBAHASAN

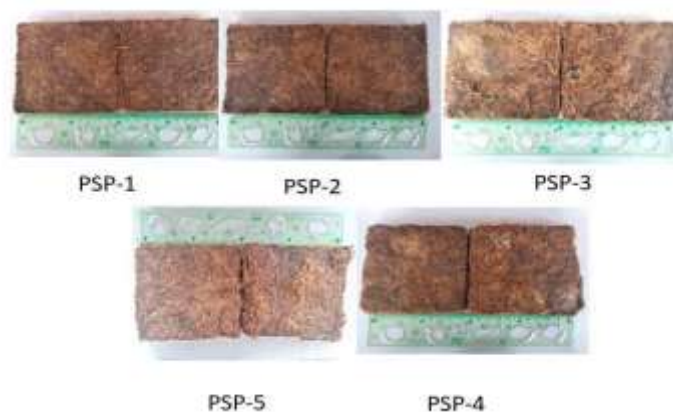
Papan serat yang telah difabrikasi ditampilkan pada Gambar 2. Papan serat tampak berwarna kecokelatan (Abu-Jdayil et al., 2019). Serat pelepah sawit mengandung lignin 30,18% dan kandungan energi 4,9-5,6 Mj/kg (Vidaya Anggun Mentari, Gewa Handika, 2018).

Analisa Sifat Fisis

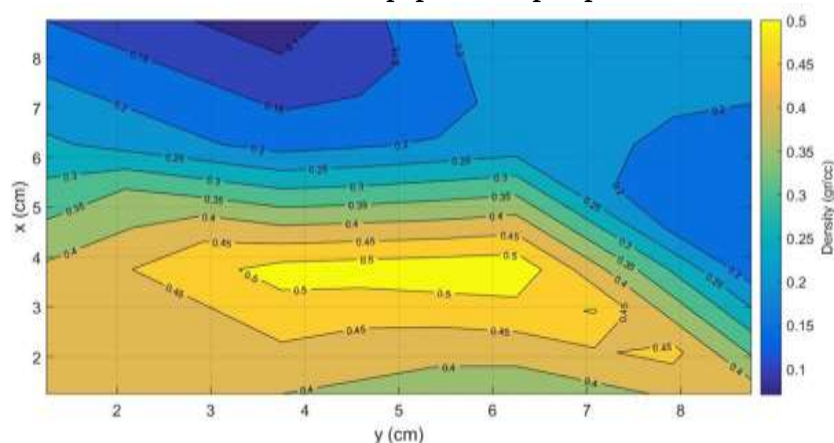
Densitas papan serat hasil fabrikasi berkisar 0,28 - 0,55 g/cm³ yang ditunjukkan pada Tabel 2. Dengan menggunakan *plot* 2D yang difasilitasi oleh *software* Matlab, distribusi kerapatan tampak belum homogen seperti ditunjukkan oleh plot distribusi densitas pada Gambar 3. Kerapatan papan serat yang tidak homogen disebabkan karena proses campuran yang tidak merata (Hendronursito, 2015).

Tabel 2. Nilai uji sifat fisis papan serat

Kode Sampel	Densitas g/cm ³	DSA (%)
PSP-1	0,28(±0,02)	162,50(±22,30)
PSP-2	0,55(±0,07)	154,48(±39,60)
PSP-3	0,36(±0,04)	194,00(±28,15)
PSP-4	0,46(±0,08)	140,69(±78,23)
PSP-5	0,38(±0,09)	107,25 (±80,35)



Gambar 2. Fabrikasi papan serat pelepah sawit



Gambar 3. Distribusi densitas papan serat pelepah sawit.

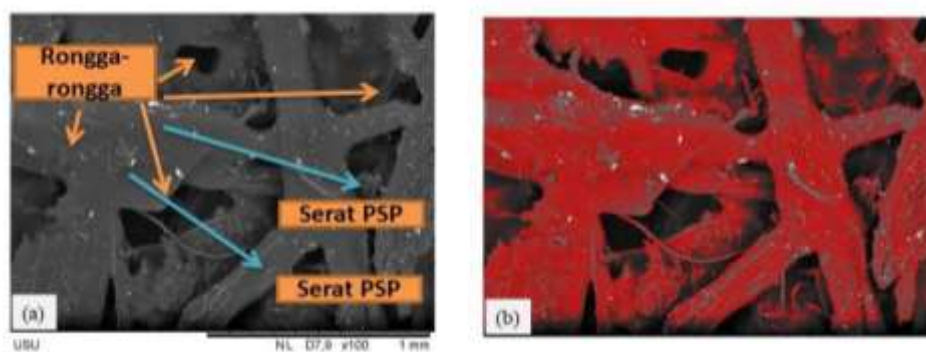
Sifat Mikrostruktur

Scanning Electron Microscopy (SEM)

Foto pemindaian SEM papan serat ditunjukkan oleh Gambar 4. Tekstur serat

tampak adanya rongga di permukaan papan serat (Yusriani et al., 2022). Permukaan papan serat yang tidak merata mengindikasikan adanya rongga. Keberadaan rongga akan

mempengaruhi penurunnya sifat mekanis (Savic et al., 2020).



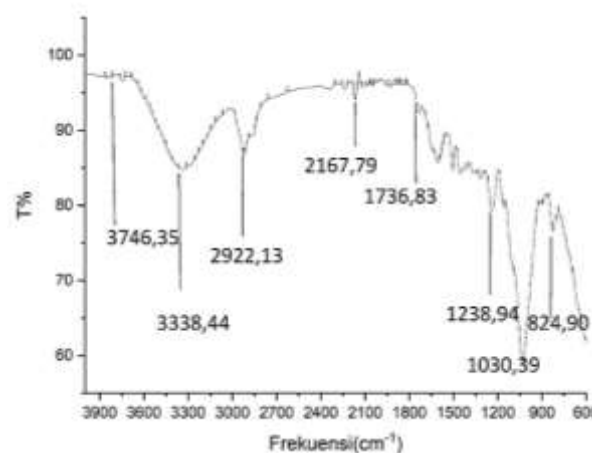
Gambar 4. Analisis SEM morfologi permukaan papan serat dengan perbesaran 100x sampel PSP-5. (a) Gambar original dan (b) Gambar hasil olah ImageJ untuk mengestimasi daerah yang solid komposit yang diindikasikan oleh warna merah. Sementara daerah berwarna hitam menunjukkan rongga-rongga yang muncul di permukaan papan serat.

Analisis gambar morfologi permukaan papan serat menggunakan SEM dapat dilihat pada Gambar 4. Diestimasi terdapat rongga permukaan sebesar 50,6% sebagaimana hasil analisis ImageJ pada Gambar 4(b). Keberadaan rongga diindikasikan oleh area yang berwarna hitam. Adanya perbedaan sifat polaritas antara serat pelepah sawit dan matriks (resin) akibat suhu dan bahan aditif dapat menyebabkan serat sebagai *filler* cenderung untuk menggumpal dengan resin (Wardani et al., 2012). Sehingga terjadi distribusi yang tidak sama rata dalam paduan matriks dan serat akan menyebabkan terbentuknya ruang atau rongga (Umam et al., 2019). Permukaan serat yang lebih homogen memiliki rongga yang lebih sedikit (Dea et al., 2017).

Analisis FTIR

Analisis FTIR dilakukan untuk menyelidiki keadaan gugus fungsi senyawa kimia PSP. Gambar 5 menunjukkan spektra FTIR papan serat dari rentang frekuensi 3900-600 cm^{-1} . Spektra FTIR dari papan serat menunjukkan adanya vibrasi pada frekuensi 3746 cm^{-1} yang berkaitan dengan adanya hidroksil dalam senyawa selulosa (Irwan, 2019). Frekuensi spektra 2922 cm^{-1} disebabkan oleh keberadaan lignin pada mode getar peregangan (Hisyam & Widyawati, 2021). Sementara vibrasi pada frekuensi 824 cm^{-1} menunjukkan adanya senyawa resin epoksi yang tidak bereaksi (Triwulandari & Ghazali,

2013).



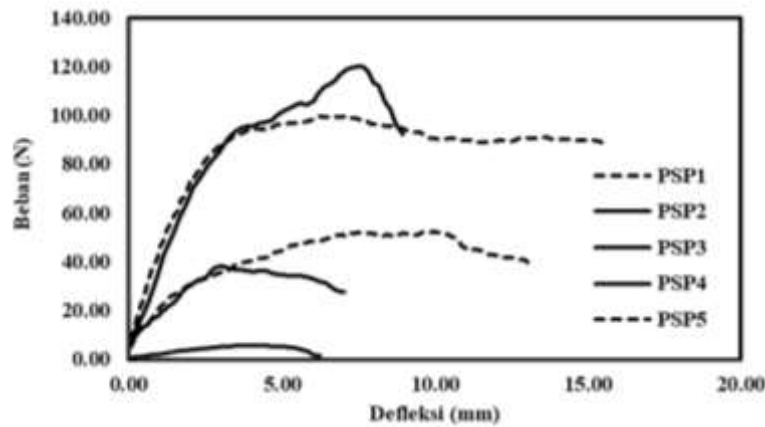
Gambar 5. Spektra FTIR papan serat pelepah sawit PSP-5

Hasil Uji Mekanis

Hasil dari pengujian mekanis dari papan serat dapat dilihat di Gambar 6 dan Tabel 3. PSP-1 menunjukkan nilai *flexular strength* yang tertinggi dan terendah PSP-5. Papan serat mengalami kenaikan sifat mekanis yang signifikan dengan meningkatnya jumlah serat pelepah sawit (Dea et al., 2017).

Tabel 3. Nilai *flexular strength* PSP

Sampel	Beban maksimum (N)	σ (MPa)
PSP-1	125,2	4,52
PSP-2	108,3	3,17
PSP-3	44,8	0,87
PSP-4	63,5	1,02
PSP-5	61,2	1,10



Gambar 6. Grafik pembebanan papan serat pelepah sawit

Hasil Uji Termal

Hasil uji sifat termal ditunjukkan pada Tabel 4, dimana akurasi pengukuran nilai kapasitas termal dalam penelitian ini sekitar 10%.

Tabel 4. Analisis sifat termal papan serat

Sampel	Kapasitas panas spesifik (J/g°C)	Konduktivitas termal (W/mK)
PSP-1	2,1(±0.5)	0,0013
PSP-2	3,5(±0.5)	0,0010
PSP-3	2,5(±0.5)	0,0003
PSP-4	2,7(±0.5)	0,0020

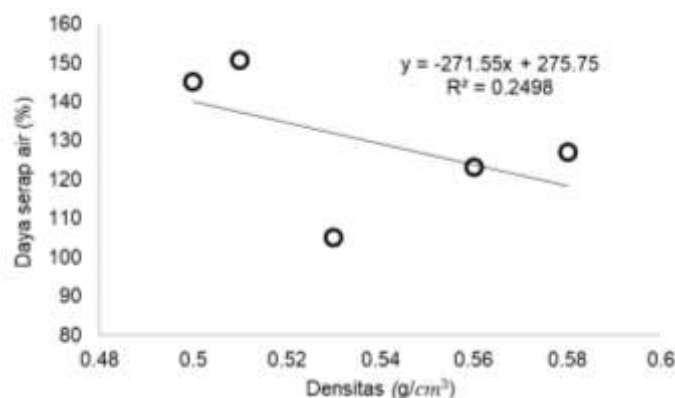
Papan serat memiliki kemampuan menyimpan panas yang cukup tinggi dengan nilai kapasitas panas spesifik berkisar 2,1 – 3,5 J/g°C. Sementara, konduktivitas termal dari papan serat tergolong sangat rendah, berkisar 0,0003 – 0,0020 W/mK. Papan serat dalam penelitian ini memiliki sifat insulasi termal yang sebanding dengan papan biokomposit lainnya, seperti partikel kakao dan ampas

tebu 0,029 J/g°C (Suryani et al., 2019) dan serat batang sawit 0,019 J/g°C (Hasan et al., 2021). Sehingga, PSP cukup potensial bila diaplikasikan sebagai bioinsulator termal (Nayan & Hafli, 2022).

Tabel 5 menunjukkan perbandingan papan serat pelepah sawit dalam penelitian ini dengan penelitian sebelumnya (Ellayawan Arbintarso, 2009). Papan serat yang telah difabrikasi memang belum sebaik dari peneliti sebelumnya dalam hal sifat mekanis. Namun, karakteristik insulasi termal cukup baik bila difungsikan sebagai bio-insulator. Hal ini ditunjukkan dengan besarnya kapasitas panas papan serat dan konduktivitas termal yang rendah (Nopriantina & Astuti, 2013). Hasil uji sifat fisis pada Gambar 7 menunjukkan adanya korelasi antara densitas dan daya serap air. Pelepah sawit mengandung lignin yang tinggi yang berkontribusi menjadi rongga ketika dikeringkan (Afrizal et al., 2014). Daya serap air cenderung besar ketika nilai densitas papan serat rendah.

Tabel 5. Perbandingan karakteristik papan serat pelepah sawit dengan penelitian sebelumnya

No	Material	Flexural strength (MPa)	Kapasitas panas spesifik (J/g°C)	Ref.
1	PSP-1	4,52	2,1(±0.5)	Penelitian ini
2	PST-2	3,17	3,5(±0.5)	Penelitian ini
3	PSP-3	0,87	2,5(±0.5)	Penelitian ini
4	PSP-4	1,02	2,7(±0.5)	Penelitian ini
5	Kayu dan serat aren + limbah karet ban bekas	46,49	-	(Intang et al., 2008)
6	Partikel kakao dan ampas tebu	-	0,029	(Suryani et al., 2019)
7	Serat batang sawit	-	0,019	(Hasan et al., 2021)



Gambar 7. Korelasi sifat densitas dan daya serap

KESIMPULAN

Fabrikasi papan serat pelepah sawit telah berhasil dilakukan dan diperoleh karakteristik fisis, mekanis dan termalnya. Hasil uji fisis menunjukkan bahwa densitas papan serat pelepah sawit berkisar 0,28 - 0,55 g/cm³. Pengujian sifat mekanis *flexular strength* papan serat menunjukkan adanya korelasi positif yang signifikan dengan meningkatnya jumlah kandungan serat pelepah sawit. Pengukuran kapasitas panas menunjukkan papan serat memiliki kemampuan penyimpanan panas yang tinggi dengan kapasitas panas spesifik sebesar 2,1–3,5 J/g°C. Sedangkan, konduktivitas termal papan serat pelepah sawit bernilai sangat kecil, sekitar 0,0003–0,0020 J/mK, sehingga papan serat cocok bila difungsikan sebagai bio-insulator

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kemendikbudristek melalui LPPM Universitas Muhamdiyah Riau yang telah membantu sebagian pendanaan penelitian ini melalui skema penelitian Dosen Pemula (No Kontrak. 56/PRJ/II.3.AU/F/7/2023) dan Lab. Terpadu Fisika, Universitas Muhammadiyah Riau yang telah membantu memfasilitasi pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Abu-Jdayil, B., Mourad, A. H., Hittini, W., Hassan, M., & Hameedi, S. (2019). Traditional, state-of-the-art and renewable thermal building insulation materials: An overview. In *Construction and Building Materials* (Vol. 214, pp. 709–735). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.201>

9.04.102

- Afrizal, Sutrisna, R., & Muhtarudin. (2014). Pontensi Hijauan Sebagai Pakan Ruminasia Dikecamatan Bumi Agung Kabupaten Lampung Timur. *Jurnal Ilmiah Peternakan Terpadu*, 2(2), 93–100.
- Apriani, E. (2017). Analisa Pengaruh Variasi Komposisi Bahan Limbah Dari Serat Kelapa Muda, Batang Pisang dan Kertas Bekas Terhadap Bending Sebagai Papan Komposit. *Jurnal Engine*, 1(2), 38–46.
- Asroni, & Handono, S. D. (2018). Kaji eksperimen variasi jenis serat batang pisang untuk bahan komposit terhadap kekuatan mekanik. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(2), 214–222.
- Azhar, Melita, A. S., Doyan, A., Susilawati, Ayub, S., & Hudha, L. S. (2022). Digital calorimeter for measuring the specific heat of liquids. *Journal of Physics: Conference Series*, 2165(1), 012034. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2165/1/012034>
- Berrehaill, T., Zemmouri, N., & Agoudjil, B. (2018). Thermal conductivity of cement stabilized earth bricks reinforced with date palm fiber. *AIP Conference Proceedings*, 19(1). <https://doi.org/10.1063/1.5039223>
- Dea, A., Hidayat, S., Farid, M., & Wibisono, T. (2017). Karakterisasi Morfologi Sifat Akustik dan Sifat Fisik Komposit Polypropylene Berpenguat Serat Dendrocalamus Asper untuk Otomotif. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2).
- Dziob, D., & Čepič, M. (2020). Simple method for measuring thermal conductivity.

- Physics Education*, 55(4), 045004.
<https://doi.org/10.1088/1361-6552/ab8100>
- Ellayawan Arbintarso, S. (2009). Tinjauan Kekuatan Lengkung Papan Serat Sabut Kelapa Sebagai Bahan Teknik. *Jurnal Teknologi*, 2(1), 53–60.
- Haniel, H., Bawono, B., & Anggoro, P. W. (2023). Perilaku Penyerapan Air Terhadap Sifat Mekanik Biokomposit Serat Kenaf/Rami. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 18(1).
<https://doi.org/10.32497/jrm.v18i1.3997>
- Hasan, M., Rahmadi, A., & Arryati, H. (2021). Sifat Fisis Dan Mekanis Papan Komposit Dari Serat Batang Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) Dengan Berbagai Komposisi Perekat PVAC. *Jurnal Sylva Scientiae*, 4(3), 460.
<https://doi.org/10.20527/jss.v4i3.3746>
- Hendronursito, Y. (2015). Uji Sifat Fisis Papan Partikel Akar Alang-Alang Sesuai Standar SNI-03-2105-2006. *Jurnal Teknologi*, 08(01), 37–43.
- Hisyam, M., & Widyawati, F. (2021). Analisis Pengaruh Massa Serat Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanik Papan Komposit Gypsum Berpenguat Sisal (*Agave Sisalana*). *Hexagon Jurnal Teknik Dan Sains*, 2(1), 16–21.
<https://doi.org/10.36761/hexagon.v2i1.872>
- Ikumapayi, O. M., Akinlabi, E. T., Majumdar, J. D., & Akinlabi, S. A. (2020). Applications Of Coconut Shell Ash/Particles In Modren Manufacturing: A Case Study Of Friction Stir Processing. In K. Kumar & J. paul. Davim (Eds.), *Modern Manufacturing Processes* (1st ed., pp. 69–95). Matthew Deans. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819496-6.00004-X>
- Intang, N., Maryoto, A., & Haryanto, Y. (2008). Teknologi Papan Partikel dan Komposit dari Limbah Pohon Aren (Kayu dan Serat) dan Limbah Karet Ban Bekas. *Badan Penelitian Dan Pengembangan Provinsi Jawa Tengah*, 6(1), 23–37.
- Irwan, M. (2019). Isolasi Dan Karakterisasi Selulosa: Review. *Jurnal Saintika UNPAM-Sains Dan Matematika UNPAM*, 1(2), 2–7.
<https://doi.org/10.32493/jsmu.v1i2.2381>
- Maulina, S., Nurtahara, & Fakhradila. (2018). Pirolisis pelepah kelapa sawit untuk menghasilkan fenol pada asap cair. *Jurnal Teknik Kimia*, 7(2), 12–16.
- Nayan, A., & Hafli, T. (2022). Analisa Struktur Mikro Material Komposit Polimer Berpenguat Serbuk Cangkang Kerang. *Malikussaleh Journal of Mechanical Science and Technology*, 6(1), 15–24.
- Nopriantina, N., & Astuti. (2013). Pengaruh Ketebalan Serat Kepok (Musa paradisiaca) Terhadap Sifat Mekanik Material Komposit Poliester-Serat Alam. *Jurnal Fisika UNAND*, 2(3), 195–203.
- Said, M. L., Fuadi, N., & Dzikriansyah, M. F. (2021). Karakterisasi Sifat Fisis Papan Partikel Sabut Kelapa-Serat Pelepah Lontar. *Jurnal Fisika , Terapannya*, 8(2), 1–12. <https://doi.org/10.24252/jft.v8i1.24814>
- Savic, A., Antonijevic, D., Jelic, I., & Zakic, D. (2020). Thermomechanical behavior of bio-fiber composite thermal insulation panels. *Energy and Buildings*, 229. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110511>
- Suryani, R., Muldarisnur, M., & Yetri, Y. (2019). Pengaruh Variasi Panjang Serat Ampas Tebu dan Serbuk Kulit Buah Kakao Terhadap Sifat Fisis, Mekanis, dan Konduktivitas Termal Papan Partikel. *Jurnal Fisika Unand*, 8(3), 199–204. <https://doi.org/10.25077/jfu.8.3.199-204.2019>
- Susilowati, A., Imam, A. C., Sipil, J. T., & Jakarta, P. N. (2022). Pengaruh Ground Granulated Blast Furnace Slag Sebagai Pengganti Sebagian Semen Pada Papan Serat Ringan. *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Terapan*, 9(1), 27–37.
- Syamani, F. A., Notowiharjo, Ismadi, Munawar, S. S., & Subyakto. (2012). Pemanfaatan Pelepah kelapa Sawit Untuk Produk Komposit dan Analisa Finansialnya. *Prosiding Seminar Nasional Dan Kongres Maksi 2012*, 420–428.
- Thebora S., M. E., Ningsih, K. N., & Shalihin, M. I. (2019). Sintesis Grafena Dari Limbah Pelepah Sawit(*Elaeis Sp.*) Dengan Metode Reduksi Grafit Oksida Menggunakan Pereduksi Zn. *Khazanah Intelektual*, 3(2),

- 462–476.
- Triwulandari, E., & Ghozali, M. (2013). Pembuatan Epoksi Termodifikasi Poliuretan Dari Poliola Akrilik Dengan Variasi Suhu Dan Komposisi Poliuretan. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 14(2), 120–124.
- Umam, M. K., Noerochim, L., & Wicaksono, T. (2019). Pengaruh Komposisi Filler Limbah Cangkang Kerang dan Fiberglass terhadap Sifat Fisis dan Mekanik Komposit untuk Aplikasi Papan Partikel Semen. *Jurnal Teknik ITS*, 8(2), 118–123.
- Vidaya Anggun Mentari, Gewa Handika, S. M. (2018). Karbon Aktif Dari Pelepah Kelapa Sawit Menggunakan Aktivator Asam Fosfat(H₃P04) Dan Asam Nitrat(HNO₃). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 7(1), 16–20.
- Wardani, L., Massijaya, M. Y., & Machdie, M. F. (2012). Pemanfaatan Limbah Batang Kelapa Sawit dan Plastik Daur Ulang sebagai Bahan Baku Papan Plastik Komposit. *Jurnal Hutan Tropis*, 10, 51–59.
- Wicaksono, S. T., & Purbawanto Hidayat, M. I. (2019). Pengaruh Komposisi Filler Limbah Polypropylene dan Sekam Padi terhadap Sifat Fisis dan Mekanik Komposit untuk Aplikasi Papan Semen Partikel. *Jurnal Teknik ITS*, 8(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v8i2.44579>
- Widyorini, R., Yudha, A. P., Lukmandaru, G., & Prayitno, T. A. (2016). Sifat Fisika Mekanika dan Ketahanan Papan Partikel Bambu dengan Perekat Asam Sitrat terhadap Serangan Rayap Kayu Kering. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 9(1), 12. <https://doi.org/10.22146/jik.10180>
- Yusriani, Sahara, & Said Lanto, M. (2022). Uji Sifat Mekanik Papan Komposit Berbahan Tongkol Jagung Dan Serat Batang Pisang. *Teknosains-Media Informasi Sains Dan Teknologi*, 16(1), 65–73. <https://doi.org/10.24252/teknosains.v16i1.24490>
- Zainuri, Z., Yanti, G., & Megasari, S. W. (2018). Penggunaan Serat Pelepah Kelapa Sawit Asal Dumai sebagai Bahan Tambah Pembuatan Batako Serat. *Sainstek*, 5(2), 52–58.