

Fabrikasi Papan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Penambahan Bahan Fluoresensi Fosfor

Ropiqotul Husna^a, Debi Yana^a, Intan Kusmawati^a, Nurul Aisah^a, Delovita Ginting^a, Romi Fadli Syahputra^{a*}

Program Studi Fisika, FMIPA dan Kesehatan, Universitas Muhammadiyah Riau Jl. Tuanku Tambusai, Pekanbaru, Riau 28294, Indonesia

e-mail: romifadli@umri.ac.id

Kata kunci:

Bio komposit;
Sifat fisis;
Fluoresensi;
Sifat mekanis

ABSTRAK

Serat alam dapat digunakan sebagai pengganti material komposit yang ramah lingkungan. Tandan kosong kelapa sawit (OPEFB) merupakan salah satu serat alam hasil olahan industri kelapa sawit yang tersedia dalam jumlah besar. Penggunaan serat OPEFB sebagai papan serat yang inovatif belum banyak diteliti secara fisik. Penambahan bahan aditif fluoresensi memberikan keuntungan pada produk kayu dan papan serat karena memiliki nilai estetika yang tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat biokomposit papan serat inovatif berdasarkan serat OPEFB dengan penambahan fluoresensi fosfor. Papan serat dibuat dengan metode peletakan tangan dan pemadatan dingin. Komposisi utama papan serat terdiri dari serat OPEFB, resin epoksi, dan 5 g bubuk fosfor. Kandungan serat OPEFB bervariasi dari 76% hingga 86%. Hasil pengujian fisik menunjukkan bahwa kerapatan papan serat berkisar antara 0,34 - 0,59 g/cm³ dan daya serap airnya sebesar 105,22 - 156,475%. Nilai kapasitas panas spesifik papan serat berkisar antara 0,34 - 2,2 J/g^oC dan konduktivitas termalnya 0,001 - 0,002 W/mK. Sementara itu, kekuatan lenturnya adalah 1,30 - 6,42 MPa yang relatif sebanding dengan papan serat bio-komposit. Penambahan fosfor mempengaruhi sifat termal papan serat, sehingga sangat cocok untuk aplikasi sebagai bio-insulator dengan fitur fluoresensi.

Keywords:

Bio composites;
Physical properties;
Fluorescence;
Mechanical properties

ABSTRACT

Natural fiber can be used as a substitute for environmentally friendly composite materials. Oil palm empty fruit bunches (OPEFB) is one of the natural fibers processed by the palm oil industry which is available in large quantities. The use of OPEFB fiber as an innovative fiberboard has not been studied much physically. The addition of fluorescence additives gives wood and fiberboard products the advantage of having a high aesthetic value. The aim of this study was to fabricate an innovative fiberboard biocomposite based on OPEFB fiber with the addition of phosphor fluorescence. Fiberboard is fabricated by hand lay-up and cold compaction methods. The main composition of the fiberboard consists of OPEFB fiber, epoxy resin, and 5 g of phosphorus powder. The fiber content of OPEFB varies from 76% to 86%. The results of physical testing showed that the fiberboard density ranged from 0.34 - 0.59 g/cm³ and its water absorption capacity was 105.22 - 156.475%. The specific heat capacity value of fiberboard ranges from 0.34 - 2.2 J/g^oC and its thermal conductivity is 0.001-0.002 W/mK. Meanwhile, the bending strength is 1.30 - 6.42 MPa which is relatively comparable to bio-composite fiberboard. The addition of phosphorus affects the thermal properties of fiberboard, so it is suitable for application as a bio-insulator with fluorescence features.

1. PENDAHULUAN

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah padat dari hasil pengolahan minyak kelapa sawit. Perkebunan kelapa sawit menghasilkan limbah TKKS sebanyak $\pm 23,3$ ton/hektar/tahun, namun pemanfaatannya masih terbatas sebagai pupuk organik [1], [2]. Serat TKKS juga telah dimanfaatkan sebagai papan serat untuk menggantikan kayu [3], [4]. Hasil penelitian sebelumnya melaporkan bawah pemanfaatan TKKS sebagai papan partikel memiliki sifat fisik dan mekanik yang memenuhi standard biokomposit SNI 03-2105-2006 untuk penggunaan interior [1].

Peningkatan mutu papan serat TKKS dapat dilakukan dengan rekayasa fisika maupun kimia, salah satunya dengan menambahkan bahan aditif. Untuk penambahan nilai estetika bahan *fluorescent* seperti fosfor ditambahkan pada produk papan serat dan produk kayu, seperti souvenir [5]–[7]. Fluoresensi adalah proses penyerapan dan pemancaran kembali cahaya oleh suatu bahan yang terjadi karena adanya proses perpindahan tingkat energi dari keadaan elektron tereksitasi menurun keadaan stabil (*ground states*) [8]. Bahan *fluoresensi* merupakan bahan utama digunakan pada lampu fluoresensi, cat, hingga digunakan sebagai sensor [7].

Penelitian ini bertujuan untuk memfabrikasi biokomposit papan serat TKKS inovatif dengan penambahan bahan fluoresensi. Papan serat difabrikasi dengan metode *hand lay-up* dan *cold compaction* [6], [9]. Papan serat dikarakterisasi dengan pengujian sifat fisis, mekanis dan termal.

2. METODE DAN BAHAN

Alat dan bahan pembuatan komposit ini diperlukan cetakan $10 \times 10 \times 5$ cm, serat TKKS, mesin *pres*, *hand mixer*, resin *epoxy*, bubuk fosfor, dan NaOH 16%.

2.1 Preparasi Serat TKKS

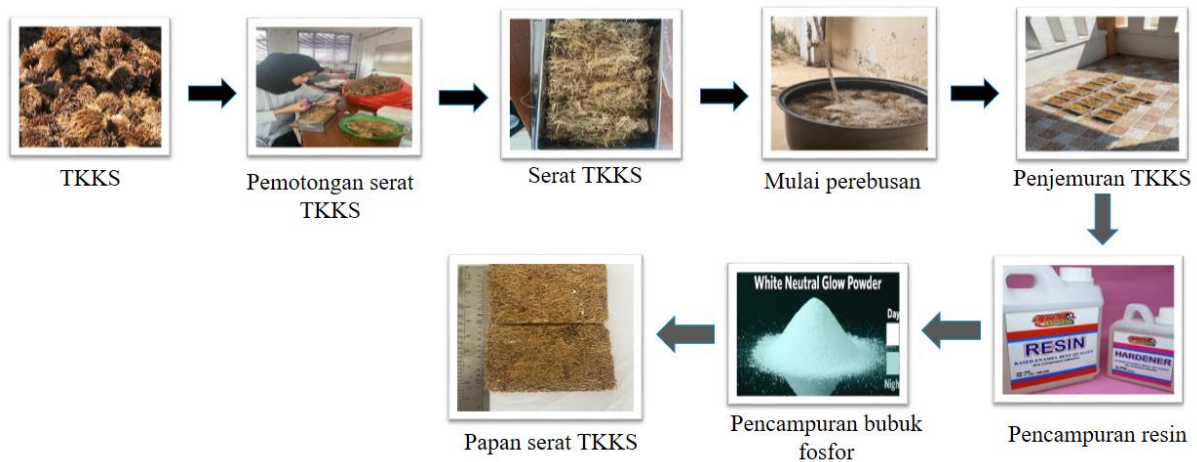
TKKS diperoleh dari perngepul milik warga di kecamatan Tapung, kabupaten Kampar, Riau sebanyak ± 10 kg. Serat TKKS dipotong dengan ukuran 1-3 cm. Selanjutnya dilakukan perebusan dengan campuran NaOH 16% pada suhu 80°C selama 40 menit. TKKS yang sudah kering siap untuk di fabrikasikan. Sampel papan serat ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi papan serat TKKS dengan penambahan fosfor

No	Kode Sampel	TKKS (g)	Resin Epoxy (g)	Fosfor (g)	Keterangan
1	PST-0	76	24	-	Kontrol
2	PST-1	78	22	5	
3	PST-2	80	20	5	
4	PST-3	82	18	5	
5	PST-4	84	16	5	
6	PST-5	86	14	5	

2.2 Fabrikasi Papan Serat

Serat TKKS dan resin dicampurkan menggunakan *hand mixer* sekitar 1 menit sampai di dapatkan aduan yang homogen. Kemudian TKKS dan resin diberikan penambahan bubuk fosfor. Bahan yang sudah tercampur dimasukkan ke dalam cetakan, di *press* dengan tekanan 2 ton selama 5 menit pada suhu ruan (*cold compaction*). Sampel dibiarkan pada suhu ruang selama 5 hari untuk pengkondisian sebelum dilakukan pengujian sampel.



Gambar 1. Fabrikasi papan serat TKKS

2.3. Karakterisasi Papan Serat

2.3.1. Pengujian densitas dan daya serap air

Papan serat TKKS melalui penimbangan massa sampel serta menghitung volumenya. Perhitungan menggunakan Persamaan 1:

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

dimana ρ massa jenis (g/cm^3), m massa papan serat TKKS (g) serta V yaitu volume papan serat TKKS (cm^3) [10].

Pengujian daya serap air dilakukan dengan menimbang massa sampel sebelum dan sesudah perendaman selama ± 26 jam. Perhitungan daya serap air menggunakan Persamaan 2 :

$$DSA = \frac{b_1 - b_2}{b_1} \times 100\% \quad (2)$$

dimana DSA adalah daya serap air, b_1 massa papa serat sebelum perendaman (g) dan b_2 massa papa serat setelah perendaman (g) [3].

2.3.2. Pengukuran Bending Strength

Pengujian *bending strength* bertujuan untuk menguji kekuatan lengkung (*bending*) material ketika diberi beban tekan sampai material tersebut patah. Metode pengujian *bending* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *three point bending* [11]. perhitungan *bending strength* menggunakan Persamaan 3 [11]:

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

dimana σ tegangan bending (Mpa), P gaya maksimal (N), L : panjang (m), b lebar (m) dan d tebal (m).

2.3.3. Analisis Fourier Transform Infra Red (FTIR)

Analisis FTIR bertujuan untuk menganalisis gugus fungsi serat TKKS. Spektroskopi FTIR berfungsi untuk menentukan penyerapan radiasi inframerah yang terjadi pada setiap ikatan molekul/senyawa, kemudian memberikan hasil dalam bentuk spektrum transmisi [12].

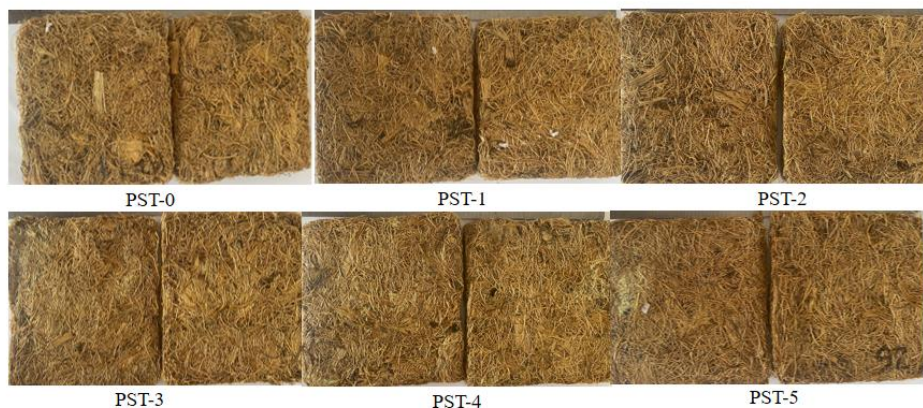
2.3.4. Analisis Morfologi Permukaan

Uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan untuk mengamati morfologi permukaan papan serat TKKS. Selanjutnya foto SEM dianalisis menggunakan *software ImageJ* untuk menentukan persentase rongga di permukaan papan serat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Uji Sifat Fisis

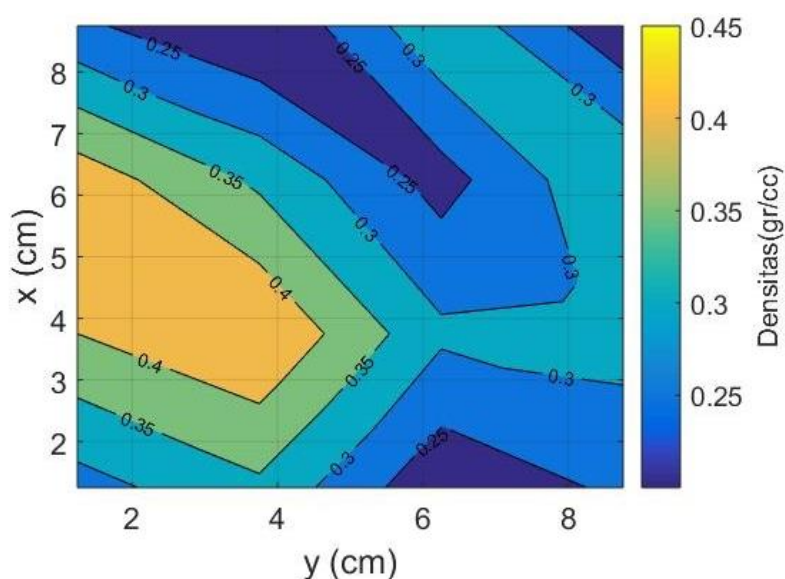
Visual papan serat yang telah difabrikasi ditampilkan pada Gambar 2. Papan serat tampak berwarna kuning kecoklatan. Serat TKKS mengandung selulosa 45.95%, hemiselulosa 16.49% dan lignin 22.84% [13], [14]. Densitas papan serat hasil fabrikasi berkisar 0,34 - 0,59 g/cm³ (lihat Tabel 2). Nilai densitas ini merupakan gabungan serat TKKS 0,973 g/cm³ [15], resin 1,18 g/cm³ dan fosfor 1,82 g/cm³ [16]. Namun, distribusi kerapatan belum homogen seperti ditunjukkan oleh plot distribusi densitas pada Gambar 3. Kerapatan papan serat yang tidak homogen disebabkan karena proses campuran yang tidak sempurna [3].



Gambar 2. Foto visual fabrikasi papan serat TKKS. PST-0 merupakan sampel kontrol (tanpa bahan fosfor) dan papan serat lainnya ditambahkan fosfor.

Tabel 2. Nilai uji sifat fisis papan serat

Kode sampel	Densitas g/cm ³	DSA (%)
PTS-0	0,37(±0,3)	128,77(±80)
PTS-1	0,35(±0,9)	156,47(±87)
PTS-2	0,34(±0,8)	129,61(±70)
PTS-3	0,38(±0,2)	145,96(±43)
PTS-4	0,47(±0,2)	123,47(±59)
PTS-5	0,59(±0,5)	105,22(±77)

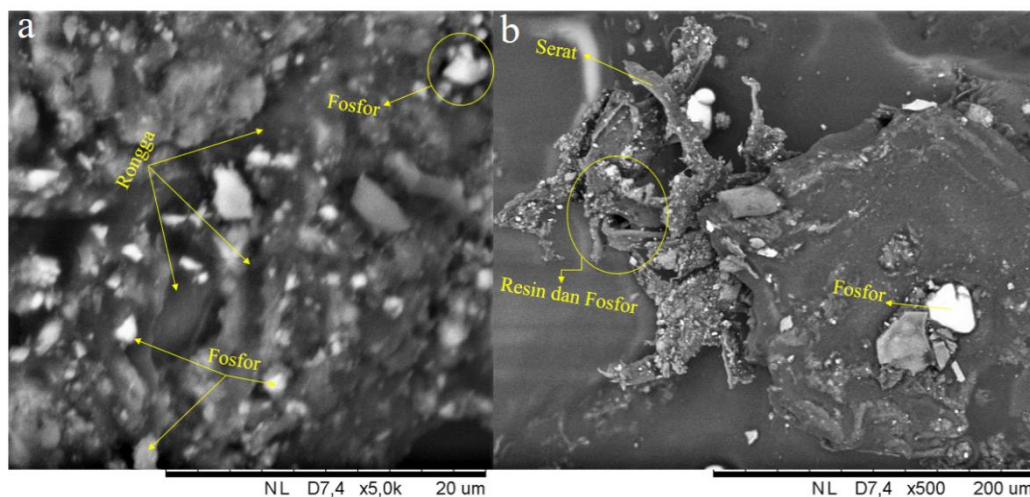


Gambar 3. Distribusi densitas papan serat TKKS. Plot 2D ini difasilitasi oleh software Matlab®.

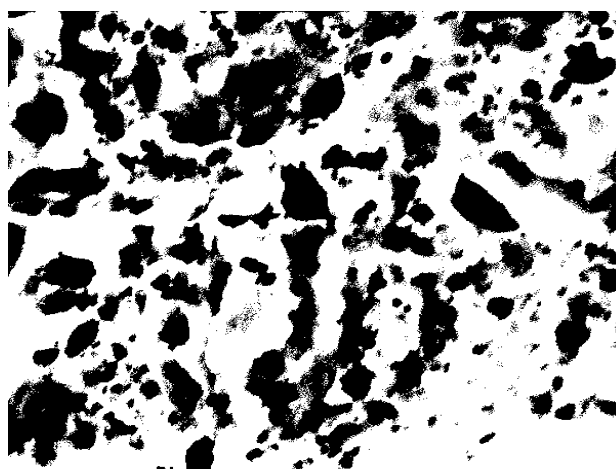
3.2. Sifat Mikrostruktur

3.2.1. Scanning Electron Microscopy (SEM)

Foto pemindaian SEM papan serat ditunjukkan oleh Gambar 4. Tesktur serapan serat tampak tidak merata dan terdapat gumpalan resin, fosfor dan serat [14]. Permukaan papan serat yang tidak merata mengindikasikan adanya rongga (*void*). Keberadaan rongga akan mempengaruhi penurunnya sifat mekanis [17].



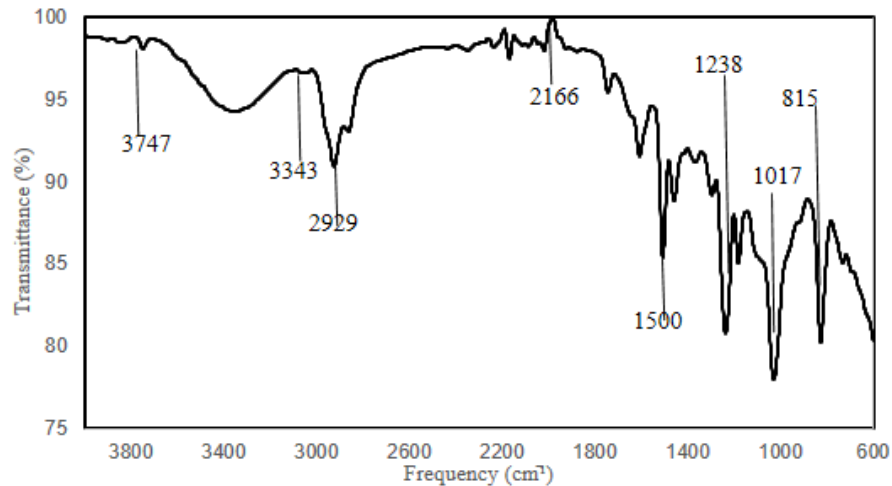
Gambar 4. Hasil analisis morfologi permukaan papan serat permukaan papan serat (a) perbesaran 5,0x dan (b) perbesaran 500x sampel PTS-4.



Gambar 5. Analisis rongga permukaan papan serat. Warna hitam partikel fosfor, serat dan resin, sementara warna putih mengidentifikasi rongga.

Analisis gambar SEM papan serat TKKS dapat dilihat pada Gambar 5. Permukaan papan serat menunjukkan banyaknya daerah kemungkinan indikatif yang ditandai oleh warna putih di Gambar 4. Analisis rongga foto SEM ini menggunakan software ImageJ mendapati persentasi rongga di permukaan papan serat TKKS sebesar 61,31%. Namun, perlu diperhatikan besarnya nilai ini sebenarnya lebih menggambarkan tekstur morfologi yang tidak halus. Secara visual, papan serat relatif padat sruktur permukaannya dengan gumpalan resin yang mengikat serat TKKS dan fosfor. Permukaan serat yang lebih homogen akan rongga yang lebih sedikit [18].

3.2.2. Analisis FTIR

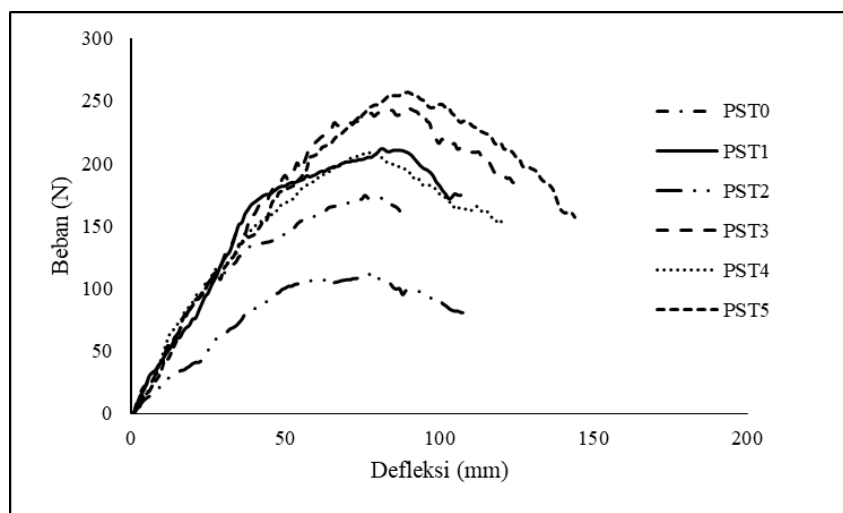


Gambar 6. Spektra FTIR papan serat PST-4

Analisis FTIR dilakukan untuk menyelidiki gugus fungsi papan serat TKKS. Gambar 6 menunjukkan spektra FTIR papan serat dari rentang frekuensi 4000-600 cm^{-1} . Spektra FTIR dari papan serat menunjukkan adanya vibrasi gugus OH pada frekuensi 3747 cm^{-1} . Gugus fungsi O-H (hidroksil) mengonfirmasi kandungan senyawa hemiselulosa pada papan serat [19]. Frekuensi spektra 2923 cm^{-1} disebabkan oleh keberadaan lignin pada mode getar peregangan -CH dan -OH [20]. Frekuensi serapan 1500 cm^{-1} mengindikasikan adanya vibrasi senyawa aromatik C-H dan peregangan C-O dalam lignin [21]. Semenara, vibrasi pada frekuensi 815 cm^{-1} menunjukkan adanya senyawa silane resin epoksi yang tidak bereaksi [22].

3.3. Hasil Uji Mekanis

Hasil dari pengujian mekanis dari papan serat dapat dilihat di Gambar 7 dan Tabel 3. Papan serat PST-5 menunjukkan nilai *bending strenght* yang tertinggi dan terendah PST-2. Papan serat mengalami kenaikan sifat mekanis yang signifikan dengan meningkatnya jumlah serat TKKS. Papan serat dalam penelitian ini sebanding dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Khalil et al. [23] yang melaporkan nilai *bending strenght plywood* TKKS sebesar 3,69 MPa.



Gambar 7. Profil kurva pembebanan untuk menentukan besar *bending strenght* papan serat TKKS

Tabel 3. Nilai *bending strength* papan serat TKKS

No	Sampel	Maximum force (N)	Bending strenght (MPa)	Keterangan
1	PST-0	182,3	2,63	Kontrol
2	PST-1	218,3	2,62	
3	PST-2	116,9	1,30	
4	PST-3	249,4	2,88	
5	PST-4	217,4	2,89	
6	PST-5	261,3	6,42	

3.4. Hasil Uji Termal

Pengujian sifat termal ditunjukkan pada Tabel 4. Perlu dicatat, akurasi pengukuran nilai kapasitas dan termal dalam penelitian ini sekitar 10%. Karena alat ukur untuk penentuan kapasitas dan konduktivitas termal sangat sederhana berbasis prinsip kalorimetrik. Papan serat memiliki kemampuan penyimpanan panas yang tinggi dengan nilai kapasitas panas spesifik berkisar 1,2 – 2,2 J/g°C. Sementara, konduktivitas termal dari papan serat tergolong sangat rendah, berkisar 0,001 - 0.002 W/mK. Kapasitas panas papan serat dengan penambahan fosfor lebih tinggi dibandingkan dengan papan serat tanpa penambahan fosfor. Papan serat dalam penelitian ini memiliki sifat insulasi termal yang sebanding dengan papan biokomposit lainnya, seperti serat kurma dengan kapasitas panas 1,89 J/g°C dan konduktivitas termal 1,27 W/mK [24], serta serat ampas tebu dengan konduktivitas termal 2,65 W/mK [25]. Sehingga, papan serat TKKS cukup potensial bila diaplikasikan sebagai bio-insulator.

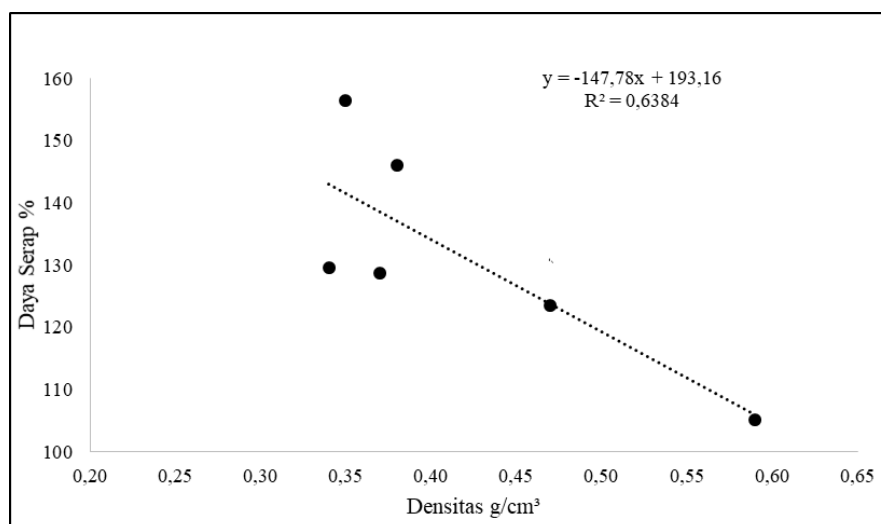
Tabel 4. Analisis sifat termal papan serat

Sampel	Kapasitas panas spesifik J/g°C	Konduktivitas Termal K (W/mk)
PST-0	1,2 (±0,5)	0,0013,
PST-1	1,19(±0,5)	0,0012
PST-2	1,21(±0,5)	0,0020
PST-3	2,2(±0,5)	0,0010

3.5. Pembahasan

Tabel 5. Perbandingan karakteristik papan serat TKKS dengan penelitian sebelumnya

No	Material	Bending Strength (MPa)	Kapasitas Panas (J/g°C)	Referensi
1	PST-0	2,63	0,8(±0,5)	Penelitian ini
2	PST-1	2,62	1,19(±0,5)	Penelitian ini
3	PST-2	1,30	1,21(±0,5)	Penelitian ini
4	PST-3	2,88	0,34(±0,5)	Penelitian ini
5	PST-4	2,89	2,2(±0,5)	Penelitian ini
6	PST-5	6,42	-	Penelitian ini
7	Serat TKKS Polyester	101,73	-	[11]
8	Serat TKKS	3,69	-	[26]
9	Serat TKKS	41,7	-	[27]
10	Batu bata + serat kurma	-	1,89	[24]



Gambar 8. Korelasi sifat densitas dan daya serap

Hasil uji sifat fisis pada Gambar 3 dan Tabel 2 menunjukkan adanya korelasi antara densitas dan daya serap air. Papan serat TKKS mengandung selulosa dan hemiselulosa sehingga berpotensi mudah menyerap air [28], [29]. Tabel 5 menunjukkan perbandingan papan serat TKKS dalam penelitian ini dengan penelitian sebelumnya. Papan serat yang telah difabrikasi memang belum sebaik dari peneliti sebelumnya dalam hal sifat mekanis, namun cukup potensial bila difungsikan sebagai bio-insulator.

4. KESIMPULAN

Fabrikasi papan serat TKKS dengan penambahan fosfor telah berhasil dilakukan dan diperoleh karakteristik fisis, mekanis dan termalnya. Hasil uji fisis menunjukkan bahwa densitas papan serat TKKS berkisar 0,34 - 0,59 g/cm³. Pengujian sifat mekanis *bending strength* papan serat menunjukkan adanya korelasi positif yang signifikan dengan meningkatnya jumlah kandungan serat TKKS. Penambahan fosfor mempengaruhi sifat termal papan serat TKKS. Pengukuran kapasitas panas menunjukkan papan serat memiliki kemampuan penyimpanan panas yang tinggi dengan kapasitas panas spesifik sebesar 0,34 - 2,2 J/g°C. Sedangkan, konduktivitas termal papan serat TKKS bernilai sangat kecil, skitar 0,001-0,002 J/mK, sehingga papan serat cocok bila difungsikan sebagai bio-insulator.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sulaiman and A. Fauzan, "Pengaruh Temperatur Tekan Panas Papan Partikel Berbahan Tandan Kosong Kelapa Sawit Dan Kulit Kayu Pinus Terhadap Sifat Mekanik," *J. Momentum*, vol. 20, no. 2, pp. 128–132, 2018, doi: 10.21063/JM.2018.V20.2.128-132.
- [2] S. Ali and A. Rusman, "Kuat Tekan Material Dari Bahan Komposit Diperkuat Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)," *J. Mekanova*, vol. 3, no. 5, pp. 128–136, 2017, [Online]. Available: <http://180.250.41.45/jmekanova/article/view/861>
- [3] I. Mawardi, S. Rizal, S. Aprilia, and M. Faisal, "Kajian stabilitas termal bahan baku material insulasi panas berbasis serat alam," *J. Polimesin*, vol. 19, no. 1, pp. 16–21, 2021, [Online]. Available: <http://ejournal.pnl.ac.id/polimesin/article/view/2007>
- [4] I. J. Hutabarat and T. Satriadi, "Sifat Mekanika Papan Partikel Dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) Dan Sabut Kelapa (*Cocos nucifera* , L .)," *J. Sylva Sci.*, vol. 04, no. 6, pp. 1102–1109, 2021.
- [5] D. Ratnasari, N. Kasanah, and R. P. Zain, "GLOWOOD: Produk Hiasan Souvenir Wood Print Berpendar Dari Limbah Kayu Mebel," in *Proceedings National conference PKM Center Sebelas Maret University*, 2020.
- [6] A. Khalid et al., "Intrinsic fluorescence from cellulose nanofibers and nanoparticles at cell friendly wavelengths," *APL Photonics*, vol. 4, no. 2, 2019, doi: 10.1063/1.5079883.
- [7] I. Kresnawaty, S. M. Putra, A. Budiani, and T. Darmono, "Conversion of Oil Palm Empty Fruit Bunches (OPEFB) Into Bio Charcoal and Liquid Smoke," *J. Penelit. Pascapanen Pertan.*, vol. 14, no. 3, p. 171, 2018.

- [8] W. Li, S. T. Buschhorn, K. Schulte, and W. Bauhofer, "The imaging mechanism, imaging depth, and parameters influencing the visibility of carbon nanotubes in a polymer matrix using an SEM," *Carbon N. Y.*, vol. 49, no. 6, pp. 1955–1964, 2011, doi: 10.1016/j.carbon.2010.12.069.
- [9] M. Azissyukhron and S. Hidayat, "Perbandingan Kekuatan Material Hasil Metode Hand Lay-up dan Metode Vacuum Bag Pada Material Sandwich Composite," in *Proceedings of 9th Industrial Research Workshop And National Seminar*, 2020, vol. 9, pp. 1–5.
- [10] N. Utari, Tamrin, and S. Triyono, "the Study of Physical Characteristics of Granular Organic Fertilizer With Two Adhesives," *J. Tek. Pertan.*, vol. 3, no. 3, pp. 267–274, 2015, [Online]. Available: <http://jurnal.fp.unila.ac.id/index.php/JTP/article/viewFile/666/608>
- [11] R. Siswanto, M. I. Arsyad, and R. A. Wicaksono, "Studi Karakteristik Terhadap Uji Impact Dan Bending Komposit Tandan Kosong Kelapa Sawit-Polyester Dengan Perlakuan Alkali Dan Hidrogen Peroksida," *J. Teknol. Rekayasa Tek. Mesin*, vol. 2, no. 2, pp. 129–134, 2021.
- [12] F. Sa'bandi, S. Aini, U. K. Nizar, and M. Khair, "Pembuatan dan Karakterisasi Karbon aktif dari Pelepah Kelapa Sawit dengan Aktivasi Ultrasonik sebagai Adsorben Rhodamin B," *J. Period.*, vol. 10, no. 2, p. 59, 2021, doi: 10.24036/p.v10i2.112417.
- [13] A. P. K. Wardani and D. Widiawati, "Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Material Tekstil dengan Pewarna Alam untuk Produk Kriya," *J. Tingkat Sarj. Bid. Senirupa dan Desain*, vol. 3, no. 1, pp. 1–10, 2014.
- [14] M. A. Abdullah, M. S. Nazir, M. R. Raza, B. A. Wahjoedi, and A. W. Yussof, "Autoclave and ultrasonic treatments of oil palm empty fruit bunch fibers for cellulose extraction and its polypropylene composite properties," *J. Clean. Prod.*, vol. 126, pp. 686–697, 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.03.107.
- [15] Sunardi, M. Fawaid, and M. Chumaidi, "Pemanfaatan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Penguat Papan Partikel Dengan Variasi Fraksi Volume Serat," *J. Tek. Mesin*, vol. 2, no. 1, pp. 36–39, 2016.
- [16] Nuryati and I. Prasetyo, "Pembuatan Resin Phenol Formaldehyde Sebagai Prekursor Untuk Preparasi Karbon Berpori," *J. Rekayasa Proses*, vol. 5, no. 1, p. 30, 2011.
- [17] R. Damaru, A. Novaringga, and ..., "Resin Composite Synthesis Reinforced with Banana Tree Fiber with Carboxylic Silica (SiO₂-COOH) Addition as a Nanofiller," *J. Chem. Sci.*, vol. 10, no. 1, pp. 21–26, 2021, [Online]. Available: <https://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs/article/view/46125>
- [18] E. Kurniawan, R. Mulyawan, A. Tri Agusna PA, W. Armadani, and Z. Ginting, "Synthesis of Cellulose Stearate Ester as Wet Strength Agent for Synthesis of Bio-polybag from Oil Palm Empty Fruit Bunch," *Int. J. Eng. Sci. Inf. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–7, 2021, doi: 10.52088/ijesty.v2i2.227.
- [19] M. Yusof, J. Lamaming, R. Hashim, M. F. Yhaya, O. Sulaiman, and M. E. Selamat, "Flame retardancy of particleboards made from oil palm trunk-poly(vinyl) alcohol with citric acid and calcium carbonate as additives," *Constr. Build. Mater.*, vol. 263, p. 120906, 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120906.
- [20] R. Karima, E. Yuanita, B. Amalia, A. Arianita, T. Mailisa, and B. Nugroho, "Sintesis Micro-Fibrillated Cellulose dari Serat Tandan Kosong Sawit dengan Hidrolisis Asam Oksalat," *J. Selulosa*, vol. 10, no. 01, p. 1, 2020, doi: 10.25269/jsel.v10i01.281.
- [21] A. K. M. M. Alam, M. D. H. Beg, D. M. R. Prasad, M. R. Khan, and M. F. Mina, "Structures and performances of simultaneous ultrasound and alkali treated oil palm empty fruit bunch fiber reinforced poly (lactic acid) composites," *Composites*, vol. 43, no. 11, pp. 1921–1929, 2012, doi: 10.1016/j.compositesa.2012.06.012.
- [22] G. S. Ahmed, M. Gilbert, S. Mainprize, and M. Rogerson, "FTIR analysis of silane grafted high density polyethylene," *Plast. Rubber Compos.*, vol. 38, no. 1, pp. 13–20, Feb. 2009, doi: 10.1179/174328909X387711.
- [23] S. Savetlana and A. Andriyanto, "Sifat-Sifat Mekanik Komposit Serat TKKS-Poliester," *Mechanical*, vol. 3, no. 1, pp. 45–50, 2012.
- [24] T. Berrehail, N. Zemmouri, and B. Agoudjil, "Thermal conductivity of cement stabilized earth bricks reinforced with date palm fiber," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1968, no. 1, 2018, doi: 10.1063/1.5039223.
- [25] A. Miftahatul and T. Permata, "Analisis Konduktivitas Panas Dan Material Alternatif Sebagai

- Insulasi Dinding Ruang Akomodasi Kapal Berbasis Limbah Ampas Tebu dan Sebuk Kayu," *J. Online Phys.*, vol. 5, no. 2, pp. 17–21, 2020.
- [26] H. P. S. Abdul Khalil, M. R. Nurul Fazita, A. H. Bhat, M. Jawaid, and N. A. Nik Fuad, "Development and material properties of new hybrid plywood from oil palm biomass," *Mater. Des.*, vol. 31, no. 1, pp. 417–424, 2010, doi: 10.1016/j.matdes.2009.05.040.
- [27] M. Jawaid, H. P. S. Abdul Khalil, and A. Abu Bakar, "Mechanical performance of oil palm empty fruit bunches/jute fibres reinforced epoxy hybrid composites," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 527, no. 29–30, pp. 7944–7949, 2010, doi: 10.1016/j.msea.2010.09.005.
- [28] L. Wardani, M. Y. Massijaya, and M. F. Machdie, "Pemanfaatan Limbah Batang Kelapa Sawit dan Plastik Daur Ulang sebagai Bahan Baku Papan Plastik Komposit," *J. hutan Trop.*, vol. 10, pp. 51–59, 2012.
- [29] M. Hasan, A. Rahmadi, and H. Arryati, "Sifat Fisis Dan Mekanis Papan Komposit Dari Serat Batang Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) Dengan Berbagai Komposisi Perekat PVAC," *J. Sylva Sci.*, vol. 4, no. 3, p. 460, 2021, doi: 10.20527/jss.v4i3.3746.