

Inovasi Material Komposit *Poliuretan* menggunakan (*ZnO:Nanoselulosa* dari Serat Tandan Kosong Buah Kelapa Sawit) Sebagai Penguat Absorpsi Suara dan Insulasi Termal

Sunaryo^{1*}, Ahmad Kafrawi Nasution¹, Israyandi², Puji Nurrahmawati¹, Gerhana Wulandari¹, Muhammad Farhan¹, Ibnu Zaki Ilhami¹, Agung Laksono Yudho¹

¹ Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Riau,

² Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Riau,
Jl. Tuanku Tambusai Tampar Kota Pekanbaru Riau 28124, Indonesia

*Corresponding author. sunaryo@umri.ac.id

Abstract

Material innovation in the development of natural fibers continues to be developed. Indonesia, which has a lot of biodiversity and has great opportunities to explore the use of natural fiber materials. Oil palm empty fruit bunches (TKKS) have the characteristics of sound absorption and thermal insulation material. This study carried out the biosynthesis of ZnO nanoparticles on nanocellulose from empty palm oil fruit bunches to be used as a composite material. This composite material will later be used as a sound and heat absorber for innovation in the automotive world with complaints of sound and heat which very often disturb drivers. The steps in this study were to characterize the mass fraction of nanocellulose and the addition of ZnO from the TKKS fiber used was 5% and the 10% fraction of composites with polyurethane was 15%. The tests carried out in this study were the sound absorption coefficient test, SEM test, density test and thermal conductivity test. The output targeted in this research is to utilize TKKS fiber as a new material innovation material for automotive interiors in terms of sound insulation and thermal insulation

Keywords: composite materials; polyurethane; sound absorption; thermal insulation; ZnO

Abstrak

Inovasi material pada pengembangan serat alam terus dikembangkan. Indonesia yang memiliki keanekaragaman hayati yang sangat banyak dan memiliki peluang yang besar untuk mengeksplorasi pemanfaatan material serat alam. Serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) memiliki karakteristik penyerapan suara dan material insulasi termal. Penelitian ini melakukan biosintesis nanopartikel ZnO pada nanoselulosa dari serat tandan kosong kelapa sawit untuk dijadikan material komposit. Material komposit ini nantinya digunakan sebagai pengabsorpsi suara dan panas untuk inovasi dalam dunia otomotif dengan keluhan kebisingan dan panas yang seringkali mengganggu pengemudi. Tahapan pada penelitian ini dengan mengkarakterisasi fraksi massa dari nanoselulosa dan penambahan ZnO dari serat TKKS yang digunakan adalah 5% dan 10% fraksi komposit dengan poliuretan adalah 15%. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah Uji koefisien Absorpsi suara, Uji SEM, Uji Densitas dan Uji Konduktivitas Termal. Serta luaran yang ditargetkan dalam penelitian ini adalah memanfaatkan serat TKKS sebagai material inovasi material baru untuk interior otomotif dalam hal insulasi suara dan insulasi termal.

Kata kunci: absorpsi suara; insulasi termal; material komposit; poliuretan; ZnO

1. Pendahuluan

Inovasi dalam bidang material pada pengembangan serat alam terus dikembangkan. Indonesia memberikan peluang yang sangat besar untuk mengeksplorasi pemanfaatan material serat alam karena keanekaragaman hayatinya yang luas. Kelebihan serat alam yaitu kandungannya melimpah di alam, ramah lingkungan, memiliki sifat fisik yang bagus, dan biaya produksi yang lebih rendah. Serat

alam kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) merupakan salah satu produk dengan produksi terbesar di Indonesia.

Menurut informasi dari Kementerian Pertanian, produksi kelapa sawit pada tahun 2015 mencapai 3,679.00 kg/Ha, dengan produktivitas yaitu sebesar 31,284,306.00 ton ([1]. Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) adalah kumpulan serat yang tersisa setelah buah dikeluarkan dari tandan buah segar yang telah disterilkan. Sedangkan

serat TKKS memiliki kelebihan yang sudah diketahui masyarakat umum yakni murah, dapat terdekomposisi, tidak beracun, dan merupakan serat alami yang dapat digunakan secara luas. Disamping itu juga serat TKKS merupakan material alami yang mengandung filament yang tebal dan kasar. Oleh karena itu, serat TKKS lebih efisien daripada material industri yang tidak terbarukan, tetapi juga lebih mahal untuk pembuatan skala kecil dan berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan.

Berbagai penelitian telah dilakukan diseluruh dunia mengenai penggunaan serat alam sebagai material penyerap suara seperti dari serat kayu, bambu, rami, serat kelapa, dan serat kurma. Serat TKKS memiliki potensi yang kuat untuk digunakan sebagai bahan dasar bahan penyerap suara menggantikan bahan sintetis karena sifat penyerapan suara yang baik [2]. Sedangkan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) memiliki morfologi permukaan yang kasar dengan diameter sekitar 345- 365 μm dan pori-pori yang memudahkan sistem penyerapan suara [1]. Disamping itu bahwa TKKS dapat juga digunakan sebagai material insulasi termal karena memenuhi kisaran material insulasi yaitu 0,0052W/mK-0,13W/mK. [3]

Kajian kenyamanan berkendara belum banyak dilakukan, khususnya kajian terhadap material yang dapat menyerap suara dan pengahambat panas. Inovasi material ini dapat mengurangi kebisingan dan menghambat panas dari lalu lintas di luar kendaraan. Tekanan bunyi 80-100 dB adalah kebisingan yang disebabkan oleh lalu lintas [4] dan ini melebihi batas maksimal suara pada kendaraan roda empat berdasarkan PerMen LH no.07 tahun 2009 [5]

Oleh karena itu, untuk membuat material komposit, nanopartikel ZnO dan nanoselulosa di biosintesis dari serat tandan kosong kelapa sawit. Material komposit ini nantinya digunakan sebagai pengabsorpsi suara dan panas untuk inovasi dalam dunia otomotif yang sangat sering mengganggu

pengemudi dengan keluhan suara dan panas..

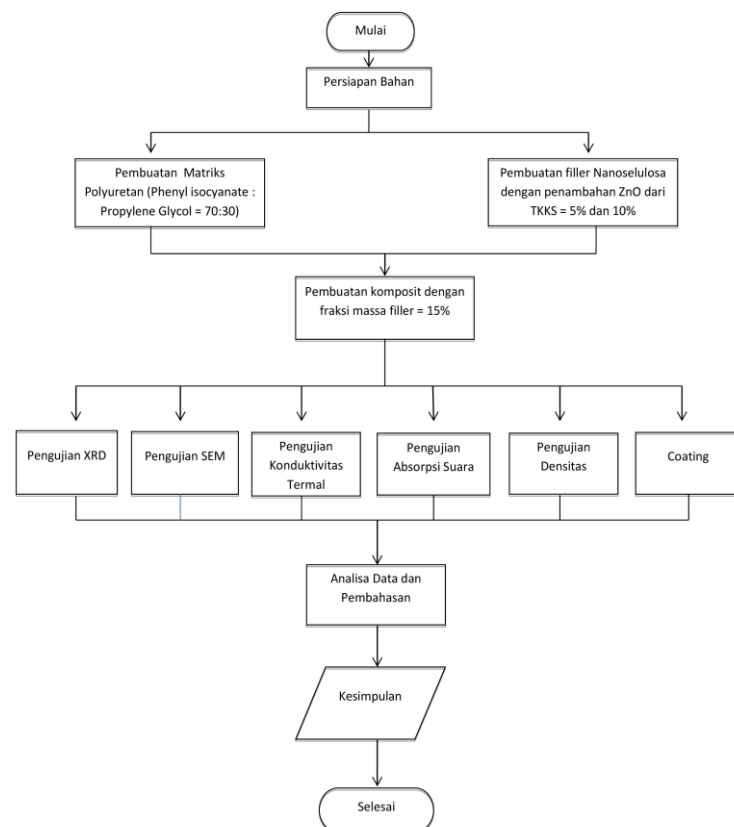
2. Metode Penelitian

2.1 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tandan kosong kelapa sawit, H_2SO_4 (merch, 98%), NaOH , H_2O_2 , PU A dan PU B, Air Destilasi, dan Zinc Nitrate Heksahidrate (ZNH).

2.2 Metode

Dalam penelitian ini mengikuti alur sebagaimana pada Gambar 1 dibawah ini yang diawali dengan mulai kemudian persiapan bahan hingga pengujian sampel dengan mengikuti standar yang ada sehingga didapatkan hasil yang direncanakan dan terakhir proses sellesai.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.2.1 Pengolahan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit

Pertama keringkan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sekitar ± 1 hari. Serat TKKS kemudian dicuci dan dibiarkan kering selama 12 jam dalam oven 60°C .

serat tersebut kemudian di-meshing dengan ayakan menjadi ukuran seragam hingga 280 mikron. Setelah itu lakukan alkalisasi serat TKKS dengan 2% NaOH, dan bleaching dengan 4% NaOH dan 7.2%. H₂O₂. Kemudian hasil rendaman dicuci dengan air sampai pH netral dan terbentuk serat mikroselulosa. Selanjutnya dengan menggunakan metode waterbath dan H₂SO₄ 64% pada temperatur 40°C, serat mikroselulosa dihidrolisis. Kemudian larutkan H₂SO₄ dalam air hingga 10 kali lebih banyak. Kemudian centrifuge selama 15 menit pada 5000 rpm. Selanjutnya cuci dengan NaOH sampai pH netral dan keringkan pada 55°C [6].

2.2.2 Pengolahan Matriks dan Penambahan Seng Oksida (ZnO)

Timbang massa *Polyisocyanate* dan *Polyol Compound* dalam pengolahan matriks sesuai dengan rasio yang telah ditetapkan [6] kemudian timbang massa nanoselulosa dan ZnO sesuai fraksi yang telah ditentukan. Masukkan nanoselulosa kedalam mortal dan tambahkan ZnO kemudian digerus sampai homogen. Tuang nanoselulosa dan ZnO yang sudah digerus kedalam cetakan dan masukkan *polyisocyanate* kemudian diaduk sampai merata. Tuang *Polyol Compound* kedalam cetakan dan aduk sampai pencampurannya merata dan warnanya menjadi terang.

2.2.3 Pembuatan Cetakan

Cetakan terbuat dari kaca untuk uji absorpsi suara dan insulasi termal dengan alas pipa dengan diameter 10 cm dan tinggi 30 cm. Dan ukuran cetakan uji SEM adalah 10x10x10 mm.

2.2.4 Pembuatan Komposit

Sesuai dengan rasio yang telah ditetapkan timbang massa *Polyisocyanate* dan *Polyol Compound* [6]. Tuang nanoselulosa dan ZnO yang sudah digerus kedalam cetakan dan masukkan *Polyisocyanate* kemudian diaduk sampai merata. Setelah itu, tuang *Polyol Compound* ke dalam cetakan dan aduk sampai pencampurannya merata dan warnanya menjadi terang. Kemudian diamkan kurang

lebih 30 menit. Keluarkan spesimen dari cetakan lalu sesuaikan ukuran spesimen dengan standar pengujian.

2.2.5 Proses Pengujian

Proses pengujian sampel adalah Uji Koefisien Absorpsi Suara, Uji SEM, Uji Densitas, dan Uji Konduktivitas Termal. Uji Koefisien Absorpsi Suara menggunakan menggunakan metode yang mengacu pada ASTM E413 yaitu menggunakan metode ruang gema.

Untuk mengetahui morfologi, pori serta ukuran partikel material dilakukan uji SEM. Standar yang digunakan adalah ASTM E986. Specimen uji berbentuk balok kecil dengan ukuran 10x10x3 mm. Uji Densitas untuk mengetahui besarnya densitas dari spesimen. Spesifikasinya adalah ASTM D792. Sedangkan untuk mengetahui peristiwa perpindahan panas konduksi dilakukan Uji Konduktivitas Termal.

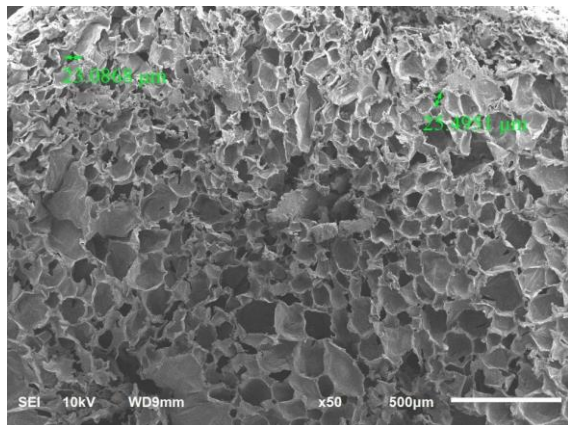
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian SEM Komposit

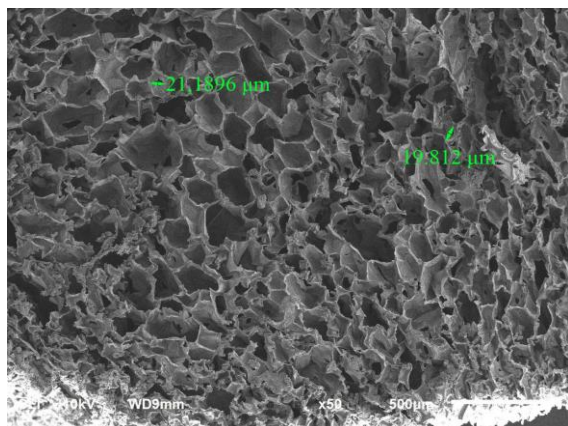
Uji SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi sampel komposit saat sesudah ditambahkan filler nanoselulosa dan penambahan ZnO dengan menggunakan variabel 5% (fraksi massa 5%) dan 10% (fraksi massa 10%).

Terlihat pada analisa SEM komposit dengan persentase massa 5% (pada Gambar 2.a) menunjukkan permukaan yang kasar. Morfologi kasar ini terjadi karena adanya lapisan lilin, zat lemak, dan kontaminan [1]. Silika menempel pada permukaan dan beberapa menutup pori, hal ini ditunjukkan oleh Gambar 2.a. diketahui bahwa pori terbentuk sekitar 23.0-25.4 μ m Sedangkan ketika persentase massa 10% (Gambar 2.b) nanoselulosa dan ZnO, muncul pori baru yang berukuran kecil sekitar 21.1-19.8 μ m. Pori-pori memiliki peran dalam proses menyerap suara. Disipasi energi akustik menjadi panas inilah yang menyebabkan penyerapan suara. Partikel udara dalam zat berpori bergetar ketika gelombang suara menembus medium. Partikel yang bergetar kemudian menyapu dinding pori, mengubah

temperatur. Energi akustik dapat diubah menjadi energi panas melalui konduksi termal material [1]. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Rahmasita, farid dan ardhyananta, 2017 yaitu penambahan serat nanoselulosa menunjukkan permukaan yang kasar serta terdapat pori-pori yang memudahkan proses penyerapan suara. Sehingga penambahan komposit serat nanoselulosa dan ZnO dapat menjadi material penyerap suara yang cukup baik.



(a)



(b)

Gambar 2. Analisa SEM (a) komposit dengan fraksi massa 5% (b) komposit dengan fraksi massa 10%

Bahan peredam suara umumnya mengandung banyak pori-pori kecil. Apabila gelombang suara masuk kedalamnya maka suara akan melemah karena energi yang dibawa gelombang suara diubah menjadi panas yang disebabkan oleh bergeseknya udara dalam pori-pori tersebut

dengan gelombang suara yang masuk [7]. Banyaknya pori pada sampel akan memudahkan gelombang bunyi untuk masuk. Sehingga nilai koefisien absorpsi yang dihasilkan akan lebih baik dalam menyerap suara [8].

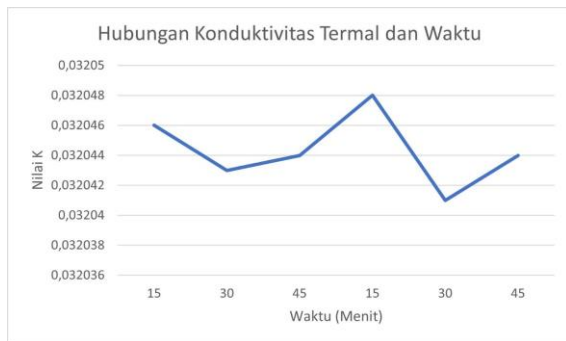
3.2 Hasil Pengujian Konduktivitas Termal

Tabel dibawah ini menunjukkan hasil uji konduktivitas termal dari komposit poliuretan berpenget ZnO;Nanoselulosa.

Tabel 1. Data hasil pengujian konduktivitas termal

Perse n-tase Serat	wakt u (me-nit)	Tem -	Tem -	Nilai K	Nilai K rata-rata
		pera-tur T1	pera-tur T2		
5%	15	55	29	0.0320	0.03204
	30	65	29	46	
	45	70	29	43	
10%	15	55	29	0.0320	0.03204
	30	65	29	48	
	45	70	29	41	
				0.0320	44

Konduktivitas panas adalah kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan panas (termal) [9]. Berdasarkan pengolahan data untuk setiap benda uji diperoleh nilai konduktivitas termal rata-rata. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa nilai konduktivitas termal untuk masing-masing variasi komposisi dengan fraksi massa filler yaitu 5% dan 10%. Hasil nilai konduktivitas termal tersebut dapat diGambarkan dalam bentuk grafik hubungan antara hasil konduktivitas termal dengan nilai standar busa (*foam*) yaitu sebagai berikut :



Gambar 3. Grafik hubungan nilai konduktivitas termal dengan waktu

Berdasarkan grafik di atas nilai konduktivitas termal berada dalam kisaran 0.03 W/mK. Sedangkan *rigid foam* atau busa memiliki konduktivitas termal sekitar 0.02-0.06 W/mK. Beberapa acuan tentang nilai standar konduktivitas termal polyurethane dapat disebutkan antara lain $k = 0,023$, $k = 0,026$ dan semua komposit yang diuji sudah memenuhi standar. [10]. Konduktivitas termal merupakan suatu nilai konstanta dari suatu bahan yang menunjukkan kemampuan untuk mentransfer kalor dan dapat memberikan keterangan ketahanan panas dari suatu benda. Nilai konduktivitas termal menunjukkan seberapa cepat kalor mengalir dalam bahan tertentu serta memahami fenomena-fenomena yang terjadi dalam perpindahan panas konduksi. Material yang memiliki konduktivitas termal rendah dapat disebut dengan isolator yang baik [11]

Berdasarkan data pada tabel diatas menunjukkan nilai K mengalami penurunan dan nilai konduktivitas termal semakin turun ketika lebih banyak fraksi massa ditambahkan. Dengan fraksi massa filler nanoselulosa dan ZnO 5% dan 10% dapat disimpulkan bahwa nilai konduktivitas termalnya rendah yaitu 0.032044 W/mK. Hal ini dapat dijelaskan menurut [12] bahwa konduktivitas termal komposit poliester berpenguat nanoselulosa menurun dengan penambahan filler. Filler serat alam yang memiliki nilai konduktivitas termal yang rendah menjadi penyebab turunnya nilai konduktivitas termal. [12]. Selain itu, serat alam juga memiliki bentuk silinder

berongga yang mencegah terjadinya perpindahan panas pada material komposit [13] hal ini membuktikan bahwa dengan penambahan filler kualitas material akan memiliki sifat insulator termal yang lebih baik [13]

3.3 Hasil Pengujian Densitas

Pengujian dilakukan menggunakan standar ASTM D792. Dengan mengukur massa dan volume dari komposit.

Tabel 2. Data hasil uji densitas

Fraksi Massa	Densitas rata-rata (gr/cm ²)
5%	0,7703125
10%	0,7744435

Tabel 2 menunjukkan data densitas pada komposit. Densitas komposit dengan fraksi massa 5% sebesar 0,7703125 gr/cm², Komposit dengan fraksi massa 10% sebesar 0,7744435 gr/cm². Berdasarkan tabel di atas, dapat dilihat densitas tertinggi ke rendah adalah saat fraksi massa 10%. Sedangkan berdasarkan morfologi dengan redaman suara fraksi massa 5% adalah 28,91 %, fraksi massa 10% adalah 66,5 %.

Ketika koefisien absorpsi suara naik, densitas spesimen rendah sementara jumlah porinya bertambah, Hal ini sesuai dengan hasil morfologi densitas komposit dengan penambahan nanoselulosa dan ZnO. Ini juga terkait dengan jumlah pori-pori yang banyak. Nilai absorpsi suara akan meningkat seiring dengan meningkatnya porositas komposit [14] Hasilnya, fraksi massa 10% memiliki koefisien penyerapan suara maksimum, sebesar 36 dB, karena densitasnya yang rendah dan jumlah porinya yang banyak (seperti yang ditunjukkan oleh data SEM).

3.4 Hasil Pengujian Absorpsi Suara

Uji sifat absorpsi suara dilakukan dengan pengukuran *sound transmission loss* (STL) yaitu kemampuan suatu bahan dalam mereduksi suara yang ditransmisikan ke luar ruangan. Semakin tinggi nilai *sound transmission loss* (TL), semakin bagus

bahan tersebut dalam mereduksi suara. *Transmission loss* (TL) diukur dalam satuan dB (desibel) [15]. Sedangkan *Sound Transmission class* (STC) mengukur kapasitas rata-rata suatu material untuk mereduksi suara pada frekuensi yang berbeda mulai dari 125 Hz sampai 4000 Hz. Semakin tinggi nilai STC, semakin bagus bahan tersebut dalam mereduksi suara. Nilai STC ditetapkan berdasarkan baku mutu standar ASTM E 413 tentang *Classification for Rating Sound Insulation* [16].

Berdasarkan pengukuran *Transmission Loss* pada spesimen uji fraksi massa 5% dan 10% didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut :

Tabel 3. TL Spesimen fraksi massa 5%

Frekuensi (Hz)	Transmission Loss (dB)
125	20
160	16
200	-6
250	0
315	1
400	12
500	15
630	7
800	4
1000	19
1250	8
1600	15
2000	21
2500	26
3150	13
4000	25

Berdasarkan data diatas dapat diketahui bahwa nilai koefisien absorpsi suara berfluktuasi antara 125 Hz dan 3150 Hz, dengan nilai koefisien suara yang tinggi untuk setiap fraksi massa 5% dan 10%. Ini dikarenakan pada frekuensi rendah terjadi penyerapan bunyi yang besar, berbeda dengan frekuensi tinggi gelombang bunyi akan menyebar (dipantulkan dan ditransmisikan). Ketika terjadi penyerapan yang besar, energi bunyi yang dipantulkan lebih sedikit sehingga nilai koefisien

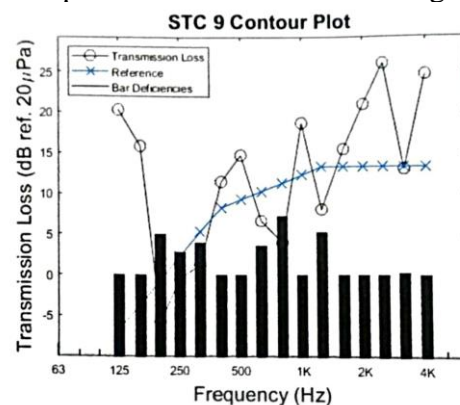
absorpsi bunyi tinggi dan nilai impedansi akustik juga tinggi [17].

Tabel 4. TL Spesimen fraksi massa 10%

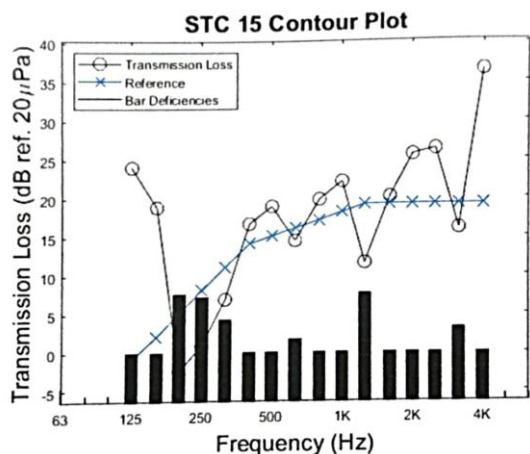
Frekuensi (Hz)	Transmission Loss (dB)
125	24
160	19
200	-2
250	1
315	7
400	17
500	19
630	14
800	20
1000	22
1250	12
1600	20
2000	25
2500	26
3150	16
4000	36

Tabel 3 pada fraksi massa 5% terlihat nilai koefisien absorpsi yang tinggi pada frekuensi 4000 Hz, didapatkan harga TL 25 dB, Sedangkan pada tabel 4 fraksi massa 10% juga dapat dilihat bahwa pada frekuensi 4000 Hz memiliki nilai TL yang tinggi yaitu 36 dB, Nilai TL meningkat dengan meningkatnya komposisi perekat komposit berfiller Nonoselulosa:ZnO yang memiliki nilai yang cukup baik.

Data nilai TL dapat digunakan untuk menentukan STC. STC untuk STC-25 dapat dihitung dengan membandingkannya dengan nilai TL yang diperoleh. Berikut adalah plot data STC dalam bentuk grafik.



Gambar 4. Grafik TL fraksi massa 5%



Gambar 5. Grafik TL fraksi massa 10%

Nilai koefisien absorpsi suara dapat dilihat pada grafik di atas. Hasil grafik menunjukkan bahwa komposit dengan fraksi massa 5% yang diikuti dengan penambahan fraksi massa 10% memiliki koefisien serapan bunyi tertinggi pada frekuensi tinggi, yaitu antara 1600 dan 4000 Hz. Grafik tersebut menunjukkan bahwa karakteristik penyerapan suara dari komposit poliuretan yang diperkuat nanoselulosa ZnO mengalami tren yang meningkat seiring dengan meningkatnya frekuensi pengujian. Dimana ciri-ciri sifat material tersebut mirip dengan material penyerap berpori (*porous absorber*), yaitu dapat menyerap suara lebih baik saat frekuensi naik hal ini disebabkan karena bertambahnya pori pada nanoselulosa. Hal ini sama dengan penelitian yang dilakukan oleh [6] yang menemukan nanoselulosa sebagai penstabil pori. Dari Gambar grafik menunjukkan bahwa nilai koefisien absorpsi suara menurun pada frekuensi 1000 Hz sebelum meningkat lagi. Jayamani, Hamdan dan Suid menemukan hasil penelitian yang serupa yaitu bahwa penurunan dan peningkatan ini dapat disebabkan oleh sifat atau karakteristik benda uji itu sendiri dalam memantulkan suara karena koefisien absorpsi suara bergantung pada bahan dan frekuensi suara yang bersentuhan dengan permukaan spesimen [18].

Berdasarkan data pada pengujian TL pada spesimen didapatkan hasil nilai STC untuk fraksi massa 5% dan 10%, berturut-turut adalah 9 dan 15 berdasarkan ASTM

Standart E413. Umumnya nilai STC bahan penyerap suara berkisar antara 6 sampai 16. Semakin baik suatu bahan digunakan untuk insulasi suara, maka semakin tinggi nilai STC nya. Material yang memiliki STC lebih dari 10 dapat digunakan sebagai material penghalang kebisingan.

Penjelasan di atas mengarah pada kesimpulan bahwa material komposit dengan nanoselulosa;ZnO dari serat TKKS dapat berperan sebagai peredam suara yang baik pada frekuensi tinggi yaitu pada frekuensi 4000 Hz. Dengan meningkatnya fraksi massa ZnO dalam nanoselulosa dari serat TKKS, penyerapan suara meningkat. Dengan nilai penyerapan 36 dB pada 4000 Hz, sampel dengan komposisi 10% menunjukkan penyerapan suara terbaik. Trend penyerapan ini mendekati konsisten pada frekuensi tinggi. Sehingga material pada penelitian ini dapat dikategorikan sebagai bahan penyerap bunyi

4. Kesimpulan

Dapat disimpulkan bahwa penambahan fraksi massa 10% ZnO:nanoselulosa dari serat TKKS memiliki stabilitas termal terbaik, nilai konduktivitas termal terendah sebesar 0,032044, dan koefisien penyerapan suara tertinggi sebesar 36 dB..

Ucapan terimakasih

Terimakasih kepada majelis tinggi penelitian dan pengembangan (Diktilitbang) pimpinan pusat Muhammadiyah yang telah mendanai keberlangsungan jurnal ini..

Referensi

- [1] M. E. Rahmasita, M. Farid, and H. Ardhyanta, "Analisa Morfologi Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Bahan Penguat Komposit Absorpsi Suara," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, 2017.
- [2] samsudin, "samsudin.pdf."
- [3] H. Kaban, "Penentuan Konduktivitas termal pada tandan kosong kelapa

- sawit sebagai insulasi termal,” *Jurnal Penelitian Sain*, vol. 10, no. 1. pp. 115–120, 2007.
- [4] Christina E. Mediastika, “Potensi Jerami Padi Sebagai Bahan Baku Panel Akustik,” *Dimens. (Jurnal Tek. Arsitektur)*, vol. 35, no. 2, pp. 183–189, 2007, [Online]. Available: <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/ars/article/view/16749>
- [5] D. L. Fay, “Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.56/MENLHK/SETJEN/KUM.1/10/2019,” *Angew. Chemie Int. Ed.* 6(11), 951–952., p. 25, 1967.
- [6] Jonathan and Farid, “Pengaruh Penambahan Nanoselulosa Dari Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Pada Komposit Poliurethane Untuk Insulasi Thermal dan Absorpsi Suara Pada Interior Mobil,” *J. ITS*, p. 110, 2017.
- [7] A. Yuniari, “Pengaruh teknik dan waktu pencampuran pada pembuatan lembaran cocodust berkaret untuk bahan peredam suara,” *Jurnal Majalah Kulit, Karet, dan Plastik*, vol. 25, no. 1. p. 7, 2009.
- [8] I. Safitri, A. A. Setiawan, and P. Lumbantoruan, “Pembuatan Komposit Sebagai Peredam Bunyi,” *J. Penelit. Fis. dan Ter.*, vol. 2, no. 2, p. 66, 2021.
- [9] H. Ali and Tarkono, “Pemanfaatan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (Tkks) Dalam Produksi Eternit Yang Ramah Lingkungan,” *J. Sains Teknol. Lingkung.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2015.
- [10] W. Amiruddin, B. H. Iskandar, B. Murdiyanto, and M. S. Baskoro, “Efisiensi Perubahan Kerapatan Material Polyurethane Terhadap Laju Penetrasi Panas Pada Palka Kapal Ikan Tradisional,” *J. kapal*, vol. 11, no. 2, pp. 93–98, 2014.
- [11] R. . Setiawan, D. . Laksana, and H. Sutjahjono, “Pengaruh Variasi Ukuran Partikel Kopi Terhadap Nilai Konduktivitas Termal Komposit Dengan Matrik Polyester Eterset 2504 APT,” *J. rotor*, vol. 9, no. April, p. 55, 2016.
- [12] S. N. Monteiro, V. Calado, R. J. S. Rodriguez, and F. M. Margem, “Thermogravimetric behavior of natural fibers reinforced polymer composites-An overview,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 557, no. July 2016, pp. 17–28, 2012.
- [13] J. R. Aseer and S. R. Elsen, “Comprehensive Review on Water Absorption and Thermal Properties Evaluation of Plant Fibers Reinforced Composites,” *J. Think India*, vol. 22, no. 16, pp. 4160–4165, 2019.
- [14] A. Nandanwar, M. C. Kiran, and K. C. Varadarajulu, “Influence of Density on Sound Absorption Coefficient of Fibre Board,” *Open J. Acoust.*, vol. 07, no. 01, pp. 1–9, 2017.
- [15] Lindawati, “Karakteristik Akustik Panel Serat Aren Dengan Bahan Perekat Latex,” *J. Inotera*, vol. 2, no. 1, 2017.
- [16] M. I. Alim, Maslahah, and D. Anggoro, “Pengukuran Transmission Loss(TL)dan Sound Transmission Class(STC)pada Suatu Sampel Uji,” *Dep. Fis. Fak. Ilmu Alam, Inst. Teknol. Sepuluh Nop.*, no. 1115100004, pp. 1–5, 2017.
- [17] Y. Rezita, E. Elvaswer, and R. Rasyid, “Koefisien Absorpsi Bunyi dan Impedansi Akustik dari Ampas Singkong (Manihot esculenta) dengan Menggunakan Metode Tabung,” *J. Fis. Unand*, vol. 8, no. 2, pp. 146–150, 2019.
- [18] E. Jayamani, S. Hamdan, and N. B. Suid, “Experimental determination of sound absorption coefficients of four types of Malaysian wood,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 315, pp. 577–581, 2013.