

Karakterisasi Koefisien Absorpsi Bunyi dan Impedansi Akustik Komposit Serat Pelepah Sawit dengan Perak Gtuh Pinus pada Berbagai Variasi Komposisi

Characterization of Sound Absorption Coefficient and Acoustic Impedance of Palm Frond Fiber Composites with Pine Resin on Various Composition Variations

Putri Pratiwi^{1,*}, Asmara Yanto¹

¹ Department of Mechanical Engineering, Institut Teknologi Padang
Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo, Padang, Indonesia

[doi.10.21063/JTM.2023.v13.i1.6-12](https://doi.org/10.21063/JTM.2023.v13.i1.6-12)

*Correspondence should be addressed to pratiwi009@yahoo.com

Copyright © 2023 P. Pratiwi & A. Yanto. This is an open access article distributed under the [CC BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Article Information

Received:

February 13, 2023

Revised:

March 15, 2023

Accepted:

April 15, 2023

Published:

April 30, 2023

Abstract

This research aims to investigate the ability of sound absorption coefficient and the acoustic impedance of Palm Frond Fiber Composites using the one-microphone impedance tube method. We used Palm Frond Fibers as a filler and pine resin as an alternative adhesive of composite with a volume fraction of 50%: 50%, 60%: 40%, 70%: 30%, 80%: 20%, and 90%: 10%. The sound absorption coefficient and acoustic impedance of composites were studied at 500, 1000 Hz, 1500 Hz, 2000 Hz, and 2500 Hz frequency. The results showed that the highest sound absorption coefficient was found in 1500 Hz frequency and using volume fraction 70%:10%. The highest acoustic impedance response was found in composite with a fiber composition of 90% and at the test frequency with a range of 500 Hz -1500 Hz. The composition of the adhesive and fiber greatly affects the impedance value because it was related to the formation of pores in the composite. Based on ISO standard 11654:1997, the value of the sound absorption of sound waves was 0.15, and Palm Frond Fiber had a value above, so it had the potential used as sound absorption material.

Keywords: composite, palm frond fiber, acoustic properties, sound absorption coefficients, volume fraction.

1. Pendahuluan

Kebisingan merupakan suara atau bunyi yang tidak dikehendaki dan dapat mengganggu serta membahayakan kesehatan manusia [1]. World Health Organization (WHO) mengategorikan kebisingan atau polusi suara sebagai penyebab kedua buruknya lingkungan setelah polusi udara [2]. Kebisingan diatas 65 dB ditetapkan sebagai polusi suara oleh World Health Organization (WHO) dan terbukti dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan jika paparan pada tingkat tersebut diterima secara berlebihan dan

berkepanjangan [3]. Kekerasan bunyi pada rentang 35-65 dB diketahui hanya akan mengganggu selaput telinga dan menyebabkan kegelisahan. Bunyi pada rentang 65-90 dB dapat merusak lapisan vegetatif manusia (jantung, peredaran darah dan lainnya). Sementara, bila diatas 90 dB dan berlangsung dalam waktu yang lama akan dapat mengakibatkan kehilangan pendengaran sementara atau permanen [4].

Pengendalian kebisingan secara umum merujuk pada kegiatan perambatan bunyi yang melibatkan empat elemen, yaitu sumber suara (*sound source*), media, penerima bunyi

(receiver) dan gelombang bunyi [4]. Pengendalian kebisingan yang dapat dilakukan juga melibatkan elemen-elemen tersebut [5]. Pengendalian kebisingan yang dapat dilakukan dengan cara pembatasan sumber kebisingan, memodifikasi jalur sepanjang propagansi suara, dan perlakuan individual bagi penerima gelombang suara. Dari ketiga cara pengendalian yang telah dijelaskan diatas, memodifikasi jalur sepanjang propagansi suara merupakan metode yang paling efektif dan efisien karena praktis dan murah [6].

Salah satu alternatif pilihan dalam proses pengendalian kebisingan dengan metode ini adalah material berpori. Material berpori memiliki pori-pori yang akan menjadi jalur propagansi bunyi. Saat bunyi melewati jalur ini akan terjadi gesekan internal yang mengakibatkan energi berkurang dalam bentuk kehilangan panas (*thermal loss*) dan kehilangan viskos (*viscous loss*) [7]. Karakteristik ini menjadikan material ini sebagai bahan penyerap bunyi alternatif yang cocok dipalikasikan di berbagai sektor.

Saat ini, material penyerap bunyi telah tersedia secara komersil. Material tersebut dibagi menjadi dua kategori yaitu bahan penyerap bunyi resonan dan bahan penyerap bunyi berpori. Material resonan terdiri dari resonator Helmholtz tunggal, panel berlubang dan membran penyerap. Material berpori merupakan bahan yang memiliki sifat ringan, rentang kemampuan penyerapan yang baik dan frekuensi penyerapan yang luas [8].

Material ini menjadi salah satu struktur penting dalam desain struktural, *thermal shock*, dan penyerap suara karena keunggulan-keunggulan tersebut. Material berpori biasa diaplikasikan pada bahan akustik mobil, bahan akustik bangunan, panel laminasi untuk struktur *aerospace*, pencegah ledakan gas dan perlindungan lapisan baja [9].

Material berpori tradisional yang telah banyak dipakai untuk tujuan akustik yaitu glasswool dan rockwool. Namun, bahan ini memiliki kekurangan yaitu jejak karbon yang tinggi dan bahaya saat fabrikasi dan aplikasi berupa alergi dan gangguan pernafasan. Keterbatasan ini diikuti dengan ketatnya regulasi terkait, memotivasi peneliti di seluruh dunia untuk menghasilkan peredam suara baru yang berasal dari bahan alami [10].

Jute, kapuk, sabut merupakan bahan alami yang diketahui berpotensi sebagai alternatif pengganti bahan tradisional ini. Mereka juga memiliki sifat yang mirip, yaitu berpori,

sehingga energi suara yang datang dapat mengalami disipasi di dalam pori tersebut. Selain itu, bahan ini juga ringan, ramah lingkungan dan tidak menimbulkan bahaya kesehatan [10].

Komposit berbasis serat alam merupakan material masa depan karena sifat-sifat unggul dimilikinya seperti biodegradabilitas, keterbaruan dan ketersediaannya yang melimpah, mudah dalam pengolahan serta murah. Dari beberapa serat alami terdapat penggolongan serat alami, yaitu serat biji (*cotton* dan kapok), serat batang (*jute*, *flax*, rami, kenaf), dan serat daun (*sisal* dan *abaca*) [11].

Penelitian serat alam untuk tujuan akustik telah banyak dilaporkan, diantaranya studi oleh Mohanty pada tahun 2000. Mohanty membandingkan kemampuan penyerapan dan insulasi bunyi berbagai bahan seperti jute, sabut kelapa, wol, limbah kapas, kapas medis, papan Celotex, dan busa untuk aplikasi otomotif. Bahan-bahan ini memiliki kemampuan penyerapan bunyi yang baik dan ada diantara bahan tersebut yang kemampuannya lebih baik dibandingkan bahan komersil [12].

Pada tahun 2020, Raj dan tim melaporkan serat jelantang berpontensi untuk dimanfaatkan sebagai material penyerap bunyi yang ramah lingkungan. Koefisien reduksi bunyi rata-rata yang didapatkan sekitar 0,72. Performansi dari komposit serat jelantang dengan ketebalan yang paling optimum kemudian dibandingkan dengan glasswool yang dijual secara komersil. Perbandingan tersebut menyatakan jelantang memiliki sifat penyerapan suara yang lebih baik [10]. Semua hasil penelitian ini sangat menjanjikan pada skala laboratorium dan memotivasi peneliti lain untuk melaporkan kemampuan bahan-bahan alam yang tersedia secara local di daerah mereka untuk diaplikasikan sebagai bahan akustik. Sejalan dengan itu, penelitian ini bertujuan untuk melihat potensi campuran serat pelepah sawit dan getah pinus untuk diaplikasi sebagai material akustik ramah lingkungan.

Pelepah Sawit merupakan limbah yang cukup melimpah di Indonesia, khususnya Padang, Sumatera Barat. Indonesia merupakan produsen kelapa sawit terbesar di dunia. Pada tanaman kelapa sawit, hasil utama yang diharapkan adalah biji sawit yang selanjutnya diolah untuk menghasilkan minyak. Sisanya (pelepah, tandan kosong dan batang sawit) akan menjadi sampah buangan dari perkebunan. Limbah-limbah ini berpotensi dimanfaatkan sebagai biomasa, briket, sumber fiber alami dan berbagai aplikasi

lainnya [13]. Pada penelitian ini penulis menggunakan serat pelepah sawit sebagai penguat pada komposit ramah lingkungan atau *greencomposites* untuk tujuan akustik.

Dalam menghasilkan *greencomposites* atau *eco-composites*, selain serat alami, terjadi juga pergeseran penggunaan matrik dari matrik sintetis menjadi matrik alam yang mudah didaur ulang. Hal tersebut didasarkan pada dampak lingkungan serta keberlanjutan dari material tersebut. Selain itu, pencemaran plastik terhadap air dan tanah telah menjadi perhatian dunia saat ini. Hal ini mendorong pengembangan produk *greencomposit*. Kehadiran bahan alam sebagai bahan alternatif pengganti bahan sintetis, memberi harapan baru untuk menurunkan tingkat CO₂ di udara dan menurunkan jumlah limbah karena material tersebut mampu terurai oleh bakteri. Selain itu, sifat mekanik dari komposit ini dapat disandingkan dengan komposit berbahan sintetis [14].

Getah pinus merupakan salah satu hasil hutan non kayu yang diperoleh dengan cara penyadapan batang pohon pinus. Getah Pinus dihasilkan dari penyadapan batang pohon pinus, rata-rata produksi getah pinus dapat mencapai 30-60 kg/tahun/pohon. Getah Pinus termasuk jenis *oleoresin* (perpaduan resin dan minyak pohon) yang mengandung senyawa terpenoid, hidrokarbon dan senyawa netral [15]. Kencanawati pada tahun 2017 melakukan studi untuk melihat karakteristik dan menganalisis getah pinus sebagai alternatif pengganti resin. Hasil studi tersebut menyatakan karakteristik awal getah pinus terlihat pucat. Getah pinus tidak mengalami pengurangan volume saat dipanaskan temperatur kurang dari 150° C. Semakin tinggi temperatur pemanasan maka warna getah akan menjadi semakin kuning dan cenderung berwarna coklat. Temperatur pemanasan juga diketahui tidak berpengaruh terhadap kandungan *asam abietat* dalam getah pinus. Data tersebut membuat penulis memutuskan untuk menginvestigasi apakah getah pinus cocok dipakai sebagai perekat pada *greencomposites* untuk tujuan akustik. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dan mempercepat pengembangan *greencomposites* yang ramah lingkungan pada dunia industri manufaktur komposit.

2. Metode

A. Bahan dan Peralatan yang digunakan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah cetakan untuk membuat spesimen

(ukuran sesuai alat uji dan tebal 1 cm), neraca digital, alat press, kompor listrik dan alat uji berupa set tabung impedansi satu mikrofon yang dirancang untuk mengukur parameter akustik dari material uji. Tabung yang digunakan berdiameter 8 cm dan panjang 200 cm. Set alat uji ini terdiri dari tabung impedansi, mikrofon, *amplifier*, osiloskop, sinyal generator dan *loudspeaker*. Sementara, bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah serat pelepah sawit sebagai penguat pada komposit, getah pinus sebagai perekat, dan wax untuk melapisi cetakan agar komposit mudah dilepaskan dari cetakan tersebut.

B. Penyiapan Serat

Serat pelepah sawit diambil dari pelepah sawit yang masih basah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pelepasan sawit secara langsung akan sangat sulit dan memakan waktu sehingga butuh perlakuan awal untuk memudahkan proses pengambilan serat dari pelepah sawit ini. Perlakuan awal ini dimulai dengan proses pengeringan pelepah sawit di ruang terbuka selama kurang lebih 5 hari atau sampai warnanya berubah dari putih menjadi sedikit kekuningan. Pelepah sawit ini selanjutnya dipotong terlebih dahulu agar memudahkan untuk proses perendaman dan pemisahan dari kulitnya (pengambilan dagingnya). Proses perendaman membantu kita untuk memudahkan dalam memisahkan serat yang menempel pada pelepah sawit. Proses perendaman dilakukan selama 30 menit menggunakan larutan NaOH.



Gambar 1. Pelepah sawit dan seratnya

Pelepah sawit kemudian diangkat dan dimasukkan ke dalam plastik untuk proses pembusukan selama dua minggu. Pelepah yang telah mengalami pembusukan tadi dibelah sesuai ketebalan seratnya dan disikat dengan

sikat kain agar seratnya dapat terpisah dari dagingnya. Serat yang sudah dipisahkan tersebut dicuci dengan air mengalir agar daging pelepah yang tertinggal di permukaan serat dapat terlepas sempurna. Serat yang telah dicuci selanjutnya dikeringkan di udara terbuka dan dipotong sekitar 1 cm untuk proses pencetakan. Alur Proses penyiapan serat ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses penyiapan serat pelepah sawit

C. Pembuatan Spesimen

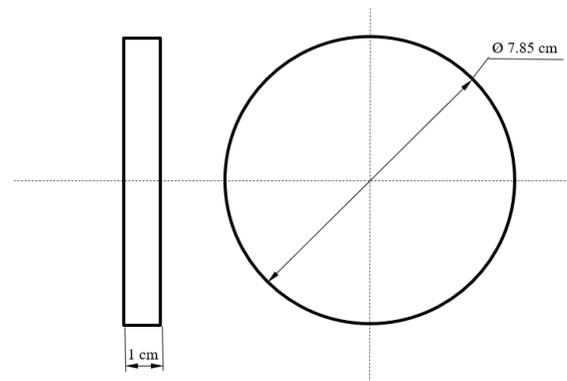
Tahapan pembuatan spesimen dimulai dengan menyiapkan cetakan dengan ketebalan 1cm dan diameter 7,85 cm seperti yang terlihat pada gambar 3. Cetakan spesimen dibuat dengan ukuran sedikit kecil agar memudahkan spesimen masuk ke alat Uji Akustik. Cetakan kemudian dilapisi dengan wax untuk membantu agar spesimen tidak melekat selesai proses pencetakan.

Getah pinus sebagai bahan perekat pada komposit dipotong kecil-kecil dan dimasukkan ke dalam wadah kering untuk proses pelelehan. Wadah berisi getah yang telah dipotong tadi, ditempatkan di atas wadah lain yang berisi air yang dipanaskan dengan bantuan kompor listrik. Getah yang telah meleleh kemudian dicampur dengan serat pelepah sawit dengan komposisi

perbandingan volume serat dan perekat sebagai berikut:

- 50 % : 50 %
- 60 % : 40 %
- 70 % : 30 %
- 80 % : 20 %
- 90 % : 10 %

Proses terakhir yaitu pengadukan dan pencetakan menggunakan cetakan yang sebelumnya telah disiapkan. Spesimen dicetak dengan bantuan alat press yang ada di laboratorium Teknik Mesin Institut Teknologi Padang. Sampel didiamkan di dalam cetakan selama 30 menit untuk mendapatkan daya rekat maksimal, lalu dikeluarkan. Setelah proses pencetakan selesai, spesimen didiamkan di suhu ruang selama tiga hari untuk memaksimalkan proses pengeringan getah pinus dan siap untuk dipakai pada proses pengujian.



Gambar 3. Ukuran Spesimen Komposit Serat Pelepah sawit dan Getah Pinus.

D. Pengujian

Kemampuan akustik berupa kemampuan penyerapan bunyi dan impedansi akustik spesimen diuji menggunakan tabung impedansi satu mikrofon. Tabung terbuat dari bahan besi yang bagian dalamnya telah dilapisi dengan cat. Tabung memiliki diameter 8 cm dan panjang 2 meter. Tabung impedansi dilengkapi dengan mikrofon, *amplifier*, osiloskop, sinyal generator dan *loudspeaker*.

Spesimen komposit yang akan diuji diletakkan di ujung kiri tabung sementara *loudspeaker* berada di ujung sisi lainnya. *Loudspeaker* dihubungkan dengan sinyal generator yang akan menghasilkan bunyi dengan frekuensi tertentu. Mikrofon diletakkan di depan sampel dan dipasang pada sebuah kawat lurus agar dapat digeser mendekati dan menjauhi spesimen. Mikrofon dilengkapi dengan *amplifier* sebagai penguat dan dihubungkan ke

osiloskop untuk menampilkan bentuk gelombang keluaran. Frekuensi yang digunakan pada penelitian ini adalah 500 Hz, 1000 Hz, 1500 Hz, 2000 Hz dan 2500 Hz. Skema rangkaian tabung impedansi satu mikrofon diadopsi dari tabung impedansi yang terdapat di Laboratorium Material Jurusan Fisika Universitas Andalas.

Untuk mendapatkan nilai kemampuan penyerapan bunyi (α), dibutuhkan data amplitudo tekanan maksimum (A+B) dan amplitudo tekanan minimum (A-B) yang didapatkan pada proses pengujian. Data amplitudo tekanan maksimum dan minimum ini didapatkan dengan cara menggeser mikrofon menjauhi spesimen komposit serat pelepah sawit. Nilai amplitudo tekanan maksimum (A+B) dan minimum (A-B) digunakan untuk mendapatkan nilai rasio gelombang tegak (*standing wave ratio*, *SWR*) dengan menggunakan persamaan 1.

$$SWR = \frac{A+B}{A-B} \quad (1)$$

$$\alpha = 1 - SWR^2 \quad (2)$$

Selain nilai amplitudo, jarak amplitudo minimum pertama (d_1) didapatkan dengan mengamati meteran yang dipasang di dekat tabung impedansi. Mikrofon selanjutnya digeser sampai didapatkan amplitudo minimum kedua dan jarak yang ditunjukkan pada meteran dicatat sebagai jarak amplitudo minimum kedua (d_2). Kedua nilai ini kemudian digunakan untuk menentukan besaran kompleks saat kondisi refleksi spesimen komposit serat pelepah sawit (ψ_1 dan ψ_2). Nilai ψ_1 dan ψ_2 dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (3) dan (4). Nilai impedansi akustik (Z_s) didapatkan dengan menggunakan Persamaan (5).

$$\psi_1 = \coth^{-1} \left[\log \frac{SWR}{20} \right] \quad (3)$$

$$\psi_2 = \pi \left[\frac{1}{2} - \frac{d_1}{d_2} \right] \quad (4)$$

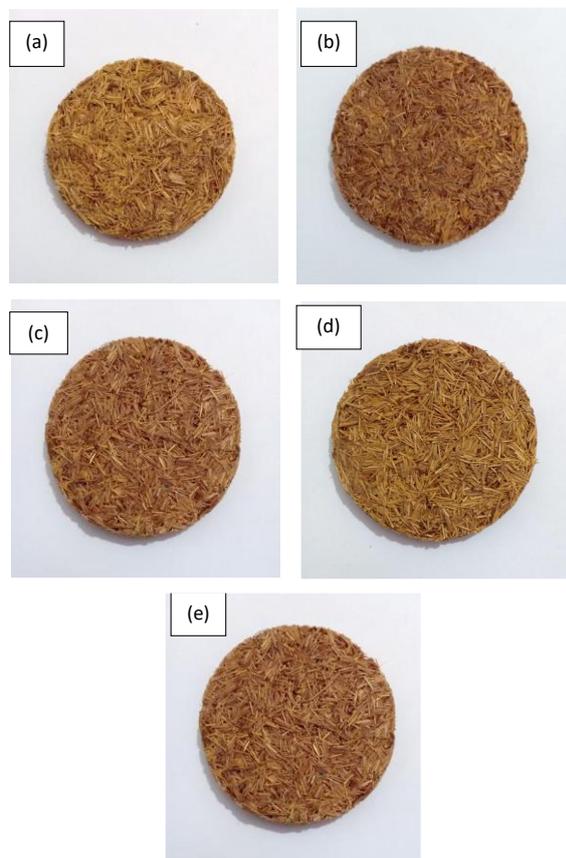
$$Z_s = \coth(\psi_1 + i\psi_2) \rho \cdot c \quad (5)$$

dengan ρ adalah kerapatan udara (kg/m^3), c adalah kecepatan bunyi di udara (m/s) dan Z_s merupakan impedansi akustik.

3. Hasil dan Pembahasan

Penampakan fisik dari spesimen komposit serat pelepah sawit dan getah pinus dapat dilihat pada Gambar 4. Secara fisik, penampakan sampel tidak terlalu berbeda. Pada gambar dapat dilihat komposit dengan komposisi yang serat yang paling kecil memiliki rongga-rongga yang lebih besar dibandingkan dengan komposit yang memiliki jumlah serat yang lebih banyak.

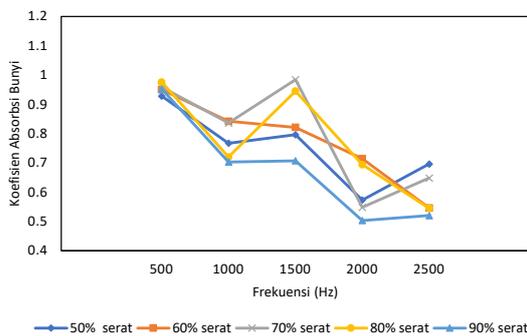
Nilai koefisien absorpsi bunyi spesimen komposit serat pelepah sawit didapatkan dari hasil pengujian dan menggunakan Persamaan (1) dan (2). Pengujian menggunakan 5 buah nilai frekuensi seperti yang terlihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Spesimen Komposit serat pelepah sawit dengan komposisi a). 90%:10%, b). 80%:20%, c).70%:30%, d). 60%:40% dan e). 50%:50%

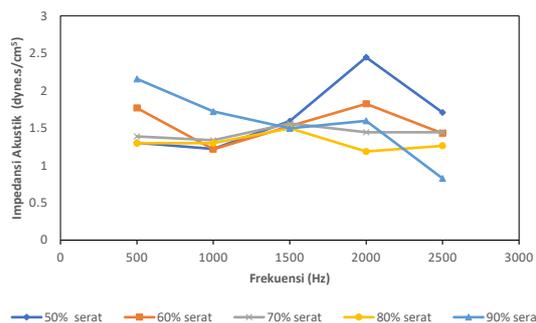
Berdasarkan gambar 5 dapat diketahui bahwa terjadi perubahan kemampuan absorpsi bunyi pada masing-masing komposisi serat. Dengan mengabaikan data 500 Hz, spesimen komposit dengan serat sebanyak 50 % fraksi volume memiliki nilai koefisien absorpsi bunyi tertinggi sebesar 0,79 pada frekuensi 1500 Hz, spesimen komposit dengan serat sebanyak 60 % memiliki nilai koefisien absorpsi bunyi tertinggi sebesar 0,84 pada frekuensi 1000 Hz, spesimen komposit dengan serat sebanyak 70 % memiliki

nilai koefisien absorpsi bunyi tertinggi sebesar 0,98 pada frekuensi 1500 Hz, spesimen komposit dengan serat sebanyak 80 % memiliki nilai koefisien absorpsi bunyi tertinggi sebesar 0,94 pada frekuensi 1500 Hz, dan spesimen komposit dengan serat sebanyak 90 % memiliki nilai koefisien absorpsi bunyi tertinggi sebesar 0,70 pada frekuensi 1500 Hz. Nilai koefisien absorpsi paling tinggi terdapat pada spesimen dengan komposisi serat 70% pada frekuensi 1500 Hz. Kelima spesimen komposit memiliki nilai koefisien absorpsi bunyi terbaik pada frekuensi 1500 Hz kecuali spesimen dengan serat 60%.



Gambar 5. Hubungan frekuensi dan koefisien absorpsi bunyi (α) komposit serat pelepeh sawit.

Jika dilihat kecenderungan grafik juga hampir sama yaitu nilai koefisien absorpsi bunyi meningkat pada frekuensi 1500 Hz dan menurun di frekuensi 2000 Hz. Hal ini menyatakan hampir seluruh variasi serat tersebut sangat optimal dalam menyerap bunyi dengan frekuensi 1500 Hz.



Gambar 6. Hubungan frekuensi dan Impedansi Akustik komposit serat pelepeh sawit.

Nilai α minimum bahan untuk dapat dikategorikan sebagai material peredam bunyi (pengendali kebisingan) menurut ISO 11654 adalah 0.15. Data yang diperoleh menyatakan nilai koefisien absorpsi dari spesimen-spesimen yang dibuat menunjukkan nilai yang memenuhi syarat. Sehingga sampel komposit dengan

semua komposisi ini dapat diklasifikasikan sebagai peredam suara.

Nilai impedansi akustik komposit serat pelepeh sawit didapatkan dengan menggunakan data *Standing Wave Ratio*, data d_1 dan d_2 seperti yang telah dijelaskan pembahasan sebelumnya dan di tuliskan secara matematis pada Persamaan (1), (3), (4) dan (5).

Berdasarkan Gambar 6 dapat diketahui bahwa semua spesimen komposit serat pelepeh sawit memiliki nilai impedansi yang berbeda-beda sesuai komposisi serat penyusunnya. Berdasarkan gambar 6 dapat diketahui bahwa impedansi akustik tertinggi dimiliki oleh spesimen komposit dengan komposisi serat 90% fraksi volume pada frekuensi 500 Hz -1500 Hz. Jumlah perekat dalam sebuah komposit sangat mempengaruhi nilai impedansi akustik dari sebuah komposit tersebut. Hal ini diperkuat dengan beberapa studi yang menyatakan komposisi perekat sangat mempengaruhi nilai impedansi karena terkait dengan pembentukan pori-pori dalam komposit tersebut [16], [17], [18].

4. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka penulis dapat menyimpulkan bahwa penambahan serat pada spesimen menyebabkan perubahan nilai koefisien absorpsi bunyi dan impedansi akustik. Koefisien absorpsi tertinggi terjadi pada komposisi dengan komposisi serat 70% pada frekuensi 1500 Hz. Kelima spesimen komposit memiliki nilai koefisien absorpsi bunyi terbaik pada frekuensi 1500 Hz kecuali spesimen dengan serat 60%. Respon impedansi akustik tertinggi terdapat serat dengan komposisi 90% ini komposisi serat pada frekuensi uji 500 Hz -1500 Hz. Komposisi perekat dan serat sangat mempengaruhi nilai impedansi karena terkait dengan pembentukan pori-pori dalam komposit tersebut.

Referensi

- [1] A. Kirana, "Effect Of Adding Glass Fiber Reinforced Polyurethane Composites On Sound Absorbtion Coefficient And Mechanical Properties Of Doorpanel Composite," 2016. Accessed: Jul. 11, 2023. [Online]. Available: <https://repository.its.ac.id/72365/1/2712-100118-undergraduate-theses-.pdf>
- [2] L. Du, S. K. Lau, S. E. Lee, and M. K. Danzer, "Experimental study on noise

- reduction and ventilation performances of sound-proofed ventilation window,” *Build Environ*, vol. 181, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.buildenv.2020.107105.
- [3] Y. Tao, M. Ren, H. Zhang, and T. Peijs, “Recent progress in acoustic materials and noise control strategies – A review,” *Applied Materials Today*, vol. 24. Elsevier Ltd, Sep. 01, 2021. doi: 10.1016/j.apmt.2021.101141.
- [4] Moch. F. Setiawan, “Tingkat Kebisingan pada Perumahan di Perkotaan,” *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, vol. 12, no. 2, pp. 191–200, 2010.
- [5] N. A. Silviana, N. Siregar, and M. Banjarnahor, “Pengukuran dan Pemetaan Tingkat Kebisingan pada Area Produksi,” *Journal Of Industrial And Manufacture Engineering*, vol. 5, no. 2, Nov. 2021, doi: 10.31289/jime.v5i2.6101.
- [6] X. Zhu, B.-J. Kim, Q. Wang, and Q. Wu, “Recent Advances in the Sound Insulation Properties of Bio-based Materials.”
- [7] N. H. Bhingare, S. Prakash, and V. S. Jatti, “A review on natural and waste material composite as acoustic material,” *Polym Test*, vol. 80, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.polymertesting.2019.106142.
- [8] L. Cao, Q. Fu, Y. Si, B. Ding, and J. Yu, “Porous materials for sound absorption,” *Composites Communications*, vol. 10. Elsevier Ltd, pp. 25–35, Dec. 01, 2018. doi: 10.1016/j.coco.2018.05.001.
- [9] S. Ren *et al.*, “A semi-analytical model for sound propagation in sintered fiber metals,” *Compos B Eng*, vol. 126, pp. 17–26, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.compositesb.2017.05.083.
- [10] M. Raj, S. Fatima, and N. Tandon, “An experimental and theoretical study on environment-friendly sound absorber sourced from nettle fibers,” *Journal of Building Engineering*, vol. 31, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.job.2020.101395.
- [11] S. Habibie *et al.*, “Serat Alam Sebagai Bahan Komposit Ramah Lingkungan, Suatu Kajian Pustaka Natural Fiber as A Friendly Environmental Composite Material, A Literature Review,” 2021.
- [12] A. R. Mohanty, “Acoustical Materials For Automotive Nvh Reduction,” 2002.
- [13] P. Pratiwi, A. Rahman, and A. Yanto, “Pengukuran Koefisien Serapan Bunyi Komposit Serat Pelepah Sawit dengan Perekat Sintetis Measurement of the sound absorption coefficient of palm frond fiber composites with synthetic adhesives,” vol. 12, no. 2, pp. 2089–4880, 2022, doi: 10.21063/jtm.2022.v12.i2.131-137.
- [14] F. Febry Nurdiansyah and N. Iskandar, “Pengaruh Fraksi Massa Dan Arah Orientasi Serat Terhadap Kekuatan Tegangan Geser Komposit Berpenguat Serat Rami Dengan Matriks Gondorukem,” 2021.
- [15] C. Istri Putri Kusuma Kencanawati, I. Ketut Gede Sugita, N. Putu Gede Suardana, and dan I. Wayan Budiasa Suyasa, “Characteristics and Early Analysis of Pine Resin under Heating Variations as Alternative Resins on Composites,” 2017. [Online]. Available: www.Fao.org,2004
- [16] A. Rizal, Y. Fitri, J. Fisika, F. dan Kesehatan, and U. Muhammadiyah Riau, “Karakteristik Absorpsi Dan Impedansi Material Akustik Serat Alam Ampas Tahu (Glycine Max) Menggunakan Metode Tabung.”
- [17] R. Andari, “Pengujian Karakteristik Absorpsi dan Impedansi Material Akustik Serat Alam Menggunakan Metode Tabung,” *Jurnal Teknik Elektro ITP*, vol. 6, no. 2, pp. 154–162, Jul. 2017, doi: 10.21063/JTE.2017.3133621.
- [18] N. Hafifah and E. Elvaswer, “Pemanfaatan Limbah Daun Nanas (Ananas Comosus) Untuk Panel Akustik Sebagai Absorpsi Kebisingan,” *Jurnal Fisika Unand*, vol. 11, no. 4, pp. 467–473, Sep. 2022, doi: 10.25077/jfu.11.4.467-473.2022.