

Karakterisasi Koefisien Absorpsi Bunyi dan Impedansi Akustik dari Panel Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Menggunakan Metode Tabung

Muhammad Nikon, Elvaswer*

Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 07 Maret 2023
Direvisi: 04 Mei 2023
Diterima: 19 Mei 2023

Kata kunci:

Frekuensi
Impedansi Akustik
Koefisien Absorpsi
Lem Kanji
Metode Tabung
Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit

Keywords:

frequency
acoustic impedance
absorption coefficient
kanji glue
tube method
oil palm empty bunch fiber

Penulis Korespondensi:

Elvaswer
Email: elvaswer@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai koefisien absorpsi bunyi dan impedansi akustik dengan menggunakan metode tabung. Panel akustik dibuat dari material akustik berbahan dasar serat tandan kosong kelapa sawit dan matriks lem kanji dengan memvariasikan panjang serat yang digunakan pada setiap sampel. Variasi panjang serat yang digunakan yaitu 0,5 cm, 1 cm, 1,5 cm, 2 cm dan 3 cm. Variasi frekuensi yang digunakan pada penelitian ini yaitu 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, 8000 Hz. Nilai koefisien absorpsi yang tertinggi yaitu 0,99 pada frekuensi 500 Hz untuk sampel 1, sampel 3 dan sampel 4. Nilai impedansi akustik tertinggi terdapat pada sampel 1 yaitu 1,96 dyne.sec/cm⁵ pada frekuensi 500 Hz. Semakin panjang variasi serat yang digunakan maka akan menghasilkan porositas yang tinggi sehingga penyerapan gelombang bunyi menjadi maksimal. Berdasarkan ISO 11654 nilai koefisien absorpsi bunyi dan impedansi akustik minimum adalah 0,15, dan serat tandan kosong kelapa sawit memiliki nilai di atas 0,15 sehingga berpotensi sebagai bahan dasar material akustik.

This study aims to determine the value of the sound absorption coefficient and acoustic impedance using the tube method. Acoustic panels are made of acoustic material from empty palm oil bunches and starch glue matrix by varying the fiber length used in each sample. Variations in fiber length used are 0.5 cm, 1 cm, 1.5 cm, 2 cm, and 3 cm. The frequency variations used in this study are 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, and 8000 Hz. The highest absorption coefficient value was 0.99 at a frequency of 500 Hz for sample 1, sample 3, and sample 4. The highest acoustic impedance value was found in sample 1, 1.96 dynes. sec/cm⁵ at a frequency of 500 Hz. The longer the variation of the fiber used, the higher the porosity so that the absorption of sound waves is maximized. Based on ISO 11654, the value of the sound absorption coefficient and minimum acoustic impedance is 0.15, and empty palm fruit fiber has a value above 0.15, so it has the potential to be used as a raw material for acoustic materials.

Copyright © 2023 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Kebisingan merupakan bunyi atau suara yang tidak dikehendaki yang dapat mengganggu kesehatan dan kenyamanan (Gabriel, 2001). Sumber kebisingan biasanya timbul dari berbagai sumber suara seperti alat elektronik, mesin-mesin pabrik dan kendaraan transportasi. Oleh karena itu banyak para peneliti mencari solusi untuk mengatasi kebisingan yang timbul pada lingkungan salah satunya dengan panel akustik. Penerapan berbagai jenis limbah pertanian sebagai material akustik dapat menjadi solusi untuk meminimalkan penggunaan peredam dari bahan sintetis.

Panel akustik pada umumnya berasal dari material akustik yang dikembangkan menggunakan bahan utama dari serat sintetis dan serat alam (Suban dan Farid, 2015). Bahan yang berasal dari serat sintetis pada umumnya dibuat secara kimiawi dan tidak ramah lingkungan, sedangkan serat alam mempunyai keunggulan yang ramah lingkungan dan lebih mudah didapatkan. Serat merupakan bagian utama dalam hal menahan beban, oleh karena itu komposit sangat kuat dan kaku bila diberi beban yang searah dengan alur serat (Susilowati and Saidah, 2019).

Panel akustik yang baik harus memiliki karakteristik yang tangguh dan tidak mudah rusak. Serat alam yang digunakan biasanya yang mengandung segneselulosa sebagai bahan dasar pembuatan panel akustik. Selulosa merupakan suatu senyawa yang memiliki keunggulan yaitu mampu meredam kebisingan, densitas rendah dan kemampuan mekanik tinggi sehingga dapat memenuhi kebutuhan industri (Karnari dkk., 1997). Salah satu serat alam yang mengandung segneselulosa adalah serat tandan kosong kelapa sawit, yaitu sebesar 45,95% (Darmosarkoro dan Rahutomo, 2007). Limbah kelapa sawit jumlahnya sangat melimpah, setiap pengolahan 1 ton tandan buah segar akan dihasilkan tandan kosong kelapa sawit sebanyak 23% atau sebanyak 230 kg (Kamal, 2018). Serat Tandan kosong kelapa Sawit merupakan biomassa yang mengandung 41,3 - 45% selulosa (Hidanto and Mora, 2019).

Beberapa peneliti telah melakukan pengujian nilai koefisien absorpsi bunyi dan impedansi akustik berbahan dasar serat alam. Pawestri dkk. (2018) telah melakukan penelitian tentang studi karakteristik komposit sabut kelapa dan serat daun nanas sebagai peredam bunyi. Panel akustik yang terbaik adalah panel akustik dengan perbandingan komposisi 40% serat daun nanas dan 60% serat sabut kelapa yaitu sebesar $143,7743 \text{ N/cm}^3$, sedangkan nilai koefisien absorpsi tertinggi 0,67 didapatkan dengan perbandingan komposisi 20% serat daun nanas dan 80% serat sabut kelapa pada frekuensi 1600 Hz.

Marwanto (2019) melakukan penelitian tingkat redaman bunyi komposit serat batang bambu petung berdasarkan arah pemasangan serat. Penelitian ini memvariasikan spesimen resin tanpa serat dan spesimen komposit dengan variasi arah serat. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini yaitu koefisien absorpsi bunyi berada di atas 0,3 untuk semua variasi pada frekuensi 1500 Hz, 2000 Hz, 2500 Hz, 4500 Hz, 6500 Hz dan 7000 Hz. Koefisien absorpsi bunyi tertinggi terjadi pada frekuensi 6500 Hz sebesar 0,49 pada spesimen komposit dengan serat acak. Tetapi pada penelitian ini beberapa nilai koefisien absorpsi memiliki hasil yang kurang baik pada spesimen komposit setelah ditambahkan serat karena berada di bawah standar penyerapan bunyi ISO 11654 yaitu 0,15.

Arwanda dan Sani (2020) juga melakukan penelitian tentang koefisien absorpsi bunyi pada bahan beton komposit serat daun nanas dengan menggunakan metode tabung impedansi. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur koefisien absorpsi bunyi dengan rentang frekuensi antara 200 Hz hingga 2000 Hz. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai koefisien absorpsi bunyi yang terendah terdapat sampel dengan serat nanas 0,2 gram pada frekuensi 200 Hz sebesar 0,24 dan nilai koefisien absorpsi tertinggi terdapat pada sampel dengan serat 0,8 gram pada frekuensi 2000 Hz sebesar 0,59. Spesifikasi serat nanas tidak dijelaskan pada penelitian ini.

Berdasarkan beberapa penelitian tentang penggunaan serat sebagai material akustik, maka pada penelitian ini akan dikembangkan sebuah material akustik dari bahan baku serat tandan kosong kelapa sawit dan matriks lem kanji dengan memvariasikan panjang serat yang digunakan yaitu 0,5 cm, 1 cm, 1,5 cm, 2 cm dan 3 cm. Nilai koefisien absorpsi bunyi dan impedansi akustik dihitung menggunakan metode tabung. Metode tabung di pilih karena lebih sederhana dibandingkan dengan metode ruang dengung. Metode ruang dengung merupakan suatu ruangan khusus sehingga sampel yang digunakan lebih banyak. Kualitas dari suatu material akustik ditunjukkan dengan koefisien absorpsi bunyi. Semakin tinggi nilai koefisien absorpsi bunyi suatu material, maka semakin bagus material tersebut digunakan sebagai bahan material akustik.

II. METODE

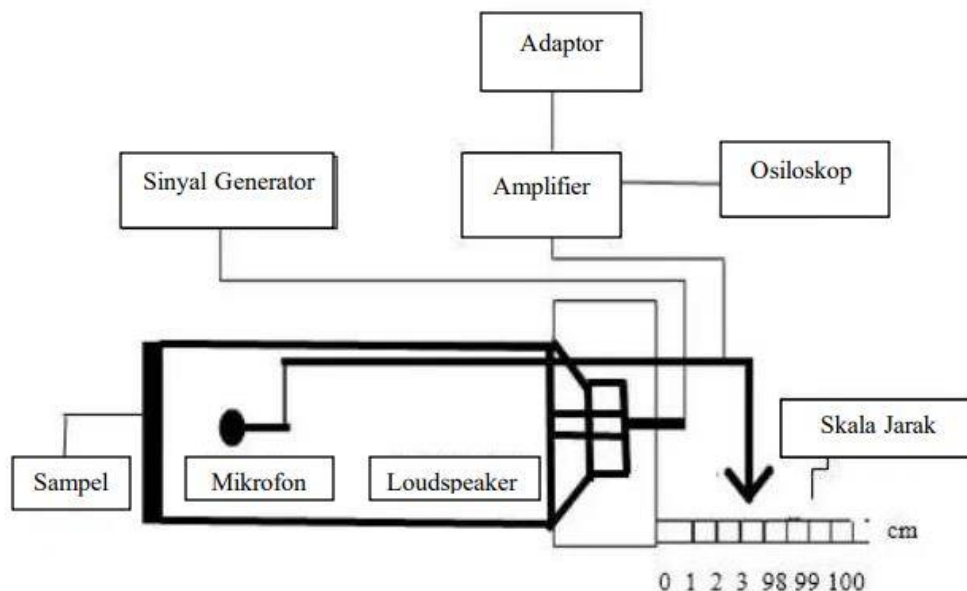
Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah tabung impedansi, mikrofon, *amplifier*, osiloskop, sinyal generator, *loudspeaker*, neraca digital, *hot press*, cetakan sampel, *hot plate*, oven. Bahan yang digunakan adalah serat tandan kosong kelapa sawit, lem kanji, air dan *aluminium foil*.

2.1 Pembuatan Komposit Serat Tandam Kosong Kelapa Sawit dengan Lem Kanji

Tandan kosong kelapa sawit yang sudah dikumpulkan dari sisa pengolahan pabrik diambil seratnya satu persatu secara manual menggunakan tangan. Serat tandan kosong kelapa sawit kemudian dicuci sampai bersih menggunakan air. Serat tandan kosong kelapa sawit dijemur di bawah sinar matahari selama 14 hari dengan lama waktu penjemuran 5 jam per hari. Serat tandan kosong kelapa sawit yang telah kering dipotong-potong sesuai dengan variasi panjang serat. Perbandingan serat tandan kosong kelapa sawit dan matriks lem kanji yang digunakan yaitu 80% : 20%. Tepung kanji dicampurkan dengan air menggunakan perbandingan 2,4 gr : 24 ml dan dipanaskan pada suhu 180° C selama 5 menit menggunakan *hot plate*. Serat tandan kosong kelapa sawit yang sudah kering dicampurkan dengan lem kanji di dalam wadah dan diaduk sampai tercampur merata. Bahan hasil adukan yang sudah tercampur merata dimasukkan ke dalam cetakan dengan diameter 8 cm yang telah dilapisi *aluminium foil*. Sampel dimasukkan ke dalam cetakan dan ditekan dengan *hot press* selama 30 menit. Sampel serta cetakan yang sudah ditekan selama 30 menit didiamkan dalam suhu ruangan selama 1 hari untuk mendapatkan daya rekat yang maksimal. Sampel serat tandan kosong kelapa sawit dikeluarkan dari cetakan dan dijemur di bawah sinar matahari selama 3 hari. Sampel-sampel dalam penelitian ini menggunakan variasi panjang serat 0,5 cm, 1 cm, 1,5 cm, 2 cm, 3 cm.

2.2 Pengujian Koefisien Absorpsi dan Impedansi Akustik dengan Menggunakan Metode Tabung Impedansi

Untuk menganalisa kemampuan sampel serat tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan panel akustik dilakukan pengujian koefisien absorpsi bunyi dan impedansi akustik dengan menggunakan metode tabung impedansi. Tabung impedansi yang digunakan terbuat dari besi dengan diameter 8 cm dan dirangkai seperti Gambar 1. Sampel serat tandan kosong kelapa sawit yang digunakan sesuai dengan ukuran tabung impedansi.



Gambar 1 Skema rangkaian tabung impedansi

Prinsip kerja dari tabung impedansi yaitu sinyal generator yang dihubungkan ke *loudspeaker* akan menghasilkan keluaran berupa bunyi pada frekuensi tertentu. Sampel diposisikan pada salah satu ujung tabung untuk diuji nilai koefisien absorpsinya. Mikrofon diletakkan di tengah-tengah diameter tabung menghadap ke sampel panel akustik serat tandan kosong kelapa sawit. Mikrofon dipasang pada ujung sebuah kawat lurus sehingga dapat digeser untuk menentukan kedudukan amplitudo tekanan maksimum dan amplitudo tekanan minimum. Mikrofon diperkuat dengan menggunakan *amplifier* dan

dihubungkan ke osiloskop untuk menampilkan bentuk keluaran berupa gelombang. Frekuensi yang digunakan dalam penelitian ini adalah 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, 8000 Hz.

2.3 Pengambilan Data

Mikrofon digeser menjauhi sampel sehingga pada osiloskop menunjukkan tampilan amplitudo tekanan maksimum ($A + B$). Mikrofon digeser kembali sehingga tampilan pada osiloskop menunjukkan amplitudo tekanan minimum ($A - B$) dan dilakukan pengukuran. Mikrofon digeser dari sampel hingga menunjukkan jarak amplitudo minimum pertama (d_1) yaitu dengan cara melihat nilai amplitudo minimum pada osiloskop dan mengamati nilai yang ditunjukkan pada meteran yang ada di dekat tabung impedansi, maka nilai yang ditunjukkan oleh meteran merupakan jarak amplitudo minimum pertama (d_1). Mikrofon digeser lagi sehingga pada osiloskop menunjukkan jarak amplitudo minimum kedua (d_2) yang diukur pada skala jarak.

2.4 Pengolahan Data

Nilai koefisien absorpsi bunyi dapat ditentukan dengan menghitung perbandingan amplitudo tekanan maksimum dan amplitudo tekanan minimum. Perbandingan amplitudo tekanan ini disebut dengan rasio gelombang tegak (*Standing Wave Ratio, SWR*) dapat dinyatakan dengan Persamaan 1.

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

dengan ($A + B$) adalah amplitudo tekanan maksimum dan ($A - B$) adalah amplitudo tekanan minimum. Koefisien absorpsi bunyi dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2 (Doelle, 1986).

$$\alpha = 1 - \left(\frac{A+B}{A-B}\right)^2 \quad (2)$$

Impedansi akustik dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 3.

$$Z_s = \coth(\psi_1 + i\psi_2)\rho c \quad (3)$$

dengan Z_s adalah impedansi akustik ($\text{dyne}\cdot\text{sec}/\text{cm}^2$), ρ adalah kerapatan udara (kg/m^3), dan c ialah kecepatan bunyi di udara (m/s). Untuk menentukan nilai impedansi akustik sampel uji panel akustik serat tandan kosong kelapa sawit terlebih dahulu harus ditentukan ψ_1 dan ψ_2 yang merupakan besaran kompleks saat kondisi refleksi sampel uji serat tandan kosong kelapa sawit. ψ_1 dan ψ_2 dapat ditentukan dari Persamaan 4 dan Persamaan 5 (Baranek, 1993).

$$\psi_1 = \coth^{-1} \left[\log \left(\frac{SWR}{20} \right) \right] \quad (4)$$

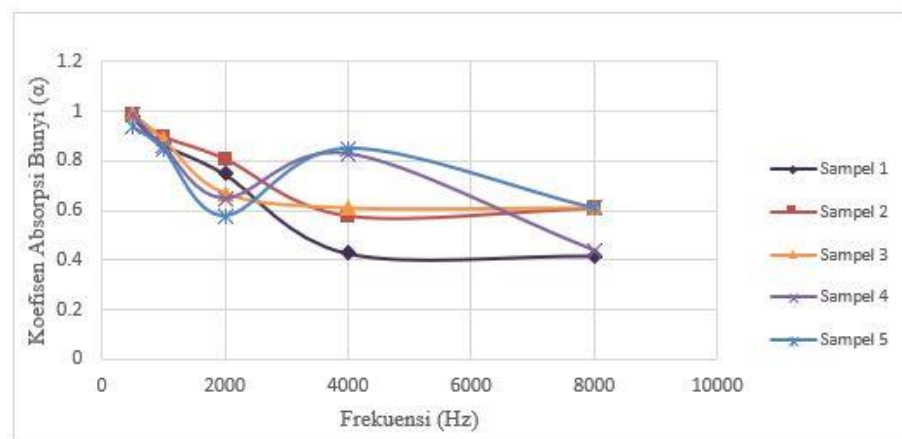
$$\psi_2 = \pi \left(\frac{1}{2} - \frac{d_1}{d_2} \right) \quad (5)$$

d_1 dan d_2 merupakan jarak amplitudo minimum pertama dan kedua dari sampel (cm) dan π merupakan ratio diameter lingkaran sampel panel akustik serat tandan kosong kelapa sawit yaitu 3,14.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Koefisien Absorpsi

Dari nilai koefisien absorpsi bunyi panel akustik serat tandan kosong kelapa sawit yang didapatkan dari hasil pengujian menggunakan metode tabung impedansi, terlihat bahwa terjadi perubahan kemampuan penyerapan bunyi pada masing-masing variasi panjang serat. Koefisien absorpsi akan menurun seiring dengan pertambahan panjang serat, tapi beberapa sampel mengalami peningkatan nilai koefisien absorpsi bunyi pada frekuensi tertentu. Nilai koefisien absorpsi bunyi pada masing-masing variasi panjang serat dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Hubungan frekuensi (Hz) terhadap koefisien absorpsi bunyi (α) pada panel akustik serat tandan kosong kelapa sawit

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa nilai koefisien absorpsi bunyi paling tinggi terdapat pada Sampel 1, 3 dan 4 sebesar 0,99 pada frekuensi 500 Hz, yang seharusnya juga rendah pada frekuensi rendah (Doelle, 1986). Hal ini disebabkan karena terjadi deviasi pengukuran yang tinggi pada frekuensi rendah yang diakibatkan oleh kemampuan yang rendah dari mikrofon untuk menangkap gelombang bunyi pada frekuensi rendah (Aziza dan Elvaswer, 2022).

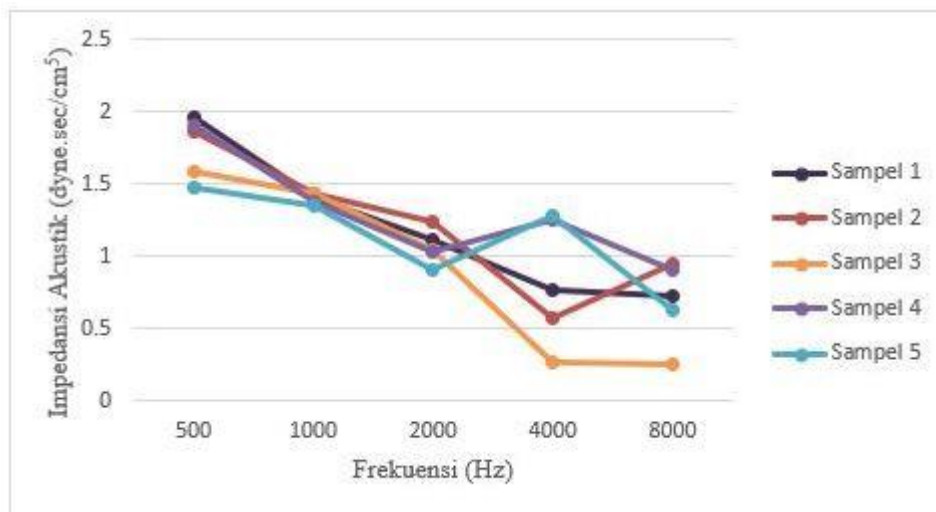
Panel akustik serat tandan kosong kelapa sawit menghasilkan nilai koefisien absorpsi bunyi menurun dari frekuensi 500 Hz hingga frekuensi 8000 Hz, kecuali Sampel 4 dan Sampel 5 meningkat dari frekuensi 2000 Hz ke frekuensi 4000 Hz. Hal ini disebabkan karena penambahan panjang serat yang digunakan akan terciptanya porositas yang tinggi sehingga gelombang bunyi yang datang diserap secara maksimal oleh panel akustik yang mengakibatkan sedikitnya gelombang pantul (Dari dan Elvaswer, 2021). Karakteristik panel akustik serat tandan kosong kelapa sawit dapat dikategorikan ke dalam bahan *soft board* yaitu bahan yang mempunyai koefisien absorpsi bunyi tinggi pada frekuensi rendah dan menurun jika frekuensi terus dinaikkan.

Menurut standar ISO 11654 suatu panel akustik dapat dikategorikan sebagai bahan pengendali kebisingan apabila panel akustik tersebut memiliki koefisien absorpsi bunyi minimum sebesar 0,15. Panel akustik serat tandan kosong kelapa sawit memiliki nilai koefisien absorpsi bunyi besar dari 0,15 sehingga panel akustik serat tandan kosong kelapa sawit ini dapat dijadikan sebagai pengabsorpsi bunyi.

3.2 Impedansi Akustik

Nilai impedansi akustik (Z) pada panel akustik serat tandan kosong kelapa sawit didapatkan dari nilai SWR, jarak minimum pertama d_1 dan jarak minimum kedua d_2 dari panel akustik serat tandan kosong kelapa sawit. Impedansi akustik dapat dihitung menggunakan Persamaan 5. Secara umum setiap sampel memiliki nilai impedansi akustik yang berbeda-beda tergantung panjang serat yang digunakan. Nilai impedansi akustik dapat dilihat pada Gambar 3.

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa nilai impedansi akustik tertinggi dari panel akustik serat tandan kosong kelapa sawit terdapat pada Sampel 1 yaitu 1,96 dyne.sec/cm⁵ pada frekuensi 500 Hz. Hal ini disebabkan karena pada frekuensi rendah terjadi penyerapan bunyi yang besar, sebaliknya pada frekuensi tinggi gelombang bunyi akan menyebar atau dipantulkan dan ditransmisikan. Ketika terjadi penyerapan bunyi yang besar, energi gelombang pantul akan mengecil sehingga nilai impedansi akustik tinggi. Nilai impedansi akustik terendah terdapat pada Sampel 3 yaitu 0,25 dyne,sec/cm⁵ pada frekuensi 8000 Hz. Hal ini disebabkan karena Sampel 3 memiliki karakteristik panel akustik yang keras (*hard board*) sehingga gelombang bunyi yang datang tidak diserap dengan baik oleh panel akustik dan gelombang yang dipantulkan menjadi lebih besar yang mengakibatkan nilai impedansi akustik menjadi rendah (Lestari *et al.*, 2019).



Gambar 3 Hubungan frekuensi (Hz) terhadap impedansi akustik (Z) pada panel akustik serat tandan kosong kelapa sawit

Grafik pada Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai impedansi akustik serat tandan kosong kelapa sawit menurun seiring bertambahnya frekuensi kecuali Sampel 4 dan Sampel 5 yang meningkat pada frekuensi 4000 Hz. Hal ini disebabkan karena pada Sampel 4 dan Sampel 5 memiliki komposisi serat lebih panjang dari sampel yang lain sehingga gelombang bunyi yang datang diberikan hambatan dengan baik dan mengakibatkan nilai impedansi akustik menjadi tinggi. Nilai impedansi akustik menurun disebabkan karena pada saat gelombang bunyi yang datang pada panel akustik tidak dapat diserap dengan baik pada beberapa frekuensi tinggi, hambatan yang diberikan kurang maksimal dan mengakibatkan nilai impedansi akustik menjadi rendah. Peningkatan nilai impedansi akustik disebabkan karena ketika gelombang bunyi masuk ke dalam panel akustik akan dirubah menjadi vibrasi, kalor atau perubahan momentum. Besarnya perubahan energi bunyi akan mengakibatkan gelombang bunyi kehilangan energi sehingga penyerapan panel akustik menjadi besar, dan energi gelombang bunyi yang dipantulkan akan sedikit (Kho, 2014). Variasi panjang serat yang berbeda pada setiap sampel juga akan mempengaruhi nilai impedansi akustik.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa nilai koefisien absorpsi bunyi dan impedansi akustik tertinggi terdapat pada variasi panjang serat 0,5 cm dengan frekuensi 500 Hz, yaitu sebesar 0,99 dan 1,96 dyne.sec/cm⁵. Secara umum semakin panjang serat yang digunakan pada panel akustik maka nilai koefisien absorpsi bunyi dan impedansi akustik akan menurun.

DAFTAR PUSTAKA

- Arwanda, R. and Sani, R.A. (2020), "Koefisien Absorpsi Bunyi Pada Bahan Beton Komposit Serat Daun Nanas dengan Menggunakan Metode Tabung Impedansi", *Jurnal Hasil Penelitian Bidang Fisika*, Vol. 8 No. 1, pp. 21–24.
- Aziza, Y. and Elvaswer, E. (2022), "Pengaruh Ketebalan Panel Akustik dari Limbah Kulit Durian terhadap Koefisien Absorpsi dan Impedansi Akustik", *Jurnal Fisika Unand*, Vol. 11 No. 2, pp. 208–213, doi: 10.25077/jfu.11.2.208-213.2022.
- Baranek, L. (1993), *Acoustic Measurement*, John Wiley & Sons Inc, New York.
- Dari, T.W. and Elvaswer, E. (2021), "Koefisien Absorpsi Bunyi dan Impedansi Akustik dari Panel Serat Kulit Jagung dengan Menggunakan Metode Tabung", *Jurnal Fisika Unand*, Vol. 10 No. 4, pp. 473–478, doi: 10.25077/jfu.10.4.473-478.2021.
- Darmosarkoro, W. and Rahutomo, S. (2007), "Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Bahan Pembenh Tanah", *Jurnal Lahan Dan Pemupukan Kelapa Sawit Edisi 1*, pp. 167–180.
- Doelle, E. (1986), *Akustik Lingkungan*, Erlangga, Jakarta.
- Gabriel, J.. (2001), *Fisika Lingkungan*, Hipokratesi, Jakarta.

- Hidanto, W. and Mora, M. (2019), “Analisis Pengaruh Komposisi Serbuk terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Komposit Papan Partikel Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit, Serbuk Kayu dan Tempurung Kelapa”, *Jurnal Fisika Unand*, Vol. 8 No. 2, pp. 106–112, doi: 10.25077/jfu.8.2.106-112.2019.
- Kamal, N. (2018), “Karakterisasi dan Potensi Pemanfaatan Limbah Sawit”, *Itenas Library*, pp. 61–68.
- Karnari, R., Krishnan, M. and Narayan, R. (1997), *Biofiber from Chickem Feather and Cornhusk Preparation and Characterization*, University of Nebraska, Nebraska.
- Kho, W.K. (2014), “Studi Material Bangunan Yang Berpengaruh Pada Akustik Interior”, *Jurnal Dimensi Interior*, Vol. 12 No. 2, pp. 57–64, doi: 10.9744/interior.12.2.57-64.
- Lestari, R.Y., Harsono, D., Cahyana, B.T., Atmaja, B.T. and Asmoro, W.A. (2019), “Tingkat Redaman Suara Papan Komposit Dari Tandan Kosong”, *Jurnal Prosiding Seminar Nasional Teknologi Dan Inovasi Industri*, No. July 2018.
- Marwanto, K.E. (2019), *Analisa Tingkat Redaman Bunyi Komposit Serat Batang Bambu Petung Berdasarkan Orientasi Arah Pemasangan Serat*, Universitas Sanata Dharma.
- Pawestri, A.K.R., Hasanah, W. and Murphy, A. (2018), “Studi Karakteristik Komposit Sabut Kelapa dan Serat Daun Nanas sebagai Peredam Bunyi”, *Jurnal Teknologi Bahan Alam*, Vol. 2 No. 2, pp. 112–117.
- Suban, S.L. and Farid, M. (2015), “Pengaruh Panjang Serat terhadap Nilai Koefisien Absorpsi Suara dan Sifat Mekanik Komposit Serat Ampas Tebu dengan Matriks Gypsum Stefanus”, *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 4 No. 1, pp. 101–105.
- Susilowati, S.E. and Saidah, A. (2019), “Pelatihan Pemanfaatan Serat Alam (Sabut Kelapadan Jerami Padi) Bagi Warga Desa Jaya RaharjaKecamatan Sukajaya Kabupaten Bogor”, *Jurnal Berdikari*, Vol. 2, pp. 35–43.