

## Karakteristik Koefisien Absorpsi Bunyi dan Impedansi Panel Akustik dari *Styrofoam* Menggunakan Metode Tabung

Zahwa Khairunisa, Elvaswer\*

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

### Info Artikel

#### Histori Artikel:

Diajukan: 13 Oktober 2023  
Direvisi: 15 Maret 2024  
Diterima: 03 Juni 2024

#### Kata kunci:

Frekuensi  
Impedansi Panel Akustik  
Koefisien Absorpsi  
Metode Tabung  
Material *Styrofoam*

#### Keywords:

Frequency  
Acoustic panels impedance  
Absorption coefficient  
Tube method  
*Styrofoam* material

#### Penulis Korespondensi:

Elvaswer  
Email: [elvaswer@sci.unand.ac.id](mailto:elvaswer@sci.unand.ac.id)

### ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai nilai koefisien absorpsi bunyi dan impedansi panel akustik dari material *styrofoam* yang bertujuan untuk mengatasi kebisingan suara. Penelitian ini menggunakan metode tabung impedansi, material akustik berbahan dasar *styrofoam*. Sampel material akustik terbuat dari bahan *styrofoam* dengan berbagai variasi bentuk yaitu polos, berlobang tidak tembus, berlobang tembus, bergerigi, bergaris, dan berongga. Rentang frekuensi yang digunakan pada penelitian ini yaitu 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, dan 8000 Hz. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai koefisien absorpsi bunyi tertinggi pada sampel berlobang tembus dengan diameter lobang 0,8 cm dan kedalaman 1,8 cm pada frekuensi 1000 Hz yaitu 0,99 dan nilai koefisien absorpsi bunyi terendah pada frekuensi 8000 Hz yaitu 0,78 pada sampel polos. Nilai impedansi akustik tertinggi diperoleh pada frekuensi 1000 Hz yaitu 4,16 dyne.s/cm<sup>5</sup> dengan sampel berlobang tembus. Hal ini dipengaruhi oleh diameter lobang dan kedalaman pada permukaan *styrofoam*. Berdasarkan nilai koefisien absorpsi bunyi dan impedansi panel akustik maka material *styrofoam* berpotensi digunakan sebagai bahan penyerap bunyi.

*Research has been carried out regarding the sound absorption coefficient and impedance values of acoustic panels made from Styrofoam material, which aims to overcome sound noise. This research uses the impedance tube method, an acoustic material made from Styrofoam. Acoustic material samples are made from Styrofoam and have various shapes plain, non-perforated, perforated, serrated, ribbed, and hollow. The frequency ranges used in this research are 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, and 8000 Hz. The results of the study show that the highest sound absorption coefficient value is in the sample with a through hole with a hole diameter of 0.8 cm and a depth of 1.8 cm at a frequency of 1000 Hz, namely 0.99 and the lowest sound absorption coefficient value is at a frequency of 8000 Hz, 0.78 in the sample Plain. The highest acoustic impedance value was obtained at a frequency of 1000 Hz, namely 4.16 dyne.s/cm<sup>5</sup> with a sample with a through hole. This is influenced by the diameter of the hole and the depth on the surface of the Styrofoam. Styrofoam material can be used as a sound-absorbing material based on the sound absorption coefficient and acoustic panel impedance values.*

Copyright © 2024 Author(s). All rights reserved

## I. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi industri saat ini sangat pesat berkembang, para ilmuwan juga melakukan penelitian untuk menciptakan dan mengembangkan teknologi. Perkembangan teknologi industri yang bersumber dari hiburan, aktivitas manusia, transportasi mengakibatkan terjadinya polusi. Salah satu polusi yang ditimbulkan yakni kebisingan dimana dapat menimbulkan konsekuensi jangka pendek maupun jangka panjang. Upaya untuk mengatasi kebisingan yang terjadi saat ini dengan mengabsorpsi sebagian besar dari gelombang bunyi dengan menggunakan material akustik. Pemilihan material akustik juga memperhatikan ketahanan bahan dan segi pengaturan akustik. Hal ini dilakukan untuk dapat mereduksi kebisingan dengan menggunakan bahan-bahan peredam suara. Bahan tersebut dalam suatu bangunan berperan sebagai panel akustik yang dipasang pada dinding pemisah (partisi) dan plafon (Ikhsan dkk., 2017).

Material akustik adalah material teknis yang fungsi utamanya adalah meredam kebisingan. Secara umum, bahan penyerap secara alami bersifat resistif, berserat, dan berpori. Banyak jenis bahan akustik di pasaran, namun harganya cukup tinggi. Sehingga diperlukan untuk membuat sekat kamar dengan bahan sederhana seperti triplek berlapis *styrofoam* (Fatkhurrohman, 2013). Sementara itu, pemanfaatan bahan peredam sintesis seperti soft plester, glass wol, dan lainnya dapat mengganggu kesehatan pada pernapasan seseorang dalam jangka waktu yang lama. Sehingga belum maksimalnya mengatasi kebisingan karena masih memiliki efek samping. Penggunaan serat alam seperti pelepah pisang, eceng gondok, ampas tebu, serabut kelapa, dan lainnya tidak bisa digunakan dalam jangka yang panjang karena serat alam sendiri bisa membusuk dalam kurung waktu tertentu. Oleh karena itu, diperlukannya bahan alternatif yang bisa digunakan dalam jangka waktu yang relatif lama dan memiliki ketahanan yang baik.

Penelitian dilakukan oleh (Jeon dkk., 2017) dimana *styrofoam* bisa digunakan sebagai bahan penyerap pada knalpot sepeda motor karena memiliki karakteristik insulasi suara yang sangat baik, dapat didaur ulang, insulasi termal yang tinggi, dan ringan. Penelitian yang dilakukan oleh (Sandi dkk., 2020) *styrofoam* sering digunakan sebagai bahan penyerap bunyi karena memiliki koefisien serap bunyi yang baik. Kemudian menurut (Taban dkk., 2019) dengan menambah ketebalan *styrofoam* sampel secara langsung meningkatkan tingkat penyerapan suara dalam rentang frekuensi rendah. Untuk itu, diperlukan bahan seperti *styrofoam* dimana bahan tersebut saat ini sebagai limbah yang kurang bermanfaat bisa digunakan untuk mengatasi kebisingan.

*Styrofoam* adalah termoplastik dengan karakteristik khusus dengan isolator yang efisien, ringan, dan dapat membuat barang yang dilindungi aman dari benturan. *Styrofoam* memiliki struktur kerapatan yang rendah dan memiliki penyerapan yang baik. Selain itu, penggunaan *styrofoam* pada penyerapan bunyi yang lebih baik dimana *styrofoam* membuat dinding menjadi lebih ringan dapat juga sebagai serat yang dapat menyerap daya serap bunyi. Sehingga saat ini, *styrofoam* dapat digunakan dalam penelitian yang diinginkan, yaitu menggunakan bahan *styrofoam* yang berfungsi sebagai pori-pori untuk lebih memaksimal akan proses penyerapan bunyi (Setyowati, 2014).

(Muhammad Munir dan Dzulkifli, 2015) telah melakukan penelitian dimana dengan menggunakan panel akustik berlobang (*Perforated Acoustics Panel*) pada *styrofoam* dengan permukaan *styrofoam* yang berbeda. Hasil penelitian yang menunjukkan bahwa nilai koefisien absorpsi tertinggi diperoleh sebesar 0,63 pada bahan *styrofoam* dengan menggunakan panel akustik berlobang berdiameter 1,0 cm dengan kedalaman 1,3 cm pada frekuensi 500 Hz. Hal ini menunjukkan bahwa *styrofoam* dapat menyerap bunyi dengan baik sehingga bunyi yang bersumber dari kebisingan dapat di serap dengan baik oleh *styrofoam*.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan menggunakan panel akustik pada bahan *styrofoam*. Nilai koefisien absorpsi bunyi dapat ditingkatkan dengan cara memvariasikan bentuk permukaan serta kedalaman lobang dan diameter permukaan yang berbeda pada *styrofoam*. Perbedaan variasi yang diberikan pada *styrofoam* mempengaruhi penyerapan bunyi yang diserap oleh *styrofoam*. Untuk itu dilakukan penelitian mengenai pengaruh impedansi panel akustik (*Acoustics Panel*) dengan bentuk yang bervariasi yaitu polos, berongga, berlobang tembus, berlobang tidak tembus, bergaris, dan bergerigi pada *styrofoam* sebagai bahan alternatif untuk peredam suara.

## II. METODE

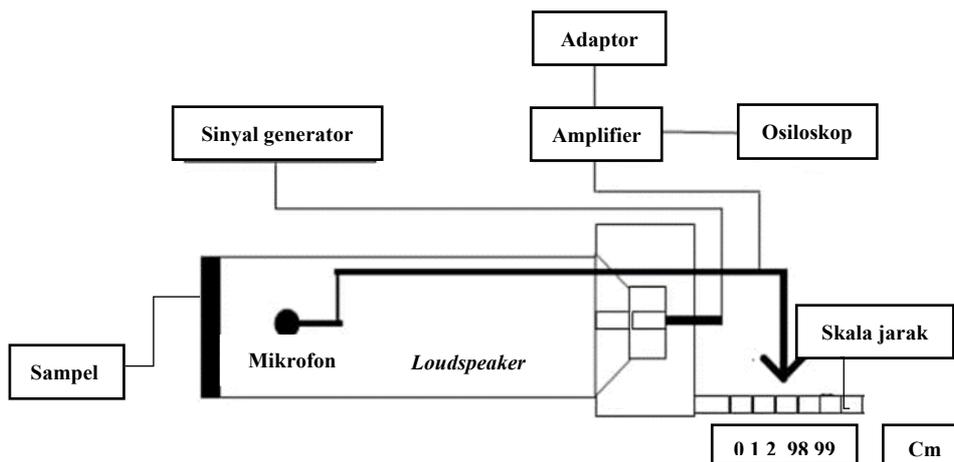
Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah tabung impedansi, *amplifier*, osiloskop, *loudspeaker*, generator sinyal, mikrofon, batang besi, dan jangka. Bahan yang digunakan adalah *styrofoam* padat.

### 2.1 Persiapan Sampel *Styrofoam*

Penelitian yang dilakukan diawali dengan pembuatan sampel *styrofoam* dengan memotong bahan dasar *styrofoam* padat menjadi *styrofoam* berbentuk lingkaran dengan diameter 8 cm dengan ketebalan 1,8 cm. Selanjutnya setiap sampel di berikan variasi yang berbeda dari bentuk sampel polos, berongga, berlobang tembus, berlobang tidak tembus, bergaris, dan bergerigi pada setiap permukaan *styrofoam*. Setiap sampel *styrofoam* memiliki ukuran yang sama diawal dengan sampel berbentuk polos pada permukaan *styrofoam*. Sampel bergerigi dimana *styrofoam* di buat bergerigi dengan kedalaman 0,5 cm, dimana akan ada sisi *styrofoam* yang menonjol dan ada sisi *styrofoam* yang menjorok kedalam. Sampel berlobang tidak tembus dimana pada *styrofoam* dibuat lobang berbentuk bulat dengan diameter 0,8 cm dan kedalaman 0,7 cm tetapi tidak sampai tembus ke bagian belakang *styrofoam*. Sampel berongga dimana pada *styrofoam* yang sudah dibentuk bulat dengan diameter 0,8 cm dilobangi bagian samping sehingga akan menembus ujung ke ujung dari sisi samping *styrofoam*. Sampel bergaris dimana pada permukaan *styrofoam* akan di buat garis lurus dengan diameter 0,4 cm dan kedalaman 0,5 cm yang sejajar sepanjang permukaan *styrofoam*. Sampel berlobang tembus dimana pada *styrofoam* ini dibuat lobang dengan diamater 0,8 cm dan kedalaman 1,8 cm berbentuk bulat yang nantinya akan menembus sampai kebelakang *styrofoam*.

### 2.2 Pengujian Sampel Menggunakan Metode Tabung

Pengujian dilakukan menggunakan metode tabung impedansi untuk menguji kemampuan bahan *styrofoam* dalam menyerap bunyi. Prinsip kerja pada metode tabung impedansi ini adalah sinyal generator dihubungkan dengan *loudspeaker* menghasilkan keluaran berupa bunyi dengan frekuensi yang telah ditentukan. *Loudspeaker* diletakkan disalah satu ujung tabung dan salah satu ujung tabung lainnya diletakkan sampel yang akan diuji nilai koefisien absorpsinya. Mikrofon dipasang pada ujung kawat agar dapat digeser untuk mencari amplitudo tekanan maksimum dan amplitudo tekanan minimum dengan menghadap ke sampel yang terletak diujung tabung impedansi. Mikrofon diperkuat dengan *amplifier* dan dihubungkan ke osiloskop untuk menampilkan bentuk gelombang. Frekuensi yang digunakan adalah frekuensi pada *oktaf-band*, yaitu 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz dan 8000 Hz. Skema rangkaian tabung impedansi bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Skema rangkaian tabung impedansi

### 2.3 Teknik Pengambilan Data

Teknik pengambilan data dapat dilakukan dengan mikrofon digeser menjauhi sampel sehingga diperoleh nilai minimum (A-B). Pada posisi tersebut merupakan nilai minimum pertama ( $d_1$ ) pada permukaan sampel. Mikrofon digeser kembali sehingga menunjukkan nilai maksimum pada osiloskop

(A+B) dan dilakukan pengukuran. Kemudian digeser sehingga pada osiloskop diperoleh jarak amplitudo minimum kedua ( $d_2$ ) yang diukur pada skala jarak.

## 2.4 Teknik Pengolahan Data dan Analisis Data

Data yang didapatkan dalam pengukuran menentukan koefisien absorpsi bunyi dari amplitudo tekanan minimum dan amplitudo tekanan maksimum. Nilai Perbandingan amplitudo tekanan ini disebut dengan rasio gelombang tegak (*Standing Wave Ratio, SWR*) dapat dinyatakan dengan Persamaan 1.

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

Koefisien absorpsi bunyi dapat diperoleh dengan Persamaan 2.

$$\alpha = 1 - |R^2| = 1 - \left(\frac{SWR-1}{SWR+1}\right)^2 \quad (2)$$

Nilai impedansi akustik dapat diperoleh dengan Persamaan 3 (Beranek, 1993)

$$Z_s = \frac{P(x)}{U(x)} \quad (3)$$

Untuk dapat menentukan impedansi sampel uji terlebih dahulu harus ditentukan harga  $\varphi_1$  dan  $\varphi_2$  pada Persamaan 4 dan Persamaan 5.

$$\varphi_1 = \coth^{-1} \left( \log\left(\frac{SWR}{20}\right) \right) \quad (4)$$

$$\varphi_2 = \pi \left( \frac{1}{2} - \frac{d_1}{d_2} \right) \quad (5)$$

dengan  $R$  adalah koefisien refleksi bunyi,  $Z(x)$  adalah impedansi akustik ( $\text{dyne/cm}^5$ ),  $P(x)$  adalah tekanan akustik ( $\text{dyne/cm}^2$ ),  $U(x)$  adalah kecepatan volume ( $\text{cm}^3/\text{s}$ ) pengukuran untuk menentukan nilai impedansi dari hasil  $d_1$  dan  $d_2$ . Nilai yang diperoleh berupa grafik menunjukkan karakteristik dari penyerapan bunyi dari sampel *styrofoam*.

## III. HASIL DAN DISKUSI

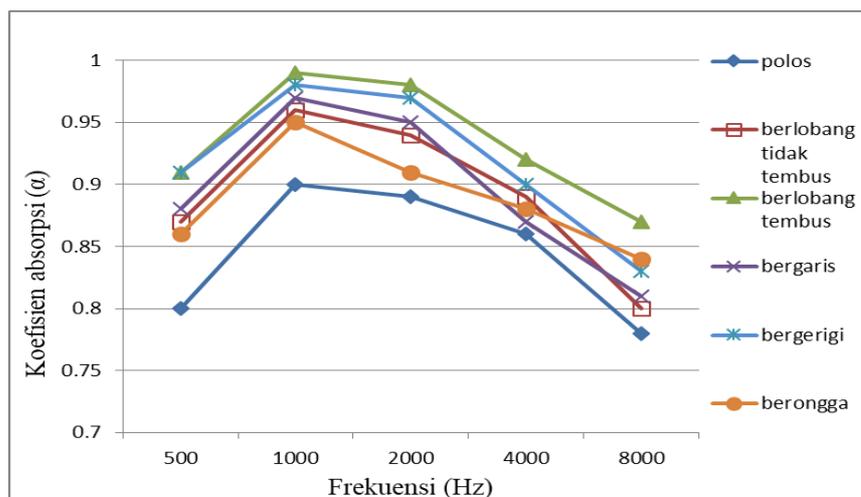
### 3.1 Hubungan Koefisien Absorpsi Bunyi terhadap Frekuensi

Nilai koefisien absorpsi bunyi material akustik dari bahan *styrofoam* diukur pada rentang frekuensi 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, dan 8000 Hz dapat dilihat pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan koefisien absorpsi bunyi tertinggi diperoleh pada sampel berlobang tembus pada frekuensi 1000 Hz yaitu 0,99. Adanya variasi permukaan pada sampel *styrofoam* membuat nilai koefisien absorpsi bahan lebih tinggi dibandingkan dengan variasi pada sampel *styrofoam* polos.

**Tabel 1** Nilai koefisien absorpsi bunyi berbagai bahan *styrofoam*

Frekuensi (Hz)	Nilai koefisien absorpsi berbagai variasi <i>styrofoam</i>					
	Polos	Berlobang tidak tembus (d=0,8cm, k=0,7 cm)	Berlobang tembus (d=0,8 cm, k=0,5 cm)	Bergaris (d=0,4 cm, k=0,5 cm)	Bergerigi (k=0,5 cm)	Berongga (d=0,8 cm)
500	0,80	0,87	0,91	0,88	0,91	0,86
1000	0,90	0,96	0,99	0,97	0,98	0,95
2000	0,89	0,94	0,98	0,95	0,97	0,91
4000	0,86	0,89	0,92	0,87	0,90	0,88
8000	0,78	0,80	0,87	0,81	0,83	0,84

Berdasarkan data yang diperoleh ditinjau dari segi bentuk permukaan sampel *styrofoam* dimana semakin banyak pori-pori yang terdapat pada sampel maka nilai koefisien absorpsinya juga semakin besar. Hal ini mengakibatkan semakin besar pula luas permukaan yang tersedia untuk penyerapan suara, sehingga meningkatkan kemampuan bahan untuk menyerap suara. Nilai koefisien absorpsi pada frekuensi 500 Hz sampai 1000 Hz mengalami peningkatan kemudian pada frekuensi 2000 Hz sampai 8000 Hz mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan pada frekuensi rendah panjang gelombang suara lebih besar, sehingga diperlukan ketebalan *styrofoam* untuk menghasilkan koefisien absorpsi yang tinggi (Li dkk., 2021). Selain itu, bahan *styrofoam* lebih efektif menyerap suara pada rentang 500 Hz sampai 1000 Hz karena *styrofoam* merupakan bahan yang keras, berpori, dan dipengaruhi oleh ketebalan bahan *styrofoam* (Rohman dkk., 2022).



**Gambar 2** Hubungan koefisien absorpsi bunyi terhadap frekuensi pada bahan *styrofoam*

Berdasarkan Gambar 2 terlihat nilai koefisien absorpsi pada bahan *styrofoam* berlobang tembus memiliki koefisien absorpsi lebih tinggi dibandingkan bahan *styrofoam* lainnya. Hal ini dikarenakan adanya proses perforasi dengan penyerapan bahan yang lebih besar terhadap intensitas suara dan koefisien absorpsi suara yang lebih baik berada pada *styrofoam* berlobang tembus sehingga meningkatkan kinerja penyerapan suara (Lin dkk., 2016). Koefisien absorpsi pada bahan *styrofoam* yang bergerigi lebih tinggi dibandingkan dengan bahan *styrofoam* bergaris. Hal ini dikarenakan adanya hambatan aliran udara yang lebih tinggi pada sampel *styrofoam* bergerigi, pada penyerapan koefisien absorpsi serta pengaruh dari bentuk permukaan pada bahan *styrofoam*.

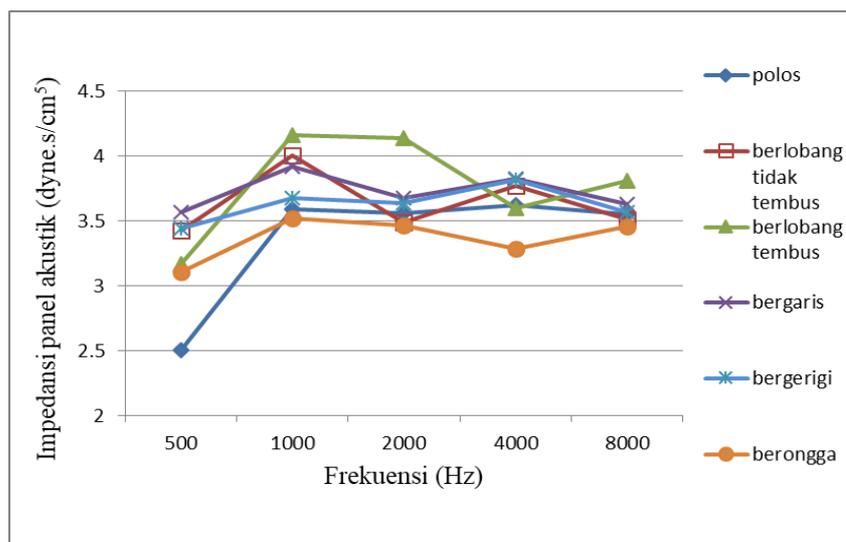
Koefisien absorpsi bahan *styrofoam* bergaris lebih tinggi dibandingkan dengan bahan *styrofoam* berlobang tidak tembus. Hal ini dikarenakan dilihat dari struktur permukaan dan kedalaman dari bahan dimana pada bahan *styrofoam* bergaris lebih banyak menyerap suara dikarenakan pada bahan *styrofoam* bergaris memiliki kerapatan yang rendah sehingga suara yang terserap oleh pori-pori pada bahan *styrofoam* bergaris lebih besar dibandingkan bahan *styrofoam* berlobang tidak tembus kecuali pada frekuensi 4000 Hz dimana koefisien absorpsi bahan *styrofoam* berlobang tembus lebih tinggi dibandingkan dengan bahan *styrofoam* bergaris. Pada bahan *styrofoam* berongga lebih tinggi koefisien absorpsinya dibandingkan bahan *styrofoam* polos. Hal ini dikarenakan adanya celah udara pada bahan *styrofoam* berongga, antara permukaan dengan bahan serta adanya porositas terbuka berupa pori-pori kecil pada permukaan bahan sehingga koefisien absorpsi lebih tinggi mempengaruhi sifat penyerapan bahan (Jiang dkk., 2018). Koefisien absorpsi terendah didapatkan pada bahan *styrofoam* polos pada frekuensi 8000 Hz. Hal ini disebabkan banyaknya sumber gelombang bunyi dipantulkan dibandingkan yang diserap, sehingga ketika gelombang bunyi datang menyebabkan amplitudo gelombang pantul lebih besar sehingga nilai koefisien absorpsi menjadi rendah (Rezita dkk., 2019).

### 3.2 Hubungan Impedansi Panel Akustik terhadap Frekuensi

Nilai impedansi panel akustik ( $Z$ ) pada material diukur setelah diperoleh nilai *standing wave ratio* (SWR), jarak minimum pertama ( $d_1$ ), jarak minimum kedua ( $d_2$ ) sampel dapat dilihat pada Tabel 2. Nilai impedansi panel akustik tertinggi diperoleh pada sampel berlobang tembus pada frekuensi 1000 Hz yaitu 4,16 dyne.s/cm<sup>5</sup>. Hal ini disebabkan karena sampel *styrofoam* yang berlobang tembus memiliki pori-pori yang besar sehingga sebagian besar gelombang bunyi yang beresonansi didalamnya menyebabkan nilai impedansi akustik yang semakin tinggi. Berdasarkan data yang diperoleh pada Tabel 2 bahwa nilai impedansi panel akustik dipengaruhi oleh pori-pori yang terdapat pada sampel *styrofoam*.

Tabel 2 Nilai impedansi panel akustik berbagai bahan *styrofoam*

Frekuensi (Hz)	Nilai impedansi panel akustik berbagai variasi <i>styrofoam</i>					
	Polos	Berlobang tidak tembus (d=0,8 cm, k=0,7 cm)	Berlobang tembus (d=0,8 cm, k=1,8 cm)	Bergaris (d=0,4 cm, k=0,5 cm)	Bergerigi (d=0,5 cm)	Berongga (d=0,8 cm)
500	2,50	3,43	3,17	3,57	3,44	3,11
1000	3,59	4,01	4,16	3,92	3,68	3,52
200	3,56	3,49	4,14	3,68	3,64	3,47
4000	3,62	3,77	3,60	3,83	3,82	3,29
8000	3,55	3,51	3,81	3,63	3,57	3,46



Gambar 3 Hubungan antara impedansi panel akustik terhadap frekuensi pada bahan *styrofoam*

Gambar 3 menunjukkan grafik hubungan antara impedansi panel akustik terhadap frekuensi. Impedansi panel akustik terkecil terdapat pada sampel *styrofoam* polos dengan nilai 2,5 dyne.s/cm<sup>5</sup>. Hal ini dikarenakan sedikit pori-pori yang terdapat pada permukaan sampel *styrofoam* polos sehingga gelombang bunyi yang datang tidak diserap dengan baik, sehingga bunyi yang dipantulkan menjadi lebih banyak mengakibatkan nilai impedansi yang diperoleh menjadi lebih kecil. Nilai impedansi panel akustik meningkat ketika banyaknya pori-pori yang terdapat pada permukaan sampel *styrofoam* sehingga gelombang bunyi akan banyak terserap.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa nilai koefisien absorpsi pada bahan *styrofoam* tertinggi pada frekuensi 1000 Hz yaitu 0,99 dengan bentuk permukaan *styrofoam* berlobang tembus. Nilai impedansi panel akustik pada bahan *styrofoam* tertinggi yaitu 4,16

dyne.s/cm<sup>5</sup> pada frekuensi 1000 Hz pada sampel *styrofoam* berlobang tembus. Material akustik terbaik adalah *styrofoam* dengan sampel permukaan yang berlobang tembus dengan diameter lobang 0,8 cm dan kedalaman 1,8 cm. Penggunaan *styrofoam* dalam penyerapan bunyi layak digunakan sebagai bahan absorpsi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Beranek, L. L. (1993). *Acoustics*. Acoustical Society of America. New York.
- Fatkhurrohmah, M. A. (2013). Tingkat Redam Bunyi Suatu Bahan (Triplek, Gypsum Dan Styrofoam). *Jurnal Fisika Unnes*, 3(2).
- Ikhsan, K., Elvaswer, E., & Harmadi, H. (2017). Karakteristik Koefisien Absorpsi Bunyi dan Impedansi Akustik Dari Material Berongga Plafon PVC Menggunakan Metode Tabung Impedansi. *Jurnal Ilmu Fisika | Universitas Andalas*, 8(2). <https://doi.org/10.25077/jif.8.2.64-69.2016>
- Jeon, C. K., Lee, J. S., Chung, H., Kim, J. H., & Park, J. P. (2017). A study on insulation characteristics of glass wool and mineral wool coated with a polysiloxane agent. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/3938965>
- Jiang, X., Wang, Z., Yang, Z., Zhang, F., You, F., & Yao, C. (2018). Structural design and sound absorption properties of nitrile butadiene rubber-polyurethane foam composites with stratified structure. *Polymers*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/polym10090946>
- Li, X., Liu, B., & Chang, D. (2021). An acoustic impedance structure consisting of perforated panel resonator and porous material for low-to-mid frequency sound absorption. *Applied Acoustics*, 180. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108069>
- Lin, J. H., Chuang, Y. C., Li, T. T., Huang, C. H., Huang, C. L., Chen, Y. S., & Lou, C. W. (2016). Effects of perforation on rigid PU foam plates: Acoustic and mechanical properties. *Materials*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/ma9121000>
- Muhammad Munir dan Dzulkifli. (2015). Pemanfaatan Fluk Pada Styrofoam Sebagai Bahan Dasar Peredam Suara Dengan Metode Tabung Impedansi. *Inovasi Fisika Indonesia*, 04(1), 41–47.
- Rezita, Y., Elvaswer, E., & Rasyid, R. (2019). Koefisien Absorpsi Bunyi dan Impedansi Akustik dari Ampas Singkong (*Manihot esculenta*) dengan Menggunakan Metode Tabung. *Jurnal Fisika Unand*, 8(2). <https://doi.org/10.25077/jfu.8.2.146-150.2019>
- Rohman, A. S., Yulianto, A., & Nurbaiti, U. (2022). Aplikasi Styrofoam Sebagai Absorpsi Bunyi. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.23960/jtaf.v10i1.2817>
- Sandi, S., Kumalasari, K., Akbar, J., Sari, R., & Afriani, F. (2020). Pengukuran Koefisien Serapan Bunyi Spons dan Styrofoam dengan Menggunakan Smartphone. *Jurnal Riset Fisika Indonesia*, 1(1), 13–16. <https://doi.org/10.33019/jrfi.v1i1.2011>
- Setyowati, E. (2014). Eco-building Material of Styrofoam Waste and Sugar Industry Fly-ash based on Nano-technology. *Procedia Environmental Sciences*, 20, 245–253. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2014.03.031>
- Taban, E., Tajpoor, A., Faridan, M., Samaei, S. E., & Beheshti, M. H. (2019). Acoustic Absorption Characterization and Prediction of Natural Coir Fibers. *Acoustics Australia*, 47(1), 67–77. <https://doi.org/10.1007/s40857-019-00151-8>