

Karakterisasi Akustik dan Kinerja Serat Kulit Durian sebagai Material Penyerap Bunyi Alami

Acoustic Characterization and Performance of Durian Husk Fibers as a Natural Sound-Absorbing Material

Received 28 July 2025

Accepted 6 September 2025

Published September 2025

Siti Zahra^{1,*} dan Nurlaela Rauf¹

¹Departemen Fisika, Universitas Hasanuddin, Makassar, 90245.

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kemampuan serat kulit durian (*Durio zibethinus*) sebagai bahan dasar pembuatan material akustik ramah lingkungan. Sampel dibuat dalam bentuk komposit dengan komposisi tetap serat kulit durian dan resin epoksi sebesar 2:1 dengan variasi ketebalan 1 cm, 2 cm, 3 cm, dan 4 cm. Pengukuran koefisien absorpsi bunyi dilakukan menggunakan metode tabung impedansi berdasarkan standar ISO 10534-2 dalam rentang frekuensi 200-1600 Hz. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh sampel memiliki performa akustik yang baik. Sampel dengan ketebalan 3 cm memberikan performa terbaik dengan nilai koefisien absorpsi tertinggi sebesar 0,98 pada frekuensi 1600 Hz. Penambahan ketebalan hingga 4 cm menurunkan kinerja material, hal ini menunjukkan adanya batas optimal ketebalan terhadap penyerapan bunyi. Penelitian ini mengindikasikan bahwa serat kulit durian memiliki potensi tinggi sebagai material akustik alternatif yang bersifat efektif dan berkelanjutan, khususnya untuk meredam kebisingan pada frekuensi menengah hingga tinggi.

Kata Kunci: Serat Durian, Akustik, Bahan Akustik, Serapan Bunyi, Koefisien Absorpsi

Abstract. This study aims to investigate the potential of durian husk fiber (*Durio zibethinus*) as the base material for environmentally friendly acoustic panels. The samples were prepared as composites with a fixed composition ratio of durian husk fiber and epoxy resin at 2:1, and with varying thicknesses of 1 cm, 2 cm, 3 cm, and 4 cm. The sound absorption coefficient was measured using the impedance tube method based on ISO 10534-2 in the frequency range of 200–1600 Hz. The results showed that all samples demonstrated good acoustic performance. The 3 cm thick sample provided the best performance with the highest absorption coefficient value of 0.98 at a frequency of 1600 Hz. Increasing the thickness to 4 cm reduced the material's acoustic performance, indicating an optimal thickness limit for sound absorption. This study indicates that durian husk fiber has high potential as an alternative acoustic material that is effective and sustainable, especially for absorbing noise in mid to high frequency ranges.

Keywords: Durian Fiber, Acoustics, Acoustic Material, Sound Absorption, Absorption Coefficient

Pendahuluan

Kemajuan teknologi, industrialisasi, dan urbanisasi memicu peningkatan tingkat kebisingan di lingkungan masyarakat (Peng et al., 2025). *World Health Organization* (WHO) mencatat bahwa kebisingan sering dianggap sebagai ancaman yang kurang penting (Ma et al., 2024), padahal kebisingan termasuk jenis polusi suara yang menduduki peringkat ketiga paling berbahaya setelah polusi udara dan air (Hou et al., 2025). Dampak kebisingan meliputi gangguan kesehatan seperti stres, gangguan pendengaran, kesulitan tidur, bahkan gangguan kardiovaskular (Tao et al., 2021), serta memengaruhi kondisi mental ibu hamil dan perkembangan fungsi otak anak (Jigeer et al., 2022). Menurut laporan *Frontiers* 2022 dari *United Nations Environment Programme*, paparan kebisingan jangka panjang menyebabkan 12.000 kematian dini per tahun di Eropa, dengan kondisi yang lebih buruk di Asia (Yu et al., 2024).

Dampak buruk dari kebisingan sebenarnya telah diketahui sejak lama, adapun upaya mengurangi dampak dari kebisingan masih terus menjadi bahan penelitian (Gannouni et al., 2024). Solusi terkait upaya mengurangi kebisingan dapat dilakukan dengan mengendalikan jalur propagasi kebisingan untuk mencegah dan mengelola kebisingan secara baik, dengan kata lain meredam kebisingan. Dalam proses ini, salah satu faktor terpenting adalah memilih material akustik dengan kemampuan meredam kebisingan yang tinggi (Duan et al., 2025). Material akustik adalah bahan yang mampu menyerap energi suara dan umumnya dibuat dalam bentuk komposit (Datuela et al., 2023). Material akustik sebagai peredam kebisingan biasanya dibuat dalam bentuk komposit. Material komposit merupakan hasil perpaduan antara dua atau lebih material dengan karakteristik fisik atau kimia yang berbeda, sehingga membentuk karakteristik baru yang tidak dimiliki masing-masing material penyusunnya secara individu (Arenas & Sakagami, 2020). Komposit terdiri atas dua komponen penyusun, yaitu penguat atau pengisi (*filler*) dan perekat (*matrix*) (Mallick, 2007).

Material konvensional seperti *glasswool* dan *rockwool* memang efektif, tetapi memiliki kekurangan seperti mudah rusak, menyebabkan iritasi kulit, dan biaya produksi yang tinggi (Wilujeng et al., 2022). Kedua material peredam kebisingan ini memiliki kemampuan baik dalam menyerap bunyi, namun juga magmalike kelemahan seperti mudah rusak dalam tekanan tinggi, dapat menimbulkan iritasi pada kulit, serta harganya kurang terjangkau secara ekonomis

(Ulfiyah et al., 2023). Penggunaan serat alam sebagai filler dinilai lebih aman, ramah lingkungan, dan mudah diperoleh (Suhaeri et al., 2024). Beberapa di antaranya, seperti serat rami, goni, dan pisang, terbukti memiliki struktur berpori dan kemampuan menyerap suara yang baik (Wijekoon et al., 2024). Serat alam dapat berfungsi sebagai bahan penguat utama dalam material komposit. Ketika gelombang suara mengenai suatu material, maka gelombang tersebut dapat mengalami proses penyerapan (absorpsi) oleh material tersebut (Syahputra, 2024). Efektivitas penyerapan bunyi dinilai melalui koefisien absorpsi bunyi, yang dipengaruhi oleh ketebalan, porositas, dan struktur internal material (Alderson et al., 2025).

Salah satu serat alam potensial yang belum banyak diteliti adalah serat kulit durian. Serat ini mengandung 50–60% selulosa, 30,7% hemiselulosa, 13,6–15,6% lignin, dan 5% pati (Tambun et al., 2024). Kandungan selulosa yang tinggi memberikan kekuatan mekanik serta potensi sebagai material penyerap bunyi (Agumba et al., 2024). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kemampuan serat kulit durian (*Durio zibethinus*) sebagai bahan pengisi dalam komposit akustik dengan pengujian koefisien absorpsi bunyi menggunakan metode tabung impedansi.

Metodologi

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah wadah, kain, pisau, talenan, *aluminium foil*, *blender*, gelas ukur, pengaduk, neraca digital, *oven*, cetakan silinder berdiameter 10 cm, penggaris, dan tabung impedansi. Bahan yang digunakan adalah kulit durian, resin epoksi, *hardener*, NaOH 4%, dan aquades.

Pembuatan Serat Kulit Durian

Kulit durian dipisahkan terlebih dahulu dari kotoran-kotoran yang menempel, kemudian dicuci menggunakan air hingga bersih. Setelah itu, bagian kulit dan durinya dipisahkan, kemudian dipotong kecil-kecil dan dihancurkan menggunakan *blender* hingga terlihat serat-serat kulit duriannya. Serat kulit durian kemudian diperas menggunakan kain dan dijemur di bawah sinar matahari selama tiga hari di ruang terbuka untuk menghilangkan kadar air yang masih terkandung di dalamnya (Aziza & Elvaswer, 2022). Serat kulit durian kemudian direndam dalam larutan NaOH dengan kadar 4% selama 30 menit (Lokesh et al., 2025). Setelahnya, dibilas menggunakan aquades hingga serat bersih dari sisa-sisa larutan NaOH, kemudian masukkan serat ke dalam oven dengan suhu 100°C selama 60 menit (Zulkarnain et al., 2024).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 1 Preparasi serat kulit durian: (a) kulit durian, (b) potongan-potongan kulit durian, (c) proses penghancuran, (d) proses penjemuran dan (e) pengeringan serat kulit durian menggunakan oven

Pembuatan Komposit

Perbandingan serat kulit durian dan *matrix* (resin epoksi dan *hardener*) adalah 2 : 1. Resin epoksi mempunyai kemampuan ketahanan terhadap korosi dan asam-basa. Epoksi memiliki kekuatan mekanik tertinggi diantara resin jenis lainnya, serta dapat menahan penyerapan air dengan baik terhadap suatu material (Nurfadilah et al., 2025). Resin epoksi dicampurkan dengan *hardener* lalu diaduk hingga homogen, serat kulit durian kemudian dicampur dengan *matrix* hingga merata ke seluruh permukaan serat. Cetakan silinder yang berdiameter 10 cm terlebih dahulu dilapisi *aluminium foil* secara keseluruhan, kemudian diisi campuran serat dan *matrix*. Setelah itu, sampel ditekan dengan beban berat dan dидiamkan selama 24 jam lalu dipisahkan dari cetakan. Sampel pada penelitian ini diatur pada ketebalan 1 cm, 2 cm, 3 cm dan 4 cm.

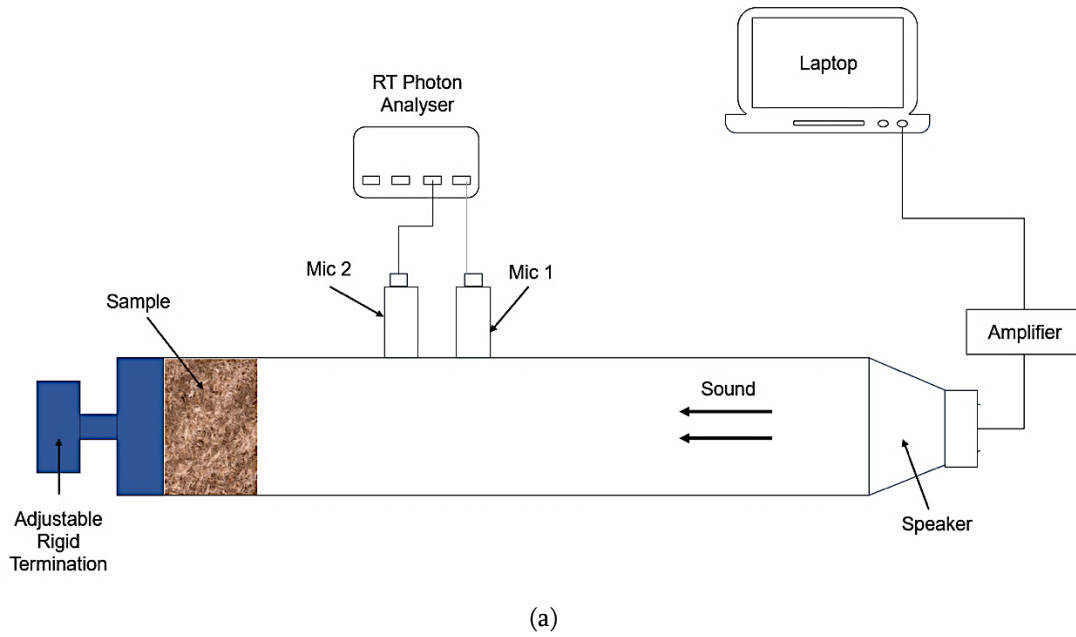


Gambar 2 Contoh sampel uji yang dibuat

Pengambilan Data

Pengujian koefisien absorpsi bunyi (α) dilakukan di dalam ruang akustik tertutup menggunakan metode tabung impedansi berdasarkan standar ISO 10534-2. Metode ini bekerja dengan membentuk gelombang datar di dalam tabung melalui sumber bunyi (*speaker*), yang kemudian dianalisis pada medan interferensi dengan mengukur tekanan akustik pada dua titik tetap menggunakan dua mikrofon (ISO 10534-2, 1998). Sampel uji ditempatkan pada penahan (*holder*) di ujung tabung, sedangkan sumber bunyi terhubung melalui *amplifier* yang mengalirkan sinyal suara ke dalam tabung impedansi.

Pengukuran dilakukan dalam rentang frekuensi 200-1600 Hz. Tabung impedansi yang digunakan memiliki frekuensi maksimum pengukuran hingga 1600 Hz. Gelombang suara yang dihasilkan akan merambat melalui tabung, mengenai permukaan material uji, kemudian sebagian dari energi bunyi tersebut diserap oleh material dan sisanya dipantulkan. Dua mikrofon yang terpasang di sepanjang dinding tabung akan melihat perbedaan tekanan akustik yang selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai koefisien absorpsi bunyi (Li et al., 2023). Data hasil pengukuran secara otomatis terekam dan diproses oleh perangkat lunak yang terhubung dengan sistem tabung impedansi (Kassim et al., 2023).



Gambar 3 Pengujian sampel: (a) skema tabung impedansi dan (b) pemasangan sampel uji

Pengolahan Data

Pers (1) dan (2) digunakan untuk mengkonversikan nilai tegangan dari mikrofon 1 dan 2 menjadi persamaan gelombang, serta X_1 dan X_2 bergantung dengan frekuensi yang telah diatur sebelumnya. Nilai X_1 dan X_2 sangat dipengaruhi oleh frekuensi yang dihasilkan oleh *speaker*, karena posisi X_1 akan berada di titik simpul (*nodes*) gelombang sementara posisi X_2 berada di perut (*antinodes*) gelombang. Posisi simpul dan perut gelombang akan berubah seiring dengan meningkatnya frekuensi, sehingga akan menghasilkan rasio gelombang berdiri. Untuk mengkonversi nilai tegangan dari mikrofon 1 dan mikrofon 2 menjadi persamaan gelombang, dapat dilihat dalam persamaan berikut (Marcellino et al., 2025):

$$V_1 = Ae^{i(\omega t - kx_1)} + Be^{i(\omega t + kx_1)} \quad (1)$$

$$V_2 = Ae^{i(\omega t - kx_2)} + Be^{i(\omega t + kx_2)} \quad (2)$$

dengan V_1 dan V_2 adalah tekanan suara total yang diukur oleh mikrofon 1 dan mikrofon 2 (Pa), A merupakan amplitudo gelombang datang (Pa), B merupakan amplitudo gelombang pantul (Pa), ω adalah frekuensi sudut (rad/s) dengan $\omega = 2\pi f$ dan f = frekuensi, t adalah waktu (s), k merupakan bilangan gelombang (rad/m) dengan $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, x_1 dan x_2 ialah jarak mikrofon 1 dan mikrofon 2 dari sampel (m), dan i merupakan bilangan imajiner ($i^2 = -1$), digunakan dalam analisis fasa.

Setelah persamaan gelombang dari masing-masing mikrofon diketahui, dilakukan proses eliminasi untuk menentukan amplitudo gelombang datang (A) dan gelombang pantul (B) yang kemudian digunakan untuk menghitung koefisien refleksi material (R) menggunakan persamaan berikut (Marcellino et al., 2025):

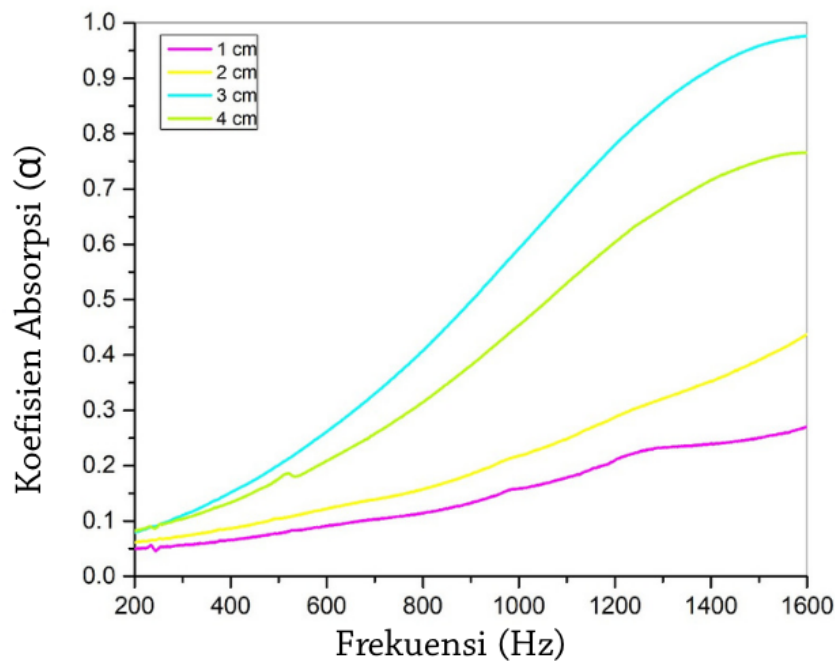
$$R = \frac{B}{A} \quad (3)$$

Selanjutnya, nilai koefisien absorpsi bunyi material yang diuji diperoleh melalui persamaan berikut (Marcellino et al., 2025):

$$\alpha = 1 - |R|^2 \quad (4)$$

Hasil Penelitian

Dari pengujian material akustik serat kulit durian ketebalan 1 cm, 2 cm, 3 cm, dan 4 cm pada tiap frekuensi uji didapatkan nilai koefisien absorpsi bunyi berbeda-beda. Koefisien absorpsi bunyi terus meningkat disebabkan oleh ketebalan sampel. Energi bunyi yang memasuki material uji berbanding lurus dengan volume sampel, namun hal ini tidak berlaku pada sampel dengan ketebalan 4 cm. Hasil pengukuran dari keempat sampel menunjukkan hubungan antara nilai koefisien absorpsi bunyi dan frekuensi dalam rentang 200-1600 Hz diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Grafik koefisien serat kulit durian ketebalan 1 cm hingga 4 cm

Sampel dengan ketebalan 1 cm mulai menunjukkan kemampuan menyerap bunyi secara efektif pada frekuensi 1000 Hz, dengan nilai koefisien absorpsi tertinggi sebesar 0,27 pada frekuensi 1600 Hz. Namun, nilai koefisien absorpsi bunyi pada frekuensi rendah, yaitu 200 Hz sangat kecil mendekati nol. Hal ini menunjukkan bahwa material dengan ketebalan 1 cm belum optimal dalam menyerap gelombang bunyi, khususnya pada frekuensi rendah. Sementara itu, sampel dengan ketebalan 2 cm menunjukkan kinerja lebih baik karena pada frekuensi 800 Hz telah dapat menyerap bunyi secara efektif dengan nilai absorpsi tertinggi sebesar 0,44 pada frekuensi 1600 Hz. Kinerja ini meningkat dibandingkan sampel 1 cm, hal ini sejalan dengan prinsip bahwa material lebih efektif menyerap bunyi pada frekuensi tinggi seiring bertambahnya ketebalan. Material yang tipis cenderung memiliki resonansi rendah terhadap gelombang panjang dan lebih efektif menyerap gelombang pendek, frekuensi tinggi. Sebaliknya, material yang lebih tebal akan memperbesar jalur propagasi dan gesekan internal partikel, sehingga meningkatkan kemampuan daya serap bunyi (Gómez Escobar et al., 2021).

Sampel dengan ketebalan 3 cm menunjukkan kinerja paling optimal dari sampel dengan ketebalan yang lainnya. Mulai dari frekuensi 400 Hz, nilai koefisien absorpsi bunyi yang dicapai telah melebihi 0,15 dan mencapai nilai

tertingginya pada frekuensi 1600 Hz sebesar 0,98. Nilai ini merupakan yang tertinggi diantara sampel uji yang lain, bahkan melebihi sampel 4 cm. Kemampuan penyerapan bunyi sampel 3 cm mencakup rentang frekuensi menengah hingga tinggi, yaitu 400-1600 Hz dan secara umum menunjukkan peningkatan signifikan dibandingkan sampel ketebalan 1 cm dan 2 cm. Dengan performa ini, sampel 3 cm dapat dikategorikan sebagai material akustik komposit yang efektif.

Sampel 4 cm mulai menyerap bunyi secara efektif pada frekuensi 500 Hz dengan nilai puncak absorpsi sebesar 0,75 pada frekuensi 1600 Hz. Meskipun secara teoritis peningkatan ketebalan seharusnya meningkatkan kinerja penyerapan, namun pada sampel 4 cm ini justru terjadi penurunan dibandingkan sampel 3 cm. Hal ini menunjukkan adanya titik jenuh yang menyebabkan peningkatan ketebalan tidak lagi berbanding lurus dengan peningkatan kemampuan serap bunyi. Faktor yang juga menjadi penyebab ialah ketidaksesuaian antara panjang gelombang dan karakteristik fisik material yang menyebabkan sebagian energi gelombang dipantulkan kembali tanpa diserap secara optimal. Hal ini juga telah terjadi pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Putra et al., 2022, penambahan ketebalan menjadi 4 cm ternyata menghasilkan penurunan nilai koefisien absorpsi dan hal ini menunjukkan adanya titik jenuh. Nilai koefisien absorpsi tertinggi dicapai oleh sampel dengan ketebalan 30 mm, yaitu 0,98 pada frekuensi 2250 Hz dan kemudian mengalami penurunan performa akustik pada ketebalan 40 mm yang hanya mencapai 0,93 pada frekuensi tertinggi 4500 Hz.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian terhadap material komposit akustik berbahan dasar serat kulit durian diperoleh bahwa ketebalan berpengaruh signifikan terhadap kinerja penyerapan bunyi. Sampel dengan ketebalan 3 cm menunjukkan performa paling optimal dengan nilai koefisien absorpsi bunyi tertinggi sebesar 0,98 pada frekuensi 1600 Hz, serta mampu menyerap gelombang bunyi secara efektif pada rentang frekuensi menengah hingga tinggi (400–1600 Hz). Kinerja ini melampaui performa sampel dengan ketebalan 1 cm, 2 cm, maupun 4 cm. Penurunan kinerja pada sampel 4 cm mengindikasikan adanya titik jenuh, di mana penambahan ketebalan tidak lagi meningkatkan daya serap bunyi secara signifikan. Oleh karena itu, ketebalan 3 cm dapat direkomendasikan sebagai batas optimal dalam penerapan material serat kulit durian sebagai penyerap bunyi alami yang efektif dan berkelanjutan.

Referensi

- Agumba, D.O., Pham, D.H., Park, G., Kumar, B. and Kim, J., (2024). Strength and toughness of bioderived resin based on hyperbranched crosslinking and its application to cellulose long Filament-Reinforced polymer composite. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 181, p.108098. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2024.108098>
- Alderson, B., Osman, A., El-Sayed, M.A. and Essa, K., (2025). Labour diagnostics using the intrauterine pressure through sound waves emitted by a smartphone. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 63(6), pp.1849–1866. <https://doi.org/10.1007/s11517-025-03305-1>
- Arenas, J.P. and Sakagami, K., (2020). Sustainable acoustic materials. *Sustainability (Switzerland)*, 12(16). <https://doi.org/10.3390/su12166540>
- Aziza, Y. and Elvaswer, E., (2022). Pengaruh Ketebalan Panel Akustik dari Limbah Kulit Durian terhadap Koefisien Absorpsi dan Impedansi Akustik. *Jurnal Fisika Unand*, 11(2), pp.208–213. <https://doi.org/10.25077/jfu.11.2.208-213.2022>
- Datuela, M.F., Rahmayanti, R., Saputra, W., Mutmainnah, N. and Syafriani, S., (2023). Perbandingan Material Akustik dalam Menyerap Bunyi. *JAMBURA Journal of Architecture*, 5(1), pp.92–96. <https://doi.org/10.37905/jjoa.v5i1.19773>
- Duan, Y., Chen, X., Xia, H., Liu, Y., You, F., Jiang, X., Ren, L. and Zhou, D., (2025). Fabrication, structural regulation and future applications of acoustic polymer materials: A review. *Applied Materials Today*, 44, p.102709. <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2025.102709>
- Gannouni, N., Wang, J., Rhouma, K.B. and Mhamdi, A., (2024). Human health effects associated with occupational and environmental acoustic trauma. *Health Sciences Review*, 12, p.100181. <https://doi.org/10.1016/j.hsr.2024.100181>
- Gómez Escobar, V., Moreno González, C. and Rey Gozalo, G., (2021). Analysis of the Influence of Thickness and Density on Acoustic Absorption of Materials Made from Used Cigarette Butts. *Materials*, 14(16), p.4524. <https://doi.org/10.3390/ma14164524>
- Hou, L., Lu, Y., Xu, N. and Zhang, L., (2025). Unveiling the impacts of noise pollution on marine fish community dynamics. *Ecological Modelling*, 505, p.111117. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2025.111117>
- ISO 10534-2., 1998. Acoustics-Determination of Sound Absorption Coefficient and Impedance in Impedance Tubes.
- Jigeer, G., Tao, W., Zhu, Q., Xu, X., Zhao, Y., Kan, H., Cai, J. and Xu, Z., (2022). Association of residential noise exposure with maternal anxiety and depression in late pregnancy. *Environment International*, 168, p.107473. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107473>
- Kassim, D.H., Putra, A. and Ramlan, R., (2023). Enhancement of sound absorption of coir fiber using thin layer of kapok fibers. *Journal of Natural Fibers*, 20(1). <https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2164103>
- Li, X., Cao, Z., Xu, L. and Liu, B., (2023). Sound Absorption of the Absorber Composed of a Shunt Loudspeaker and Porous Materials in Tandem. *Polymers*, 15(14), p.3051. <https://doi.org/10.3390/polym15143051>

- Lokesh, K.S., Shrinivasa Mayya, D., Yashwanth, H.L., Sharanya, I.S., Hrithika, N. and Channa Keshava Reddy, K.L., (2025). Evaluation of Mechanical, Acoustic and Vibration Characteristics of Calamus Rotang Based Hybrid Natural Fiber Composites. *Results in Engineering*, 25, p.104475. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104475>
- Ma, J., Zhang, J., Zhang, Y. and Wang, Z., (2024). Causal effects of noise and air pollution on multiple diseases highlight the dual role of inflammatory factors in ambient exposures. *Science of The Total Environment*, 951, p.175743. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175743>
- Mallick, P.K., (2007). *Fiber-reinforced composites: materials, manufacturing, and design*. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press.
- Marcellino Henrikus, F., Sutresno, A. and Ferdy Samuel Rondonuwu, (2025). Pengujian Material Absorpsi Bunyi dari Serbuk Kayu Menggunakan Tabung Impedansi Dua Mikrofon. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 13(01). <https://doi.org/10.23960/jtaf.v13i01.455>
- Nurfadilah, N., Hernawati, H., Jumardin, J. and Said, M., (2025). Analysis of Sound Absorption of Acoustic Boards Made From Hemp Fiber (*Boehmeria Nivea* L. Gaud) and Epoxy Resin. *Jurnal Ilmu Fisika dan Pembelajaran*, 9(1). <https://jurnal.radenfatah.ac.id/index.php/jifp/>
- Peng, H., Qin, W., Xue, Y., Li, G., Yan, R., Zhou, B., Pang, J., Zhao, X. and Guo, R., (2025). Synergistic regulation in aramid nanofiber-based composite aerogels for thermo-acoustic insulating applications. *Applied Materials Today*, 43, p.102671. <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2025.102671>
- Suhaeri, S., Fulazzaky, M.A., Husaini, H., Dirhamsyah, M. and Hasanuddin, I., (2024). Application of *Scirpus grossus* fiber as a sound absorber. *Heliyon*, 10(7), p.e28961. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28961>
- Syahputra, P., (2024). Karakteristik Koefisien Absorpsi Bunyi dan Impedansi Akustik dari Serat Alam Menggunakan Metode Tabung. *Jurnal Fisika Unand*, 12(4), pp.548–553. <https://doi.org/10.25077/jfu.12.4.548-533.2023>
- Tambun, R., Haryanto, B., Alexander, V., Manurung, D.R. and Ritonga, A.P., (2024). Durian peel (*Durio zibethinus*) utilization as an adsorbent in the purification of acidified crude glycerol. *South African Journal of Chemical Engineering*, 49, pp.162–169. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2024.05.002>
- Tao, Y., Ren, M., Zhang, H. and Peijs, T., (2021). Recent progress in acoustic materials and noise control strategies – A review. *Applied Materials Today*, 24, p.101141. <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2021.101141>
- Ulfyah, L., Rohmah, F. and Wilujeng, A.D., (2023). Pemanfaatan Serabut Kelapa dan Tray Telur sebagai Material Komposit Peredam Suara pada Mobil. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 12(2). <https://doi.org/10.24127/trb.v12i2.2568>
- Wijekoon, N.K., Appuhamillage, G.A., Dassanayake, R.S., Liyanage, R.N., Mapage, D., Wijenayake, A., Lokuge, E.L., Rajapaksha, S.M., Abeygunawardane, G.A. and Senarath, N.D.D.D., (2024). Facile fabrication of 3D-printed cellulosic fiber/polylactic acid composites as low-cost and sustainable acoustic panels. *Sustainable Chemistry for the Environment*, 8, p.100168. <https://doi.org/10.1016/j.scenv.2024.100168>
- Wilujeng, A.D., Ulfyah, L., Annafiyah, A. and Taqiuddin, M.H., (2022). Pembuatan Material Komposit Berbahan Dasar Sabut Kelapa dan Jerami Padi sebagai Peredam Kebisingan. *Jurnal Technopreneur (JTech)*, 10(1), pp.1–4. <https://doi.org/10.30869/jtech.v10i1.889>
- Yu, W., Zhu, B. and Liu, X., (2024). Text analysis of China's noise pollution prevention and control policy from the perspective of policy tools. *Environmental Technology & Innovation*, 34, p.103569. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103569>
- Zulkarnain, M., Harny, I., Insdrawaty, M.I., Azman, M.I.F., Azmi, M.I.A. and Kusriani, E., (2024). Study on Nature Fiber Composite for Noise Material Control. *International Journal of Technology*, 15(3), pp.618–627. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v15i3.6442>