

Andromeda Dwi Laksono

Dosen
Institut Teknologi Kalimantan
Program Studi Teknik Material dan
Metalurgi
andromeda@itk.ac.id

Lusi Ernawati

Dosen
Institut Teknologi Kalimantan
Program Studi Teknik Kimia
lusiernawati@itk.ac.id

Desy Maryanti

Mahasiswa S1
Program Studi Teknik Material dan
Metalurgi, Jurusan Ilmu Kebumihan dan
Lingkungan
Institut Teknologi Kalimantan
desymaryanti25@gmail.com

PENGARUH FRAKSI VOLUME KOMPOSIT POLYESTER BERPEN- GUAT LIMBAH SERBUK KAYU BANGKIRAI TERHADAP SIFAT MATERIAL AKUSTIK

*The use of Glasswool as a commercial sound absorber is growing rapidly nowadays. Unfortunately, this material contains a high silica fiber which is harmful to human health. Herein, we present an improved preparation route of the composite material consisted of natural fiber made from Bangkirai wood waste (*Shorea Laevifolia* Endert) as a filler and unsaturated polyester as a matrix through hand lay-up method. The absorption testing, reflection, and sound transmission were performed by varying the volume fraction 0, 20, 40, and 60% of Bangkirai wood powder as a filler. It was obtained that the highest value of the sound absorption coefficient (α) contained in the composite with a 60 % volume fraction, which is 0.49, which still approaching the Glasswool as the standard frequency. The value is also included in the category of Sound Absorption Coefficient Class D with the range 0.30-0.55 based on ISO standard 11654. From the obtained results, this composite material has the potential ability to absorb sound in controlling noise and possibility as a commercial sound absorber.*

Keywords: Bangkirai, Composite, Glasswool, Sound Absorption, Wood Waste

1. PENDAHULUAN

Perkembangan jaman yang semakin maju menyebabkan semakin berkembangnya peralatan yang digunakan oleh manusia seperti peralatan industri, komunikasi, sarana informasi dan hiburan. Sebagian besar peralatan tersebut menghasilkan suara-suara yang tidak diinginkan sehingga menimbulkan kebisingan. Selain paparan suara mesin industri, kebisingan juga disebabkan oleh aktivitas transportasi yakni pesawat terbang yang memiliki tingkat kebisingan hingga mencapai 95-105 dB. Hal ini menjadi penyebab terganggunya pendengaran meskipun telinga bersifat sebagai fonoreseptor yang dapat merespon suara kisaran antara 0–140 dB [1]. Jika manusia merespon suara mencapai 140 dB akan terjadi kerusakan pada organ-organ gendang telinga. Warga yang menetap di kawasan bandara sebagai contoh lebih sering terpapar kebisingan sehingga mengancam psikologis seperti mudah marah dan rasa tidak nyaman selain itu terganggunya biologis seperti sistem kerja jantung, peredaran darah, dan sistem pernafasan [2].

Salah satu upaya untuk mengurangi tingkat kebisingan adalah dengan menggunakan alat peredam suara. Jenis bahan peredam suara yang sudah ada yaitu bahan berpori, resonator dan panel. Dari ketiga jenis bahan tersebut, bahan berporilah yang sering digunakan, khususnya untuk ruangan yang sempit seperti perumahan dan perkantoran. Hal ini disebabkan karena bahan berpori relatif lebih murah dan ringan dibandingkan dengan peredam lain [3]. Kualitas dari bahan peredam suara ditunjukkan dengan harga α (koefisien penyerapan suara terhadap bunyi). Nilai α bernilai dari 0 sampai 1. Semakin besar α maka semakin baik digunakan sebagai peredam suara. Jika α bernilai 0 berarti tidak ada bunyi yang diserap. Sedangkan bila α bernilai 1, artinya semua (100 %) bunyi yang datang diserap oleh bahan [4].

Jenis material komersial yang banyak digunakan sebagai peredam suara adalah Glasswool namun berbahaya dikarenakan terbuat dari serat sintetis produksi bahan berserat anorganik yang mengandung serat silika. Glasswool jika dihirup akan menetap di paru-paru sehingga bersifat karsinogenik memicu terjadinya kanker [5]. Oleh karena itu, beberapa tahun terakhir peneliti mengembangkan material dan teknologi baru untuk meningkatkan sifat akustik pada material komposit serat alam dan lebih ramah terhadap lingkungan.

Komposit merupakan sebuah material yang terdiri atas dua komponen atau lebih yang berbeda baik secara fisik, sifat, serta strukturnya jika dicampurkan menjadi satu akan membentuk sebuah ikatan mekanik. Secara sederhana komposit berarti bahan gabungan dari dua atau lebih bahan yang berlainan yaitu serbuk atau serat sebagai pengisi dan bahan pengikat serat yang disebut matriks [6]. Serbuk ini merupakan bagian utama dalam hal menahan beban.

Seperti yang telah diketahui, banyak sekali serbuk kayu yang dihasilkan dari suatu proses biasanya hanya dianggap sebagai limbah buangan yang tak bernilai bahkan dibakar karena kurangnya pengetahuan masyarakat bahwa limbah kayu dapat dijadikan sebagai bahan peredam suara. Hal ini tentu menjadi nilai ekonomis apabila limbah kayu dapat dijadikan sebagai bahan peredam suara untuk mengurangi kebisingan.



Gambar 1. Kayu Bangkirai

Berbagai kayu sebagai pengisi komposit telah diteliti nilai koefisien absorpsi suaranya sesuai standarisasi menurut ASTM E 1050 menggunakan tabung impedansi salah satunya adalah kayu meranti. Kayu meranti pada frekuensi 1250 Hz, 1600 Hz, 2500 Hz memperoleh nilai α sebesar 0,99 dan pada frekuensi tertinggi 4000 Hz memperoleh nilai α 0,73. Hal ini menunjukkan jika kayu dapat dimanfaatkan sebagai material akustik bersifat absorber sesuai standarisasi ISO 11654. Menurut ISO 11654 bahwa nilai α (koefisien absorpsi) minimum bahan untuk dapat dikategorikan sebagai peredam suara adalah 0,15 dan klasifikasi kelas absorpsi suara seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Kelas Absorpsi Suara [7]

KELAS ABSORPSI SUARA	α
A	0,90; 0,95; 1,00
B	0,80; 0,85
C	0,60; 0,65; 0,70; 0,75
D	0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55
E	0,25; 0,20; 0,15
Tidak tergolong	0,10; 0,05; 0,00

Kayu bangkirai merupakan kayu asli Kalimantan seperti pada Gambar 1 dan hasil buangan limbah kayu sangat melimpah. Salah satunya adalah buangan serbuk kayu bangkirai (*Shorea Laevifolia Ender*), yang memiliki harga jual tinggi karena keawetannya yang sangat baik banyak dimanfaatkan untuk kebutuhan rumah tangga seperti meubel dan kusen. Namun, limbah serbuk hasil penggergajiannya di buang begitu saja oleh masyarakat sekitar [8]. Berakar dari permasalahan ini, penelitian ini dilakukan untuk memanfaatkan limbah serbuk kayu. Bangkirai sebagai bahan pengisi (*filler*) material komposit polyester. Material disintesa menggunakan metode *hand lay up*, kemudian diteliti dan dibahas kemampuan akustik pada material komposit serat alam dengan memvariasikan fraksi volume yang dimungkinkan aplikasinya pada bahan penyerap suara sebagai bahan absorber berupa panel.

2. METODE DAN BAHAN

2.1 Persiapan Serat Alam Kayu Bangkirai

Serat alam kayu Bangkirai disiapkan dengan cara menumbuk kayu Bangkirai hingga diperoleh serbuk yang halus dan diayak menggunakan mesh 40 seperti pada Gambar 2. Hasil ayakan tersebut kemudian dikeringkan selama 30 menit menggunakan oven pada temperatur 115 °C. Setelah proses pengeringan, serbuk kayu diukur beratnya menggunakan timbangan digital sesuai dengan fraksi volume yang ditentukan.



Gambar 2. Limbah Serbuk Kayu Bangkirai Ukuran 40 Mesh

2.2 Proses Pembuatan Cetakan

Tahapan awal pembuatan cetakan komposit dilakukan dengan membuat desain cetakan di kertas. Desain disesuaikan dengan ASTM E 1050 untuk cetakan uji material akustik. Desain cetakan yang sudah jadi digunting, kemudian ditempelkan pada infraboard. Setelah itu, infraboard dipotong dengan cutter mengikuti bentuk desain yang ditempelkan. Selanjutnya, potongan infraboard disambungkan menggunakan lem perekat fox. Cetakan yang sudah jadi dilapisi aluminium foil agar resin tidak menempel dan tidak memasuki rongga cetakan.

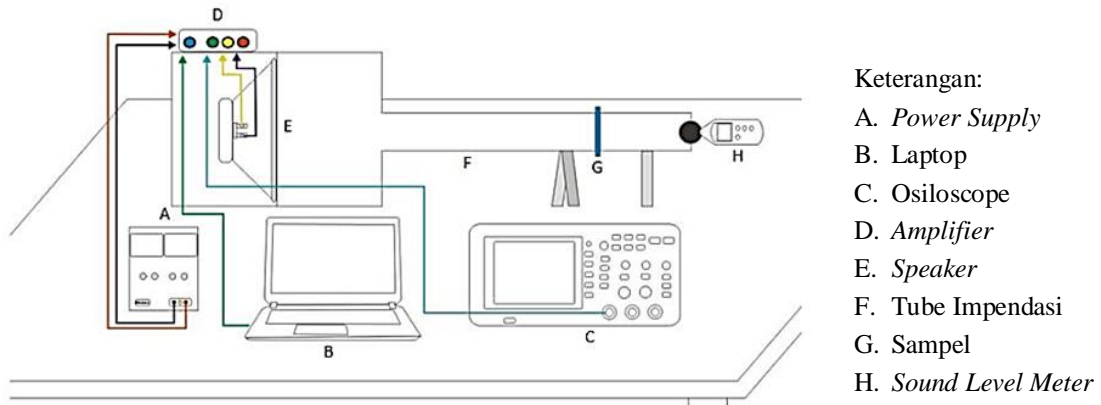
2.3 Proses Pembuatan Komposit

Komposit berbahan serat alam berupa limbah serbuk kayu bangkirai yang diperoleh dari Bengkel Las beralamat di Jalan Strat III No. 4 RT. 55 depan Tribun Kaltim Balikpapan sedangkan resin *polyester* tak jenuh diperoleh secara komersial dari Chemika Kimia Surabaya. Pembuatan komposit dilakukan dengan metode *hand lay up*. Tahapan pembuatan komposit dilakukan dengan cara mencampurkan resin polyester tak jenuh dengan serbuk kayu Bangkirai yang telah dihaluskan, dikeringkan, dan ditambahkan katalis kemudian diaduk di dalam sebuah wadah hingga diperoleh campuran yang homogen ditandai dengan menyatunya poliester tak jenuh dengan limbah serbuk kayu bangkirai. Selain itu, campuran homogen ini dapat ditentukan dengan keseragaman viskositas atau kekentalan tiap bagian. Hasil pencampuran kemudian dituangkan kedalam cetakan dan meratakannya menggunakan *roller*. Hasil cetakan komposit dikeringkan di temperatur ruang selama 1 hari. Setelah cetakan sudah cukup padat, kemudian diangkat dari cetakan dan dilakukan pengukuran dimensi. Langkah terakhir adalah melakukan proses penghalusan hasil komposit menggunakan kertas amplas *grade* 80-1000.

2.4 Pengujian Sifat Material Akustik

Pengujian ini berfungsi untuk mengetahui kemampuan sifat material akustik dari komposit berdasarkan standar ASTM E 1050. Pengujian dilakukan di Badan Penelitian dan Konsultasi Industri Surabaya. Tahapan pengujian dilakukan dengan cara preparasi sampel komposit dengan variasi fraksi volume yakni 0, 20, 40, dan 60 % V. Pengukuran nilai absorpsi, refleksi dan transmisi suara dilakukan dengan menggunakan Tabung impedansi, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Pengujian dilakukan pada frekuensi

yang telah ditentukan dari rentang 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, dan 2000 Hz sesuai standar ASTM E 1050.

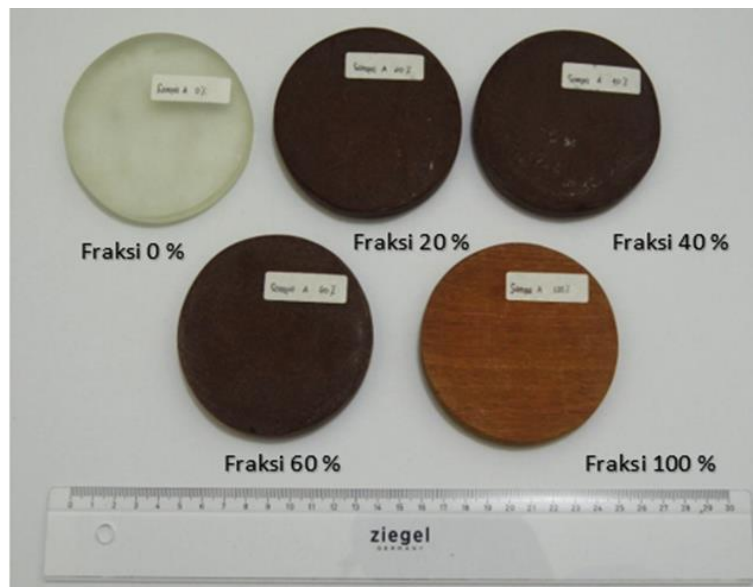


Gambar 3. Skema Alat Tabung Impendansi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pembuatan Komposit

Dalam penelitian ini, proses pembuatan komposit dilakukan dengan menggunakan metode *hand lay up*. Komposit dicetak sesuai dengan standar ASTM E 1050. Komposit yang dibuat dari limbah serbuk kayu bangkirai sebagai penguat dengan matriks berbahan polyester Gambar 4 menunjukkan spesimen sesuai standar ASTM E 1050.



Gambar 4. Sampel Uji Sifat Akustik

Dari Gambar 4 dapat diamati bahwa peningkatan fraksi filler serbuk bangkirai dalam pembuatan sampel komposit memiliki pengaruh yaitu menimbulkan warna sampel menjadi relatif lebih gelap. Hal ini dikarenakan penambahan fraksi filler kayu bangkirai sebagai penguat memiliki pengaruh dalam persebaran cahaya dalam komposit bermatriks *polyester* yang dalam hal ini *polyester* memiliki sifat yang mampu mentransmisikan cahaya atau sifat optik yang baik dengan kristalinitas yang cukup [9] sedangkan kayu bangkirai tidak mampu.

3.2 Hasil Pengujian Sifat Akustik

Akustik adalah ilmu yang mempelajari tentang suara atau bunyi. Dalam ilmu arsitektur, akustik terbagi menjadi dua yaitu akustika ruang dan kontrol kebisingan. Akustika ruang (*room acoustics*) adalah ilmu yang menangani bunyi yang dikehendaki sedangkan kontrol kebisingan (*noise control*) adalah ilmu yang menangani bunyi yang tak dikehendaki [10]. Pengujian sifat akustik dilakukan untuk mengetahui sifat material terhadap suatu sumber suara. Penelitian ini bertujuan sebagai inovasi dalam pengendalian kebisingan.

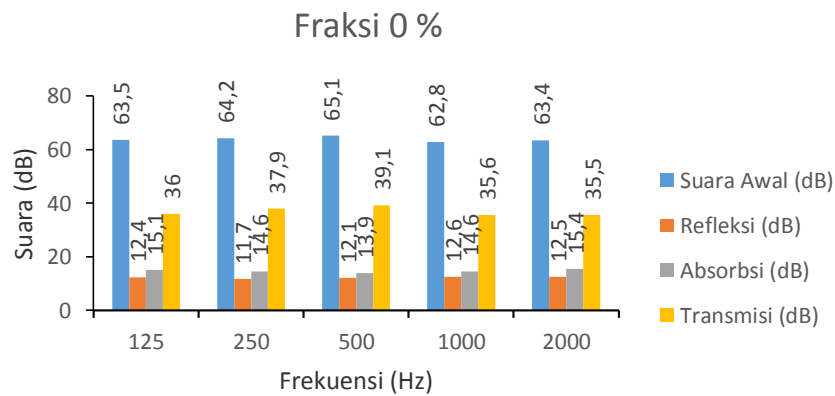
Dari penelitian ini, didapatkan data yang diperoleh berupa data refleksi (suara terpantul), data absorpsi (suara terserap), dan data transmisi (suara diteruskan) dari fraksi filler 0 %; 20 %; 40 %; 60 %; 100 % limbah serbuk kayu bangkirai. Berdasarkan persamaan 1 dimana diketahui nilai suara awal 63,5 dB, nilai refleksi ($R = 12,4$ dB) dan nilai absorpsi ($\alpha = 15,1$ dB) sehingga nilai transmisi untuk fraksi filler 0 % pada frekuensi 125 Hz. Berdasarkan persamaan 1 dimana diketahui nilai suara awal 63,5 dB, nilai refleksi ($R = 12,4$ dB) dan nilai absorpsi ($\alpha = 15,1$ dB) sehingga nilai transmisi untuk fraksi filler 0 % pada frekuensi 125 Hz sesuai dengan hasil di persamaan 2.

$$R + (T + \alpha) = 1 \tag{1}$$

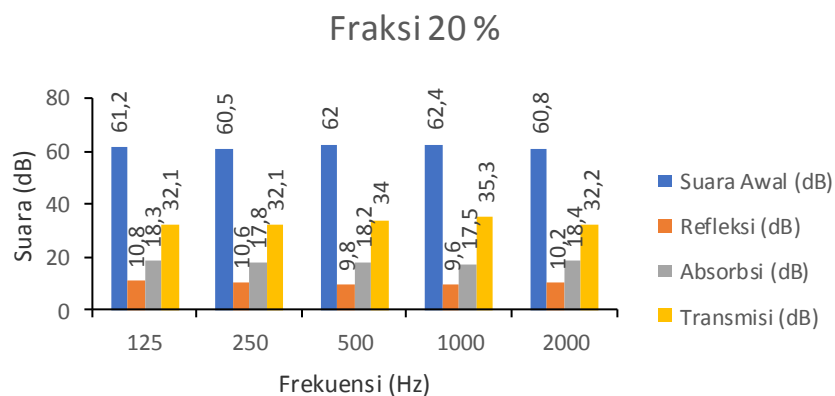
$$12,4 \text{ dB} + (T + 15,1 \text{ dB}) = 63,5 \text{ dB}$$

$$T = 36 \text{ dB} \tag{2}$$

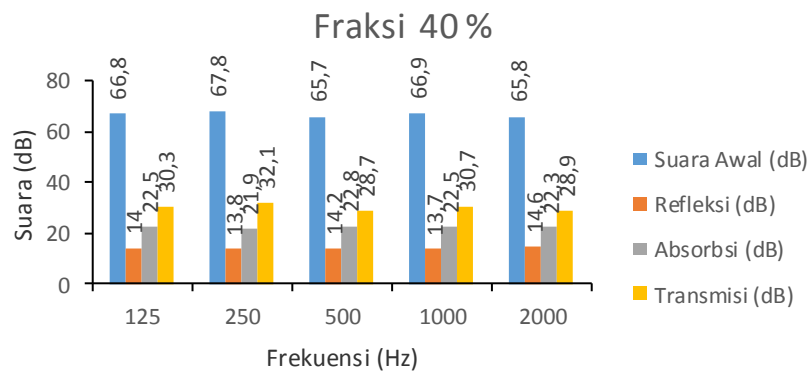
Dengan menggunakan persamaan yang sama maka diperoleh nilai transmisi masing-masing frekuensi dari fraksi filler komposit.



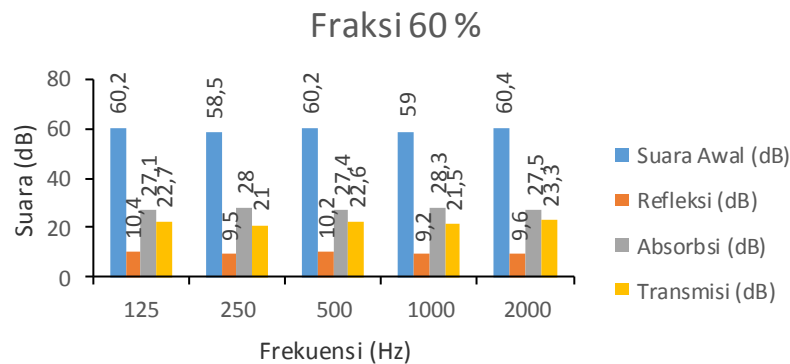
Gambar 5. Perbandingan Sifat Akustik Fraksi 0 %



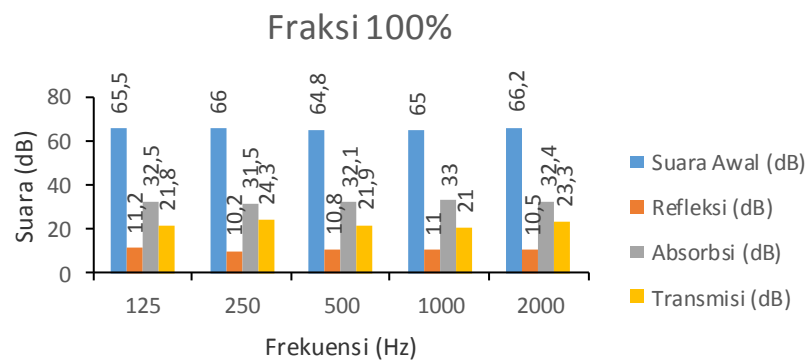
Gambar 6. Perbandingan Sifat Akustik Fraksi 20 %



Gambar 7. Perbandingan Sifat Akustik Fraksi 40 %



Gambar 8. Perbandingan Sifat Akustik Fraksi 60 %



Gambar 9. Perbandingan Sifat Akustik Fraksi 100 %

Berdasarkan Gambar 5-9 pada grafik diatas menunjukkan perbandingan nilai refleksi, absorpsi, dan transmisi suara pada frekuensi 125, 250, 500, 1000, dan 2000 Hz yang dimiliki oleh fraksi *filler* 0 %, 20 %, 40 %, 60 %, dan 100 %. Dari kelima grafik tersebut, secara umum nilai absorpsi pada masing-masing frekuensi menunjukkan adanya peningkatan seiring meningkatnya fraksi *filler*. Hal ini menunjukkan adanya efek kenaikan nilai serap ketika diberikan fraksi volume limbah bangkirai pada *polyester*. Sebaliknya penurunan terjadi pada nilai refleksi dan transmisi seiring meningkatnya fraksi volume bangkirai. Peristiwa absorpsi terjadi setelah gelombang suara melewati permukaan bahan kemudian diteruskan ke dalam dan menggetarkan pori-pori yang ada di dalam bahan tersebut [11]. Besarnya penyerapan tergantung pada banyaknya fraksi limbah kayu bangkirai pada bahan komposit pada penelitian ini.

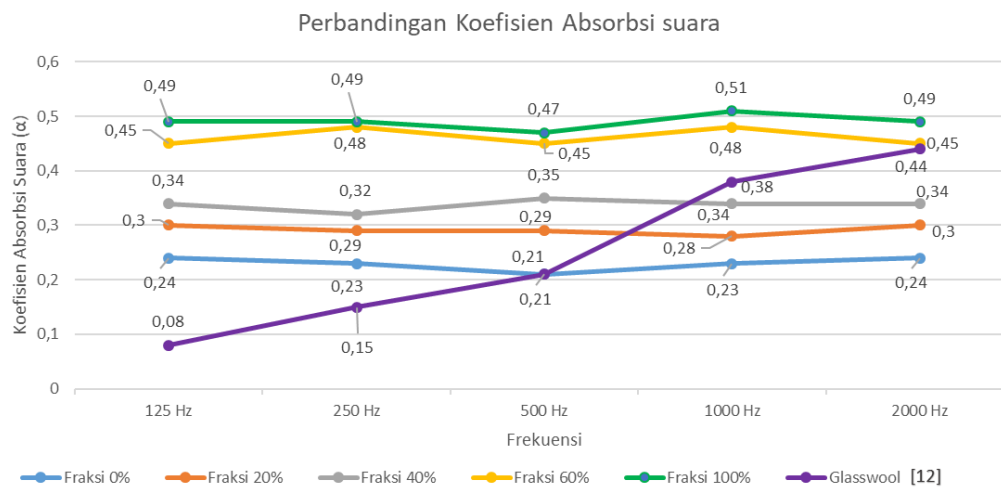
3.3 Hasil Perhitungan Koefisien Absorpsi Suara

Koefisien absorpsi suara merupakan efisiensi penyerapan bunyi suatu bahan pada suatu frekuensi tertentu dimana energi bunyi yang datang akan diserap atau tidak dipantulkan oleh permukaan. Energi yang terserap akan mengalami perubahan dari energi suara menjadi energi panas [12]. Material dapat dikatakan sebagai material peredam suara ketika material dapat menyerap suara sehingga mengurangi tingkat kebisingan umumnya dihitung dalam persen, atau pecahan bernilai $0 \leq \alpha \leq 1$ [4]. Untuk memperoleh nilai α dapat menggunakan persamaan 3. Pada hasil pengujian sifat akustik di Gambar 5 diketahui energi suara datang ($W_i = 63,5$ dB) dan energi serap suara ($W_a = 15,1$ dB) sehingga nilai α didapat nilai seperti pada persamaan 4.

$$\alpha = W_a/W_i \quad (3)$$

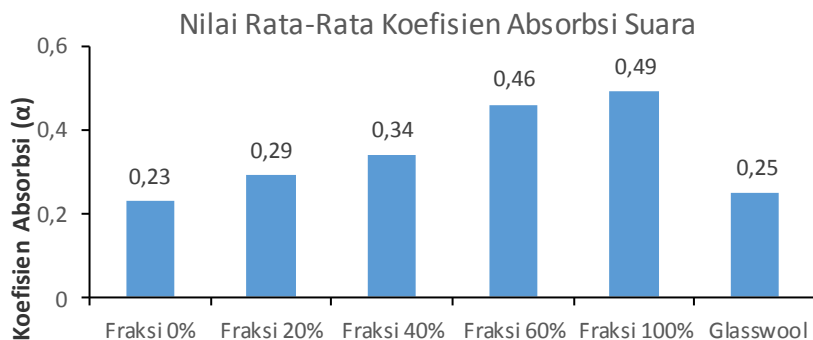
$$\alpha = 15,1 \text{ dB}/63,5 \text{ dB} = 0,24 \quad (4)$$

Dengan menggunakan persamaan (3) maka diperoleh nilai koefisien absorpsi suara masing-masing frekuensi dan fraksi filler komposit seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Perbandingan Nilai Koefisien Absorpsi Suara

Berdasarkan Gambar 10 menunjukkan perbandingan nilai koefisien absorpsi suara dari komposit fraksi filler 0 %; 20 %; 40 %; 60%; 100 % serbuk kayu bangkirai dan glasswool sebagai material peredam suara konvensional [13] dijadikan pembandingan pada frekuensi 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, dan 2000 Hz. Dari data penelitian diatas menunjukkan jika fraksi filler komposit mempengaruhi nilai α dari setiap masing-masing frekuensi. Dimana semakin tinggi komposisi serbuk kayu bangkirai pada komposit maka nilai α semakin tinggi. Dari hasil nilai koefisien absorpsi suara terutama fraksi 60 % yang ditunjukkan pada Gambar 10 membuktikan bahwa komposit berpenguat serbuk kayu bangkirai lebih baik sebagai peredam suara dan lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan glasswool yang bersifat karsinogenik dan tentunya berbahaya bagi kesehatan. Pada penelitian ini untuk nilai α tertinggi terdapat pada komposit fraksi filler 60 % serbuk kayu bangkirai dengan nilai α sebesar 0,48 yang artinya sebesar 48 % suara terserap oleh sampel uji pada frekuensi tersebut [4]. Jika dibandingkan nilai α komposit fraksi filler 60 % dengan 100 % kayu bangkirai, nilai α tidak berbeda jauh secara signifikan. Hal ini membuktikan jika inovasi material komposit berpenguat serbuk kayu bangkirai dengan matriks *polyester* untuk aplikasi *wall panel* dapat dikategorikan sebagai material peredam suara dibuktikan dengan nilai koefisien absorpsi suara terendah dari komposit pada fraksi filler 20 % dengan nilai α sebesar 0,28. Nilai koefisien absorpsi suara minimum bahan untuk dapat dikategorikan sebagai peredam suara menurut ISO 11654:1997 untuk *Acoustical Sound Absorbers For Use In Buildings-Rating of Sound Absorption* sebesar 0,15 [14].



Gambar 11. Nilai Rata-Rata Koefisien Absorpsi Suara

Menurut Koizumi dkk., semakin kecil ukuran filler maka absorpsi suaranya akan semakin baik [15]. Dalam penelitian ini digunakan serbuk kayu bangkirai dengan ukuran 40 mesh yang diamati dalam pengujian absorpsi suara. Dapat diamati secara keseluruhan bahwa absorpsi suara pada komposit dengan serbuk kayu bangkirai memiliki koefisien rata rata penyerapan yang meningkat seiring jumlah fraksi filler yang ditambahkan. Hal tersebut terjadi karena peningkatan pada fraksi filler menghasilkan jalur rambatan suara yang berliku dan resistensi aliran udara yang lebih tinggi pada bagian yang dilewati oleh gelombang suara. Semakin rapat suatu material maka penyerapan suara pada frekuensi menengah dan tinggi akan semakin tinggi [15]. Pada hasil di atas terlihat komposit dengan filler serbuk kayu bangkirai dengan fraksi 60 % lebih baik penyerapannya daripada komposit filler serbuk kayu bangkirai dengan fraksi 20 %. Hal ini karena persebaran serbuk kayu bangkirai pada komposit dengan fraksi filler 60 % lebih banyak daerah persebaran serbuknya daripada komposit dengan fraksi filler 20 %. Pada fraksi filler 20 % serbuk kayu bangkirai memiliki luas permukaan yang lebih sedikit, sehingga meninggalkan celah di daerah lain dan berakibat berkurangnya gesekan permukaan pada bagian yang dilewati oleh gelombang suara.

Menurut Watanabe dkk., semakin luas area permukaan dari serbuk maka penyerapan suara secara keseluruhan akan semakin baik [16]. Pada hasil di atas terlihat komposit dengan serbuk kayu bangkirai fraksi filler 60 % lebih baik penyerapannya daripada fraksi filler 20 %. Hal ini karena filler serbuk kayu bangkirai yang lebih banyak sehingga memiliki luas area permukaan yang lebih besar. Hal ini akan berdampak sehingga gesekan pada permukaan lebih besar dan menghasilkan penyerapan suara lebih baik pula. Menurut Barron, semakin banyak porositas pada suatu material, maka penyerapan suara pada frekuensi tinggi akan semakin baik [17]. Dalam kasus ini, porositas juga mengambil peran sebagai penting dalam sifat absorpsi suara pada komposit *polyester* berpenguat serbuk kayu bangkirai. Peningkatan jumlah fraksi filler akan berpengaruh pada banyaknya porositas karena pembuatan komposit yang relatif lebih sulit sehingga menimbulkan porositas yang relatif lebih tinggi.

Berdasarkan Gambar 11 menunjukkan nilai rata-rata koefisien absorpsi suara (α) dari komposit fraksi filler 0 %; 20 %; 40 %; 60 %; 100 % serbuk kayu bangkirai dan glasswool yang diambil dari penelitian Islam dkk. [13]. Nilai rata-rata koefisien absorpsi suara (α) dari penelitian ini, nilai tertinggi pada fraksi filler 60 % sebesar 0,46 dan fraksi filler 100 % sebesar 0,49. Berdasarkan ISO 11654:1997, kategori nilai tersebut termasuk kedalam kategori kelas D jika dibandingkan dengan nilai rata-rata koefisien absorpsi suara (α) yang dimiliki oleh material peredam suara konvensional glasswool termasuk ke dalam kategori kelas E. Dari perbandingan ini terbukti jika inovasi material komposit limbah serbuk kayu bangkirai sebagai penguat dengan matriks polyester untuk aplikasi panel dinding memiliki kemampuan lebih baik menyerap suara dibandingkan dengan glasswool.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian pengujian sifat akustik dari komposit *polyester* dan limbah serbuk kayu bangkirai adalah sebagai berikut:

1. Nilai absorpsi meningkat seiring meningkatnya fraksi *filler* limbah kayu bangkirai pada suatu komposit dari fraksi 0 % hingga 60 %.
2. Semakin tinggi nilai komposisi serbuk kayu bangkirai pada komposit maka nilai koefisien absorpsi suara (α) semakin tinggi.

3. Nilai rata-rata koefisien absorpsi suara fraksi volume 60 % sebesar 0,46 pada penelitian ini masuk klasifikasi kelas absorpsi suara kelas D.

5. PERNYATAAN TERIMAKASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Institut Teknologi Kalimantan atas dukungan dana penelitian 2019 sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik dan lancar serta dapat menyelesaikan penulisan jurnal ini dengan baik.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. F. KANDOU, “Hubungan Karakteristik dengan Peningkatan Ambang Pendengaran Penerbang di Balai Kesehatan Penerbangan Jakarta,” *Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, vol. 2, no. 1, 2014.
- [2] R. ERININGSIH, M. WIDODO, and R. MARLINA, “Pembuatan Dan Karakterisasi Peredam Suara Dari Bahan Baku Serat Alam,” *Arena Tekstil*, vol. 29, no. 1, 2014.
- [3] L. J. A. HAMSAH, “Analisa Redaman Suara Komposit Resin Polyester yang Berpenguat Serbuk Kayu Jati,” *ENTHALPY*, vol. 1, no. 01, 2016.
- [4] F. A. EVEREST and K. POHLMANN, *Master Handbook of Acoustics*. McGraw-Hill/TAB Electronics, 2009.
- [5] S.-P. G. FIBERS, “Certain Glass Wool Fibers (Inhalable).”
- [6] H. HARSI, N. H. SARI, and S. SINAREP, “Karakteristik Kekuatan Bending Dan Kekuatan Tekan Komposit Serat Hybrid Kapas/gelas Sebagai Pengganti Produk Kayu,” *Dinamika Teknik Mesin: Jurnal Keilmuan dan Terapan Teknik Mesin*, vol. 5, no. 2, 2015.
- [7] J. BIALEK and E. NOWICKA, *Comparison of sound absorption ratings calculated according to ISO and ASTM standards*. 2016.
- [8] A. MANSUR, “Limbah Pemanenan dan Faktor Eksploitasi Iuphhk-ha PT. Rizki Kacida Reana–kabupaten Paser Provinsi Kalimantan Timur,” *Agrifor*, vol. 12, no. 2, pp. 116–131, 2013.
- [9] K. EL-FARAHATY, A. SADIK, and A. HEZMA, “Study of Optical and Structure Properties of Polyester (PET) and Copolyester (PETG) Fibers by Interferometry,” *International Journal of Polymeric Materials*, vol. 56, pp. 715–728, Jul. 2007.
- [10] K. KAHARUDDIN and A. KUSUMAWANTO, “Rekayasa Material Akustik Ruang Dalam Desain Bangunan: Studi Kasus Rumah Tinggal Sekitar Bandara Adisutjipto Yogyakarta,” in *Forum Teknik*, 2012, vol. 34, no. 1.
- [11] R. IRAWAN, S. SUWANDI, and H. BETHANINGTYAS, “Analisis Koefisien Absorpsi Pada Material Berbahan Baku Kertas Duplex Menggunakan Tabung Impedansi,” *eProceedings of Engineering*, vol. 1, no. 1, 2014.
- [12] M. J. M. NOR, N. JAMALUDIN, and F. M. TAMIRI, “A preliminary study of sound absorption using multi-layer coconut coir fibers,” *Electronic Journal Technical Acoustics*, vol. 3, pp. 1–8, 2004.
- [13] S. ISLAM, M. D. SUKARDAN, E. NOVARIANI, and F. ADITYA, “Porous Absorber of Noise Control Panel Manufacturing from Coconut Fiber and Pet Waste Fiber (Shoody Fiber),” *Arena Tekstil*, vol. 33, no. 2, 2018.
- [14] R. KRISTIANI, I. YAHYA, and H. HARJANA, “Kinerja Serapan Bunyi Komposit Ampas Tebu Berdasarkan Variasi Ketebalan Dan Jumlah Quarter Wavelength Resonator Terhadap Kinerja Bunyi,” *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, vol. 10, no. 1, pp. 14–18, 2014.
- [15] T. KOIZUMI, N. TSUJIUCHI, and A. ADACHI, “The development of sound absorbing materials using natural bamboo fibers,” *WIT Transactions on The Built Environment*, vol. 59, 2002.
- [16] K. WATANABE, Y. MINEMURA, K. NEMOTO, and H. SUGAWARA, “Development of high-performance all-polyester sound-absorbing materials,” *JSAE review*, vol. 20, no. 3, pp. 357–362, 1999.
- [17] R. F. BARRON, “Industrial noise control and acoustics,” 2003.