

Analisis pengaruh susunan panel sandwich komposit berbasis serat abaka dan papan gipsium terhadap *sound transmission loss* menggunakan simulasi INSUL 9.0

Bilqia Mafaz*, Susilo Indrawati, Moch. Zainuri

Departemen Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

*email: bilqia08@gmail.com

Abstrak - Pengembangan panel sandwich menawarkan alternatif yang menjanjikan dalam struktur bangunan karena kemudahan instalasi serta peningkatan kemampuan isolasi suara. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh berbagai konfigurasi sandwich antara komposit serat pisang abaka dan papan gipsium terhadap nilai kehilangan transmisi bunyi (Sound Transmission Loss/STL), dengan menggunakan pendekatan simulasi INSUL 9.0. Material komposit yang digunakan terdiri atas resin epoksi sebagai matriks dan serat pisang abaka sebagai pengisi, dengan fraksi volume 70:30. Serat abaka diberi perlakuan alkali menggunakan larutan NaOH 5% dan perlakuan hidrolisis menggunakan larutan CH₃COOH 50% di bawah kondisi vakum, dengan panjang serat 5 mm. Panel sandwich yang diuji memiliki konfigurasi : GUG, GAG, GAGAG, GAGUG, GGAG, dan GGAGG, seluruhnya memiliki ketebalan total 10 cm (dengan G: papan gipsium, A: serat pisang abaka, dan U: udara). Nilai STL dari masing-masing konfigurasi dianalisis menggunakan simulasi INSUL 9.0. Di antara konfigurasi yang diuji, susunan GGAGG menunjukkan kinerja STL paling unggul, dengan rentang nilai antara 14 hingga 60 dB pada frekuensi 50 hingga 5000 Hz.

Kata Kunci: Konfigurasi Panel, Panel Sandwich, Penyerapan Transmisi Bunyi, Serat Pisang Abaka.

Abstract – The development of sandwich panels provides a promising alternative in building structures due to their ease of installation and enhanced sound insulation properties. This study aims to investigate the impact of various sandwich configurations between abaca banana fiber composites and gypsum board on sound transmission loss (STL) values, employing INSUL 9.0 simulations. The composite material consists of epoxy resin as the matrix and abaca banana fiber as the filler, with a 70:30 volume fraction ratio. The abaca fibers were treated with 5% NaOH solution for alkali treatment and 50% CH₃COOH solution for hydrolysis under vacuum conditions, with fiber lengths of 5 mm. The sandwich panels tested had a configuration : GUG, GAG, GAGAG, GAGUG, GGAG, and GGAGG, all with a total thickness of 10 cm (where G: gypsum board, A: abaca banana fiber, and U: air). The STL values of these arrangements were evaluated using INSUL 9.0. Among the tested configurations, the GGAGG arrangement demonstrated superior STL performance, achieving values between 14 and 60 dB across frequencies ranging from 50 to 5000 Hz.

Keywords: Abaca Banana Fiber, Panel Configuration, Sandwich Panel, Sound Transmission Loss

PENDAHULUAN

Pertumbuhan sektor konstruksi di Indonesia telah meningkatkan kebutuhan terhadap kenyamanan akustik bangunan, terutama di kawasan urban yang padat aktivitas dan kebisingan. Kebocoran suara yang terjadi karena dinding tidak mampu menghambat transmisi bunyi eksternal berdampak pada kenyamanan dan kesehatan penghuni [1]. Oleh karena itu, peningkatan insulasi suara menjadi penting, salah satunya melalui peningkatan *Sound Transmission Loss* (STL), yakni kemampuan material dalam menahan perambatan suara antar ruang [2].

Material konvensional seperti beton dan bata ringan memiliki keterbatasan, antara lain berat, mudah retak, serta daya pantul suara yang

tinggi sehingga kurang sesuai untuk kebutuhan akustik [3,4]. Alternatif seperti *rockwool* memang efektif, namun mahal dan berisiko bagi kesehatan [5]. Sebaliknya, papan gipsium lebih ekonomis, mudah dipasang, serta memiliki sifat peredam suara, tahan api, dan ringan [6].

Pendekatan sandwich panel, yaitu kombinasi beberapa lapisan material, telah digunakan dalam desain struktur bangunan untuk meningkatkan efisiensi termal dan akustik [7]. Inovasi lebih lanjut dilakukan dengan menambahkan serat alam sebagai inti panel, karena sifatnya yang ramah lingkungan, ringan, dan memiliki performa insulasi yang kompetitif [8]. Serat pisang abaka (*Musa textilis*) dikenal memiliki kekuatan mekanis tinggi dan fleksibilitas yang baik dibanding serat alam

lainnya [9] serta telah terbukti memiliki kemampuan menyerap suara, khususnya pada frekuensi di atas 1000 Hz [10].

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kombinasi gypsum dan serat alam dalam struktur sandwich mampu menghasilkan STL yang signifikan [11,12]. Berdasarkan potensi ini, penelitian ini bertujuan menguji variasi susunan material sandwich dari serat abaka dan papan gypsum dengan total ketebalan 10 cm terhadap nilai STL menggunakan simulasi INSUL 9.0 dengan tampilan simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tampilan Simulasi INSUL 9.0

INSUL telah terbukti akurat dengan deviasi hasil ± 6 dB dari eksperimen [13]. Berdasarkan tinjauan dari berbagai penelitian tersebut, penulis bermaksud melakukan analisis dari pengaruh susunan komposit sandwich serat abaka dengan papan gypsum menggunakan simulasi INSUL 9.0.

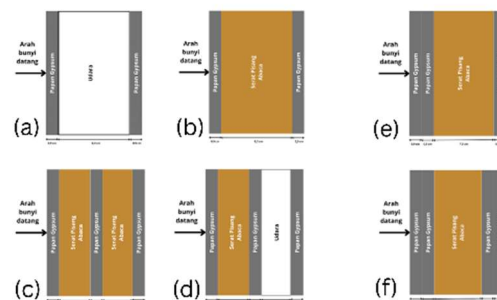
METODE PENELITIAN

Perlakuan awal terhadap serat pisang abaka melalui proses alkalinisasi. Tujuan dari proses ini adalah untuk meningkatkan kekasaran permukaan serat dengan cara mengurangi kandungan lignin. Serat abaka direndam dalam larutan natrium hidroksida (NaOH) 5% selama dua jam di bawah kondisi vakum. Setelah proses perendaman selesai, serat kemudian dibilas menggunakan air mengalir hingga bersih dan tidak terasa licin. Serat yang telah bersih dikeringkan menggunakan pemanas listrik pada suhu 120°C selama satu jam dalam kondisi vakum.

Setelah tahap alkalinisasi, serat abaka menjalani proses lanjutan berupa hidrolisis. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kekuatan mekanik serat dengan menghilangkan sisa hemiselulosa dan lignin yang masih tertinggal. Serat direndam dalam larutan asam asetat (CH₃COOH) 50% selama dua jam dalam

kondisi vakum. Serat yang telah direndam kemudian dibilas kembali dengan air mengalir dan dikeringkan pada suhu 120°C selama satu jam. Setelah proses pengeringan, serat dipotong-potong menjadi bagian dengan panjang 5 mm agar mudah dicampurkan dalam pembuatan komposit.

Pembuatan komposit dilakukan dengan mencampurkan serat abaka yang telah dipotong dengan resin epoksi. Perbandingan volume antara serat dan matriks epoksi adalah 70:30. Campuran tersebut diaduk secara merata dalam wadah plastik hingga homogen, kemudian dituangkan ke dalam cetakan berbentuk silinder dengan diameter 3 cm. Sebelum digunakan, cetakan telah dilapisi lilin untuk mencegah campuran menempel pada permukaan cetakan. Setelah dituangkan, campuran diberi tekanan sebesar 26,5 kPa selama enam jam, dengan tujuan membentuk sampel dengan ketebalan akhir sebesar 6,4 cm. Setelah proses pencetakan, sampel dibiarkan mengering secara alami pada suhu ruang selama 24 jam untuk mencapai proses curing yang optimal. Konfigurasi susunan panel sandwich diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar. 2 Susunan panel sandwich dengan ketebalan 10 cm (a) GUG, (b) GAG, (c) GAGAG, (d) GAGUG, (e) GGAG, (f)GGAGG dengan G adalah Papan gypsum dengan ketebalan 3 cm dan A adalah serat abaka dengan ketebalan yang menyesuaikan

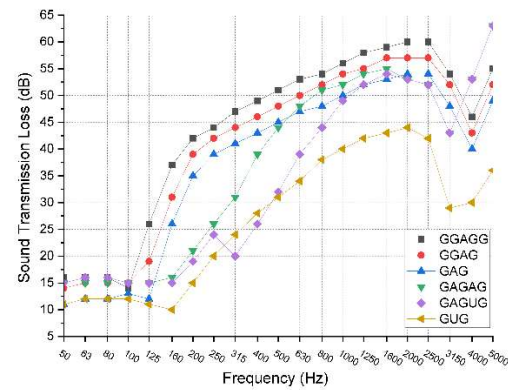
Pengujian terhadap komposit meliputi pengukuran ketebalan, densitas, porositas, dan resistivitas aliran udara (airflow resistivity). Ketebalan diukur menggunakan penggaris, sedangkan densitas ditentukan dengan alat densimeter. Nilai porositas dihitung berdasarkan data densitas yang diperoleh. Komposit yang telah dibuat kemudian dikombinasikan dengan papan gipsum untuk membentuk panel sandwich. Panel ini terdiri dari papan gipsum berdiameter 3 cm dan ketebalan 0,9 cm yang disusun bersama lapisan komposit serat abaka.

Konfigurasi panel yang diuji terdiri dari beberapa susunan, yaitu GUG, GAG, GAGAG, GAGUG, GGAG, dan GGAGG, dengan total ketebalan setiap panel sebesar 10 cm yang skema susunannya diberikan pada Gambar 2. Dalam konfigurasi tersebut, huruf G merujuk pada lapisan papan gipsium, A untuk lapisan komposit serat abaka, dan U untuk ruang udara. Evaluasi terhadap kemampuan panel dalam meredam suara dilakukan melalui simulasi nilai *Sound Transmission Loss* (STL) menggunakan perangkat lunak INSUL versi 9.0.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi yang diperoleh menggunakan perangkat lunak INSUL menunjukkan nilai *Sound Transmission Loss* (STL) untuk berbagai konfigurasi panel yang dirancang. Nilai STL ini dihitung berdasarkan parameter masukan berupa massa jenis material dan resistivitas aliran udara, dengan nilai masing-masing sebesar $0,842 \text{ g/cm}^3$ untuk komposit serat, $0,53 \text{ g/cm}^3$ untuk papan gypsum, dan $1.199.413 \text{ rayls/m}$ untuk resistivitas aliran udara. Nilai resistivitas aliran udara tersebut diperoleh melalui beberapa tahapan perhitungan material komposit, yaitu perhitungan densitas teoritis berdasarkan fraksi volume material, pengukuran diameter serat menggunakan mikrometer okuler, penentuan porositas serat abaka, dan selanjutnya dilakukan perhitungan *airflow resistivity* menggunakan pendekatan persamaan Kozeny–Carman.

Parameter *airflow resistivity* ini sangat memengaruhi hasil simulasi karena berkaitan langsung dengan kemampuan material dalam meredam gelombang suara, khususnya pada frekuensi rendah hingga menengah. Oleh karena itu, perubahan parameter material seperti panjang serat maupun fraksi volume komposit diperkirakan akan memengaruhi nilai *airflow resistivity* dan performa STL yang dihasilkan. Dalam penelitian ini, panjang serat abaka sebesar 5 mm dipilih berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Diva (2022), yang menunjukkan bahwa dimensi serat tersebut memberikan karakteristik akustik yang baik pada material komposit berbasis serat alam [10]. Pola STL hasil simulasi dari berbagai konfigurasi menunjukkan karakteristik yang serupa dengan kurva STL teoritis dari sistem dua panel ideal seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Karakterisasi Nilai STL untuk Variasi Panel Sandwich Menggunakan Simulasi INSUL 9.0

Penurunan STL yang signifikan terjadi pada frekuensi rendah akibat resonansi udara. Frekuensi resonansi udara yang teridentifikasi dalam struktur sandwich panel (SSP) adalah: 133 Hz (GUG), 115 Hz (GAG), 105 Hz (GGAG), 92 Hz (GGAGG), 144 Hz (GAGAG), dan 275 Hz (GAGUG). Pada frekuensi tersebut, nilai STL menurun secara signifikan—misalnya, GUG hanya mencatatkan nilai 10 dB pada 133 Hz, sedangkan GAGUG mencatatkan 21 dB pada 275 Hz.

Secara umum, struktur yang mengandung material penyerap menunjukkan peningkatan nilai STL dibandingkan dengan struktur tanpa penyerap. Konfigurasi panel ganda seperti GAG dan GGAG menunjukkan kinerja STL yang lebih baik dibandingkan dengan panel tiga lapis seperti GAGAG dan GAGUG, meskipun memiliki ketebalan total yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa massa total panel serta penempatan strategis material penyerap suara memiliki pengaruh besar dalam mengurangi transmisi gelombang suara.

Hasil simulasi INSUL yang ditunjukkan pada Gambar 3 mengonfirmasi bahwa perilaku akustik dari konfigurasi panel sejalan dengan teori massa-pegas-massa, terutama dalam penurunan STL yang diamati pada frekuensi resonansi udara. Penurunan ini disebabkan oleh osilasi udara yang terperangkap di antara dua panel, yang memicu getaran struktural dan memungkinkan gelombang suara menembus lapisan panel, sehingga menurunkan performa insulasi suara [14]. Fenomena ini konsisten dengan temuan sebelumnya oleh Sharp (1978), yang menekankan bahwa struktur sandwich tanpa material penyerap sangat rentan terhadap resonansi rongga udara [15].

Kehadiran material penyerap (komposit serat) dalam rongga udara secara signifikan

mengurangi efek resonansi dengan cara mendisipasikan energi getaran dan meredam amplitudo gelombang diam. Hal ini terlihat dari perbandingan antara struktur GAG dan GUG, di mana GAG secara konsisten menunjukkan nilai STL yang lebih tinggi—tidak hanya pada frekuensi resonansi, tetapi juga pada rentang frekuensi menengah dan tinggi. Ini menunjukkan bahwa material penyerap berkontribusi tidak hanya dalam peredaman frekuensi rendah, tetapi juga dalam peningkatan performa akustik secara keseluruhan [16].

Perbandingan antara struktur dua lapis dan tiga lapis menunjukkan bahwa penambahan jumlah lapisan tidak selalu menghasilkan peningkatan kinerja STL. Meskipun secara teoritis, panel tiga lapis dapat menunjukkan peningkatan STL hingga 30 dB/oktaf sebelum resonansi dan 18 dB/oktaf setelahnya [17]. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi dua lapis seperti GGAG dan GGAGG mengungguli struktur tiga lapis seperti GAGAG dan GAGUG dengan ketebalan total yang sama. Hal ini disebabkan oleh dua faktor: pertama, konfigurasi dua lapis menempatkan lebih banyak massa papan gypsum pada satu sisi (misalnya GG), sehingga meningkatkan massa total. Kedua, struktur tiga lapis memperkenalkan dua rongga udara, yang—meskipun diisi dengan penyerap—menambah kompleksitas perilaku resonansi dan meningkatkan kemungkinan transmisi gelombang suara [18].

Secara kritis, temuan ini menunjukkan bahwa efisiensi struktur akustik tidak hanya bergantung pada jumlah lapisan atau volume penyerap, tetapi juga pada konfigurasi massa yang optimal serta penempatan strategis material penyerap. Panel dua lapis dengan massa terkonsentrasi dan satu rongga udara yang dimanfaatkan secara efektif menunjukkan performa STL yang lebih unggul dibandingkan dengan sistem multilapis kompleks yang dapat menimbulkan lebih banyak titik resonansi. Oleh karena itu, dalam merancang konfigurasi peredam suara, strategi yang berfokus pada distribusi massa dan penempatan penyerap secara presisi akan memberikan peningkatan STL yang lebih efektif daripada sekadar menambah jumlah lapisan.

Selain menunjukkan kesesuaian terhadap teori massa-pegas-massa, hasil simulasi ini juga memperlihatkan bahwa pendekatan numerik menggunakan perangkat lunak INSUL cukup representatif untuk memprediksi perilaku insulasi bunyi pada struktur sandwich panel.

INSUL 9.0 menggunakan model pendekatan yang dikembangkan oleh B. H. Sharp dalam menghitung Sound Transmission Loss (STL) pada panel tunggal, ganda, maupun multilapis, dengan mempertimbangkan parameter utama seperti massa per satuan luas, densitas panel, dan ketebalan material. Berdasarkan evaluasi yang dilakukan oleh J. E. Cambridge, INSUL menunjukkan tingkat akurasi yang lebih baik dibandingkan beberapa perangkat lunak prediksi lainnya seperti Reduct, ENC, dan WinFLAG, dengan deviasi terhadap hasil eksperimen berkisar ± 6 dB. Hal ini menunjukkan bahwa simulasi INSUL dapat digunakan sebagai pendekatan awal yang cukup andal dalam mengevaluasi performa akustik struktur panel sebelum dilakukan pengujian eksperimental secara langsung [13]. Meskipun demikian, hasil simulasi ini tetap memiliki keterbatasan karena seluruh analisis dilakukan secara numerik tanpa validasi eksperimental langsung. Oleh sebab itu, penelitian lanjutan direncanakan untuk melakukan pengujian eksperimen menggunakan konfigurasi panel sederhana, seperti kombinasi satu papan gypsum dan satu panel komposit serat abaka. Pengujian tersebut diharapkan dapat dilakukan menggunakan metode tabung impedansi maupun ruang dengung untuk memverifikasi kesesuaian nilai STL hasil simulasi terhadap kondisi fisik sebenarnya. Validasi eksperimental ini penting untuk memastikan bahwa model simulasi tidak hanya mampu merepresentasikan perilaku teoritis, tetapi juga karakteristik akustik aktual material komposit serat abaka.

Hasil ini memperkuat validitas INSUL sebagai alat simulasi. Meskipun INSUL menggunakan model pendekatan matematis dengan estimasi deviasi terhadap data eksperimen, perangkat lunak ini telah menunjukkan pola STL yang konsisten dan sesuai dengan ekspektasi teoretis maupun eksperimen sebelumnya. Oleh karena itu, INSUL dapat dianggap sebagai alat prediktif yang andal untuk tahap awal perancangan SSP sebelum dilakukan pengujian eksperimental. Munculnya frekuensi kritis STL pada 3560 Hz untuk semua struktur menunjukkan bahwa frekuensi kritis ini lebih dipengaruhi oleh sifat bawaan papan gypsum daripada oleh konfigurasi lapisan. Seperti yang dikemukakan oleh Davy, STL cenderung meningkat kembali setelah melewati frekuensi kritis, meskipun pada laju yang lebih rendah [18]. Oleh karena itu, pemilihan material panel dan desain struktur

SSP harus mempertimbangkan ambang batas ini untuk memastikan performa akustik yang optimal di seluruh rentang frekuensi yang relevan secara praktis.

KESIMPULAN

Simulasi INSUL menunjukkan bahwa material penyerap berperan penting dalam mengatasi resonansi rongga udara pada frekuensi rendah (50–250 Hz). Konfigurasi panel sandwich GGAGG dengan ketebalan 100 mm menghasilkan kinerja Sound Transmission Loss (STL) paling efektif, mencapai nilai 16–60 dB di spektrum frekuensi luas. Komposit serat efektif meredam getaran struktural dan menekan gelombang berdiri, menghasilkan peningkatan STL signifikan pada frekuensi menengah dan tinggi, dengan frekuensi resonansi udara berkisar 92–275 Hz. Sebaliknya, struktur panel tanpa material penyerap (GUG) menunjukkan performa STL jauh lebih rendah pada frekuensi resonansi. Struktur panel ganda dengan material penyerap terbukti superior dibanding konfigurasi tiga lapis, menjadikannya solusi akustik yang menjanjikan dan layak untuk aplikasi isolasi suara pada berbagai spektrum frekuensi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. A. Nugraha, “Peningkatan insulasi akustik dinding luar kamar hotel studi kasus di dalam bandar udara,” *Jurnal Teknik POMITS*, vol. 2, no. 2, pp. 1–6, 2013
- [2] A. Nugroho, “Peningkatan kinerja ruang sumber terisolasi dengan metode pelapisan gypsum board sebagai alat uji rugi transmisi (TL) berdasarkan standar ASTM E-413,” Thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, 2015.
- [3] K. Tjokrodimuljo, *Teknologi Beton*, Biro Penerbit KMTS FT, 2007.
- [4] Doelle, *Akustik Lingkungan*, 1986.
- [5] L. Lipworth, “Occupational exposure to rock wool and glass wool and risk of cancers of the lung and the head and neck: A systematic review and meta-analysis,” *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 2009.
- [6] A. Granzotto, D. Scrosati, and E. Scamoni, “Sound reduction index prediction of double-layer gypsum panels through the transfer matrix method,” *Building Acoustics*, 2021.
- [7] W. Callister, *Fundamentals of Material Science and Engineering*, John Wiley and Sons, 2001.
- [8] S. Habibie, N. Suhendra, and S. Roseno, “Serat alam sebagai bahan komposit ramah lingkungan,” *Jurnal Inovasi dan Teknologi Material*, vol. 5, no. 1, pp. 55, 2021. doi: 10.30595/civeng.v5i1.17879.
- [9] G. Cook, *Handbook of Textile Fibres*, Woodhead Publishing, 1984.
- [10] D. Abidah, “Analisis pengaruh panjang serat abaka pada komposit sebagai absorber dengan pendekatan teori semi empiris Delany-Bazley dan Miki,” Skripsi, Departemen Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, 2022.
- [11] V. I. Erofeev and D. V. Monich, “Sound insulation properties of sandwich panels,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 896, 2020. doi: 10.1088/1757-899X/896/1/012005.
- [12] R. Dragonetti, M. Napolitano, L. Boccarusso, and M. Durante, “A study on the sound transmission loss of a new lightweight hemp/bio-epoxy sandwich structure,” *Applied Acoustics*, vol. 167, p. 107379, 2020. doi: 10.1016/j.apacoust.2020.107379.
- [13] J. E. Cambridge, *Prediction Tools for Airborne Sound Insulation – Evaluation and Application*, *Vibroacoustics*, 2006.
- [14] K. O. Ballagh, “Accuracy of prediction methods for sound transmission loss,” in *Inter-Noise 2004*, Prague, Czech Republic, 2004.
- [15] B. H. Sharp, “Prediction methods for the sound transmission of building elements,” *Noise Control Engineering Journal*, vol. 11, no. 2, pp. 53–63, 1978.
- [16] T. T. Wu, “Sound transmission through composite panels with absorbing materials,” *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 104, no. 3, pp. 1493–1500, 1998.

[17] J. Davy, “Advanced sound transmission loss theories for sandwich panels,” *Applied Acoustics*, vol. 145, pp. 1–10, 2019.

[18] Marshall Day Acoustics, *INSUL Technical Manual and Validation Studies*, 2006.