Analisis Pengaruh Diameter dan Susunan Lubang terhadap Performa Peredaman Kebisingan pada Panel Akustik Berbahan *Tectona Grandis*

Achmad Rizky Firmansyah dan Ahmad Yusuf Ismail
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya
e-mail: firmansyarizky02@gmail.com yusuf@itats.ac.id

ABSTRACT

This research investigates the influence of hole diameter and perforation ratio on the noise reduction performance of teak wood (Tectona grandis) acoustic panels as an alternative damping material for vehicle cabins. Experimental testing refers to the ISO 10534-2 standard, utilising the two-microphone discrete-phase impedance tube method across a frequency range of 1,000 Hz to 10,000 Hz to obtain Fast Fourier Transform (FFT) spectra, transfer function responses, and Sound Transmission Loss (STL). The specimen variations included hole diameters (0.5 mm, 1 mm, and 1.5 mm) at a constant perforation ratio of 1%, as well as perforation ratios (0.5%, 1%, and 1.5%) at a constant hole diameter of 0.5 mm. The results for the diameter variations demonstrated that the 1 mm specimen yielded the highest maximum STL of 78.38 dB at a frequency of approximately 4,000 Hz, outperforming the 0.5 mm (72.21 dB) and 1.5 mm (51.76 dB) specimens, presumably influenced by technical factors such as specimen fabrication quality and acoustic leakage during testing. Regarding the perforation ratio variations, the lowest ratio of 0.5% produced the most optimal STL, with a maximum value of 57 dB and an average of 35-40 dB, consistent with the characteristics of microperforated panels (MPPs) that rely on the mass-law effect in narrow apertures. Overall, hole diameter and perforation density significantly influence the mechanical surface impedance of the acoustic panels, making their combination a crucial parameter in the design of optimal teak wood acoustic panels.

Keywords: *Fast Fourier Transform, Impedance Tube, Micro-perforation, Sound Transmission Loss, Teak Wood, Transfer Function.*

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis pengaruh diameter lubang dan rasio perforasi terhadap performa peredaman kebisingan panel akustik kayu jati (Tectona grandis) sebagai alternatif material peredam pada kabin kendaraan. Pengujian dilakukan menggunakan metode eksperimental mengacu pada standar ISO 10534-2 tabung impedansi dua mikrofon fasa diskret pada rentang frekuensi 1.000 Hz hingga 10.000 Hz untuk memperoleh spektrum Fast Fourier Transform (FFT), respons Transfer Function, dan Sound Transmission Loss (STL). Variasi spesimen meliputi diameter lubang (0,5 mm; 1 mm; 1,5 mm) pada rasio perforasi konstan 1%, serta rasio perforasi (0,5%; 1%; 1,5%) pada diameter konstan 0,5 mm. Hasil pengujian variasi diameter menunjukkan spesimen diameter 1 mm menghasilkan STL maksimum tertinggi sebesar 78,38 dB pada frekuensi sekitar 4.000 Hz, mengungguli diameter 0,5 mm (72,21 dB) dan diameter 1,5 mm (51,76 dB), yang diduga dipengaruhi oleh faktor teknis seperti kualitas fabrikasi spesimen dan kebocoran akustik (*acoustic leakage*) selama pengujian. Pada variasi rasio perforasi, rasio terkecil 0,5% menghasilkan STL paling optimal dengan nilai maksimum 57 dB dan rata-rata 35-40 dB, sejalan dengan karakteristik Microperforated Panel (MPP) yang mengandalkan efek massa (*mass-law effect*) pada bukaan sempit. Secara keseluruhan, diameter dan kerapatan lubang berpengaruh signifikan terhadap perubahan impedansi mekanis permukaan panel akustik, sehingga kombinasi keduanya menjadi parameter penting dalam merancang panel akustik kayu jati yang optimal.

Kata kunci: Fast Fourier Transform, Kayu Jati, Mikro-perforasi, Sound Transmission Loss, Tabung Impedansi, Transfer Function.

PENDAHULUAN

Dalam perkembangan teknologi rekayasa modern, baik pada konstruksi pesawat terbang maupun kendaraan mewah, terdapat tuntutan untuk menggunakan material dengan massa jenis rendah namun tetap memberikan kinerja optimal. Dalam konteks rekayasa akustik, kebutuhan ini diwujudkan melalui pengembangan material yang ringan, kuat, dan efektif dalam meredam kebisingan [1]. Kayu jati sebagai material serat alam memiliki karakteristik akustik yang relatif stabil pada berbagai rentang frekuensi, sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan panel akustik, karena struktur pori dan susunan seratnya mampu menyerap energi gelombang suara dengan baik [2]. Namun demikian, material berbasis kayu jati juga memiliki keterbatasan penyerapan suara apabila tidak dimodifikasi secara khusus, sehingga dapat menyebabkan tingkat kebisingan yang cukup tinggi pada suatu ruang, misalnya kabin kendaraan [3]. Oleh

karena itu, diperlukan upaya peningkatan performa peredaman, salah satunya melalui pengaturan desain panel akustik seperti variasi diameter dan susunan lubang agar kemampuan penyerapan suara dapat lebih maksimal.

Kenyamanan akustik pada ruang tertutup seperti kabin kendaraan maupun kompartemen transportasi lain sangat dipengaruhi oleh kualitas pengendalian kebisingan di dalamnya, karena persepsi pengguna terhadap kenyamanan interior terbukti berkorelasi kuat dengan rendahnya intensitas gangguan suara yang dirasakan [7]. Berbagai material peredam alternatif telah dikaji untuk menekan kebisingan kabin kendaraan, di antaranya kombinasi material berpori seperti *rockwool*, *glasswool*, dan *greenwool* dengan sabut kelapa yang terbukti mampu menurunkan tingkat kebisingan pada kabin mobil secara signifikan [10]. Meskipun efektif, pendekatan tersebut menambah beban massa kendaraan, sehingga pemanfaatan material serat alam yang lebih ringan seperti kayu jati yang dimodifikasi menjadi panel berlubang mikro (*microperforated panel*/MPP) menjadi alternatif yang lebih ramah lingkungan sekaligus berpotensi memberikan performa peredaman yang kompetitif.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi diameter lubang dan rasio perforasi terhadap performa peredaman kebisingan pada panel akustik berbahan kayu jati (Tectona grandis), serta menemukan kombinasi parameter yang memberikan performa peredaman paling optimal. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa panel berlubang (*perforated panel*) mampu meningkatkan nilai koefisien penyerapan suara secara signifikan dibandingkan permukaan padat tanpa perforasi, dan bahwa diameter lubang serta rasio perforasi merupakan parameter geometris kunci yang menentukan performa akustik suatu panel [4], [5]. Kajian pada struktur panel akustik alternatif, seperti panel gedek bambu bersisipan komposit eceng gondok [8] dan micro-*perforated panel* berstruktur honeycomb [9], turut menegaskan bahwa kombinasi geometri lubang dan struktur pendukungnya berperan penting dalam menentukan efektivitas peredaman, namun penelitian yang secara khusus mengkaji pengaruh diameter dan rasio perforasi pada panel kayu jati masih terbatas, sehingga penelitian ini diharapkan dapat mengisi kesenjangan tersebut.

TINJAUAN PUSTAKA

Panel Berlubang sebagai Peredam Suara

Panel akustik berlubang (*perforated panel*) bekerja melalui mekanisme konversi energi bunyi menjadi energi panas akibat gesekan udara pada lubang-lubang panel serta rongga udara di belakangnya. Kinerja penyerapan suara dari sistem ini sangat dipengaruhi oleh parameter desain seperti diameter lubang, ketebalan panel, dan pola distribusi lubang [4]. Penerapan panel kayu jati berlubang mampu meningkatkan koefisien serapan bunyi dari 0,25 menjadi 0,61 pada frekuensi tertentu [2]. Penelitian pengaruh diameter lubang dan rasio perforasi terhadap frekuensi natural panel berlubang ganda berbahan aluminium menunjukkan bahwa semakin besar diameter lubang dan rasio perforasi, frekuensi natural panel semakin menurun, dan panel berlubang ganda memiliki kemampuan peredaman yang lebih baik dibandingkan panel tunggal [5].

Prinsip Microperforated Panel (MPP)

Pada konsep Microperforated Panel (MPP), lubang berukuran mikro dengan rasio perforasi kecil mengandalkan efek hukum massa (*mass-law effect*), yaitu resistansi mekanis panel terhadap gelombang datang, sekaligus disipasi energi akibat gesekan viskos antara partikel udara dan dinding pori. Semakin kecil rasio perforasi, semakin besar massa efektif panel sehingga energi suara yang mampu menembus panel semakin kecil [6].

Peredaman Kebisingan pada Interior Kendaraan

Kenyamanan interior kendaraan tidak hanya ditentukan oleh ergonomi dan estetika ruang, tetapi juga oleh kondisi akustik di dalamnya. Studi mengenai persepsi pengguna terhadap desain interior kompartemen kereta api menunjukkan bahwa kesan visual dan kenyamanan akustik saling memengaruhi penilaian kualitas ruang secara keseluruhan [7]. Pada kabin kendaraan bermotor, upaya penurunan kebisingan umumnya dilakukan melalui penambahan lapisan material peredam berpori seperti *rockwool*, *glasswool*, dan *greenwool* yang dikombinasikan dengan sabut kelapa, dan terbukti mampu menurunkan intensitas kebisingan pada kabin mobil secara signifikan [10]. Meskipun efektif, pendekatan tersebut menambah beban massa kendaraan, sehingga pengembangan panel akustik berbahan serat alam yang ringan seperti

kayu jati berlubang mikro menjadi alternatif yang relevan untuk diteliti lebih lanjut, khususnya dalam konteks kebisingan mesin dan interaksi ban dengan jalan yang mendominasi spektrum kebisingan kabin kendaraan [3].

Panel Komposit dan Struktur Alternatif sebagai Pembanding

Selain modifikasi geometri lubang pada material homogen, beberapa penelitian mengembangkan panel akustik berbasis kombinasi struktur dan material. Penyisipan panel berlubang berbahan komposit eceng gondok pada panel gedek bambu terbukti meningkatkan kinerja akustik dibandingkan panel gedek tanpa sisipan, menunjukkan bahwa kombinasi struktur berlubang dengan material serat alam dapat menjadi alternatif peredam suara yang efektif [8]. Di sisi lain, analisis karakteristik akustik dan dinamik *micro-perforated panel* dengan struktur *honeycomb* menggunakan metode elemen hingga menunjukkan bahwa konfigurasi struktur pendukung di belakang lubang perforasi turut memengaruhi frekuensi resonansi dan performa redaman panel [9]. Temuan-temuan tersebut memperkuat dasar bahwa performa akustik panel berlubang tidak hanya ditentukan oleh diameter dan rasio perforasi semata, tetapi juga oleh pola distribusi lubang dan struktur pendukungnya, sebagaimana dianalisis lebih lanjut pada penelitian ini.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental mengacu pada standar ISO 10534-2 tabung impedansi dua mikrofon fasa diskret. Sampel berupa panel akustik berbahan kayu jati *(Tectona grandis)* berukuran 10 x 10 cm dengan ketebalan 10 mm, dirancang dalam bentuk berlubang (*perforated panel*). Variasi parameter meliputi diameter lubang (0,5 mm; 1 mm; dan 1,5 mm) pada rasio perforasi tetap 1%, serta rasio perforasi (0,5%; 1%; dan 1,5%) pada diameter lubang tetap 0,5 mm. Jumlah lubang dihitung berdasarkan korelasi antara luas panel, rasio perforasi, dan luas penampang satu lubang menggunakan persamaan (1).

$$n = \frac{4x\emptyset x A_{panel}}{\pi d^2} \quad (1)$$

dengan n adalah jumlah lubang, d adalah diameter lubang (mm), Apanel adalah luas panel (mm²), dan ∅ adalah rasio perforasi.

Perlu ditekankan bahwa jumlah dan pola lubang pada kedua kelompok variasi berbeda secara sengaja sebagai konsekuensi langsung dari persamaan (1). Pada variasi diameter lubang, luas total bukaan dijaga tetap pada rasio perforasi 1%, sehingga ketika diameter lubang diperbesar, jumlah lubang yang dihasilkan otomatis berkurang drastis, yaitu dari 52 lubang pada diameter 0,5 mm menjadi hanya 6 lubang pada diameter 1,5 mm. Pola penempatan lubang kemudian disesuaikan dengan jumlah tersebut agar jarak antar lubang tetap proporsional terhadap luas panel 10 x 10 cm dan tidak melanggar jarak tepi minimum yang berisiko menyebabkan kerusakan struktur kayu: pola radial dipilih untuk 52 lubang berdiameter kecil karena mampu mendistribusikan lubang secara merata dari pusat ke tepi panel, pola aksial dipilih untuk 12 lubang berdiameter menengah karena sesuai untuk susunan berbaris yang lebih jarang, sedangkan pola heksagonal dipilih untuk 6 lubang berdiameter besar karena memberikan jarak antar-lubang yang paling simetris dan aman terhadap risiko retak pada material solid di sekelilingnya. Sebaliknya, pada variasi rasio perforasi, diameter lubang dan pola radial sengaja dijaga tetap pada 0,5 mm, sehingga peningkatan rasio perforasi murni merepresentasikan penambahan jumlah lubang (26, 52, dan 78 lubang) tanpa mengubah geometri individual lubang maupun pola distribusinya. Dengan demikian, pengaruh diameter lubang dan pengaruh rasio perforasi terhadap STL dapat dievaluasi secara terpisah tanpa saling tercampur oleh perubahan pola sebagai variabel perancu.

Pengujian dilakukan menggunakan tabung impedansi berbahan akrilik dengan panjang total 60 cm yang dibagi menjadi dua bagian masing-masing 30 cm. Sumber suara berupa speaker yang memancarkan sinyal *white noise* pada rentang frekuensi 1.000-10.000 Hz dipasang pada salah satu ujung tabung. Dua mikrofon dipasang secara linier pada sisi sebelum (*incident*) dan sesudah (*transmitted*) spesimen untuk merekam tekanan suara secara simultan. Sinyal tekanan suara dikonversi dari domain waktu ke domain frekuensi menggunakan Fast Fourier Transform (FFT) sesuai persamaan (2), kemudian dibandingkan melalui Transfer Function H(f) pada persamaan (3), dan nilai Sound Transmission Loss (STL) dihitung menggunakan persamaan (4).

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(t) e^{-j2\pi kn/N} \quad (2)$$

$$H(f) = \frac{P_{trans}(f)}{P_{inc}(f)} \quad (3)$$

$$STL = 20\ log_{10}\left(\frac{Pin}{Pout}\right) \quad (4)$$

Sebelum pengujian, mikrofon dikalibrasi menggunakan sound level meter dengan sinyal referensi 94 dB pada frekuensi 1 kHz. Data hasil pengukuran diolah menggunakan perangkat lunak *sound analyzer* untuk memperoleh spektrum FFT, kurva Transfer Function, dan kurva STL pada setiap variasi spesimen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Variasi Diameter Lubang terhadap STL

Pengujian dilakukan pada rasio perforasi tetap 1% dengan tiga variasi diameter lubang, yaitu 0,5 mm (52 lubang, pola radial), 1 mm (12 lubang, pola aksial), dan 1,5 mm (6 lubang, pola heksagonal). Hasil pengujian dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Ringkasan hasil pengujian variasi diameter lubang

Diameter (mm)	Jumlah Lubang	Pola Lubang	STL Maks (dB)	Frek. STL Maks (Hz)	STL Rata2 (dB)
0,5	52	Radial	72,21	±4000	44,24
1	12	Aksial	78,38	±4000	44,27
1,5	6	Heksagonal	51,76	±2500 & ±8000-8500	26,48

Spesimen diameter 1 mm menghasilkan STL maksimum tertinggi sebesar 78,38 dB pada frekuensi sekitar 4.000 Hz, diikuti diameter 0,5 mm sebesar 72,21 dB, dan diameter 1,5 mm sebagai yang terendah sebesar 51,76 dB, dengan nilai STL rata-rata masing-masing 44,27 dB; 44,24 dB; dan 26,48 dB. Hasil ini bertolak belakang dengan prediksi teori Microperforated Panel (MPP), yang semestinya menempatkan diameter 0,5 mm sebagai konfigurasi paling optimal karena efek disipasi viskos bekerja paling maksimal pada lubang berukuran kecil. Penurunan performa pada spesimen diameter 1,5 mm dapat dijelaskan secara konsisten: jumlah lubang yang hanya 6 buah dengan diameter lebih besar menyebabkan luas permukaan gesek internal pori menyusut drastis, sehingga terjadi hubungan singkat akustik (*acoustic short-circuit*) yang membuat gelombang suara mudah meloloskan diri menerobos panel. Sebaliknya, nilai STL yang lebih tinggi pada diameter 1 mm dibandingkan 0,5 mm diduga bukan disebabkan oleh diameter lubang itu sendiri, melainkan oleh ketidaksempurnaan proses fabrikasi spesimen, yaitu ketebalan panel yang tidak merata dan posisi lubang yang tidak sepenuhnya tegak lurus terhadap permukaan panel, sehingga meningkatkan hambatan aliran udara (*flow resistance*) secara tidak sengaja.

Pengamatan pada spektrum *Fast Fourier Transform* (FFT) memperlihatkan bahwa ketiga spesimen secara konsisten menghasilkan sinyal *transmitted* yang berada di bawah sinyal *incident*, namun dengan lebar celah (*gap*) yang berbeda antar variasi. Pada diameter 0,5 mm dan 1 mm, celah antara kedua kurva relatif lebar dan konsisten di sepanjang rentang 1.000-10.000 Hz, yang mengindikasikan peredaman cukup merata. Sebaliknya, pada diameter 1,5 mm, sinyal *transmitted* beberapa kali mendekati bahkan bertumpuk dengan sinyal *incident* pada frekuensi menengah-tinggi (sekitar 3.500 Hz, 4.500 Hz, 6.500 Hz, dan 9.000 Hz), yang menandakan panel menjadi lebih transparan terhadap gelombang akustik pada frekuensi tersebut akibat berkurangnya jumlah lubang dan menyempitnya luas gesek pori. Pola serupa juga tampak pada kurva Transfer Function, di mana spesimen 0,5 mm dan 1 mm menunjukkan riak (*ripple*) fasa yang tajam namun teredam pada frekuensi rendah, sedangkan spesimen 1,5 mm menghasilkan beberapa lonjakan rasio amplitudo yang sangat ekstrem, dengan nilai tertinggi mencapai sekitar 106 pada frekuensi ±1.800 Hz.

Fenomena munculnya dua nilai frekuensi dengan STL maksimum yang berdekatan pada spesimen diameter 1,5 mm berpola heksagonal (±2.500 Hz dan ±8.000-8.500 Hz, dengan nilai puncak 51,76 dB) berkaitan langsung dengan pola resonansi kolom udara pada struktur berjumlah 6 lubang tersebut. Dengan jumlah lubang yang sangat sedikit namun berdiameter besar, kolom udara di dalam lubang tidak beresonansi pada satu frekuensi dominan tunggal, sebagaimana terlihat pada kurva Transfer Function yang menunjukkan beberapa puncak rasio amplitudo pada frekuensi berbeda, yaitu mendekati 0 Hz, ±1.800 Hz, ±3.500 Hz, dan ±7.100 Hz. Setiap puncak tersebut merepresentasikan moda osilasi massa udara-pori yang berbeda akibat variasi lintasan efektif dan sudut kemiringan lubang hasil fabrikasi manual, sehingga sebagian energi suara justru diredam secara optimal pada dua pita frekuensi yang terpisah, alih-alih terkonsentrasi pada satu puncak redaman tunggal seperti pada spesimen dengan jumlah lubang yang lebih banyak dan seragam

(diameter 0,5 mm dan 1 mm). Kondisi ini menegaskan bahwa pada konfigurasi dengan jumlah lubang sedikit dan diameter besar, perilaku akustik panel cenderung didominasi oleh beberapa moda resonansi lokal yang terpisah, alih-alih satu mekanisme disipasi viskos yang seragam di seluruh pita frekuensi.

Pengaruh Variasi Rasio Perforasi terhadap STL

Pengujian variasi rasio perforasi dilakukan pada diameter lubang tetap 0,5 mm dengan tiga variasi rasio, yaitu 0,5% (26 lubang), 1% (52 lubang), dan 1,5% (78 lubang), seluruhnya dengan pola radial. Hasil pengujian dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. Ringkasan hasil pengujian variasi rasio perforasi

Rasio Perforasi (%)	Jumlah Lubang	Pola Lubang	STL Maks (dB)	Frek. STL Maks (Hz)	STL Rata2 (dB)
0,5	26	Radial	56 - 58	±7800	35 - 40
1	52	Radial	41	±7800	30 - 32
1,5	78	Radial	44	±1200-1300	30 - 33

Berbeda dengan hasil variasi diameter, data pada variasi rasio perforasi konsisten dengan teori MPP. Rasio perforasi 0,5% menghasilkan STL tertinggi dan paling stabil di hampir seluruh pita frekuensi, dengan nilai maksimum 56-58 dB pada frekuensi sekitar 7.800 Hz dan rata-rata 35-40 dB. Rasio 1% menghasilkan STL maksimum 41 dB dengan rata-rata 30-32 dB, sedangkan rasio 1,5% menghasilkan STL maksimum 44 dB pada frekuensi rendah sekitar 1.200-1.300 Hz dengan rata-rata 30-33 dB. Semakin kecil rasio perforasi, semakin sedikit luas bukaan pada panel sehingga massa efektif panel menjadi lebih besar dan energi suara yang mampu menembus panel semakin kecil, sesuai dengan mekanisme hukum massa (*mass-law effect*) pada panel MPP. Pada rentang frekuensi rendah (di bawah 1.500 Hz), rasio perforasi 1,5% justru menunjukkan performa yang lebih unggul dibandingkan rasio 0,5%, mengindikasikan bahwa kerapatan lubang yang lebih tinggi memberikan efek hambatan akustik (acoustic impedance) yang optimal untuk meredam gelombang berpanjang gelombang besar.

Spektrum FFT pada variasi rasio perforasi juga memperlihatkan kecenderungan yang sejalan dengan nilai STL: semakin kecil rasio perforasi (0,5%), semakin lebar celah antara sinyal *incident* dan *transmitted*, terutama pada pita frekuensi 2.000-4.000 Hz, sedangkan pada rasio 1% dan 1,5% celah tersebut menyempit seiring bertambahnya jumlah lubang aktif (52 dan 78 lubang). Kurva Transfer Function pada ketiga variasi ini menunjukkan pola riak fasa yang lebih rapat dan tersebar di sepanjang pita frekuensi dibandingkan variasi diameter, karena diameter lubang yang seragam (0,5 mm) menghasilkan mekanisme disipasi viskos yang konsisten pada setiap lubang individual. Dengan demikian, perbedaan performa antar rasio perforasi lebih ditentukan oleh proporsi luas permukaan solid panel yang berkontribusi pada efek hukum massa (*mass-law effect*) dibandingkan oleh perubahan geometri lubang itu sendiri.

Implikasi terhadap Perancangan Panel Akustik

Perbandingan menyeluruh antara kedua kelompok variasi menegaskan bahwa penentuan geometri perforasi pada panel akustik kayu jati merupakan bentuk *trade-off* antara dua mekanisme redaman yang saling melengkapi, yaitu efek hukum massa (*mass-law effect*) pada permukaan solid panel dan disipasi viskos pada dinding pori lubang mikro. Rasio perforasi yang kecil dengan diameter lubang seragam terbukti mengikuti prediksi teori Microperforated Panel (MPP) secara konsisten, sehingga dapat dijadikan acuan utama dalam perancangan panel dengan performa redaman yang dapat diprediksi. Sebaliknya, anomali yang muncul pada variasi diameter lubang mengindikasikan bahwa presisi fabrikasi, khususnya keseragaman ketebalan panel dan ketegaklurusan lubang, memiliki pengaruh yang tidak kalah penting dibandingkan parameter geometris itu sendiri terhadap performa akustik akhir. Oleh karena itu, pengujian lanjutan dengan kontrol kualitas fabrikasi yang lebih ketat, misalnya menggunakan mesin bor presisi atau pemotongan laser, diperlukan untuk memisahkan pengaruh murni diameter lubang dari faktor ketidaksempurnaan manufaktur, sekaligus untuk memvalidasi potensi kombinasi diameter 0,5 mm dengan rasio perforasi rendah sebagai konfigurasi panel akustik kayu jati yang paling optimal secara teoritis maupun empiris.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data Sound Transmission Loss (STL) pada panel akustik kayu jati (Tectona grandis), pada variasi rasio perforasi diketahui bahwa panel dengan rasio 0,5% memiliki

kemampuan peredaman suara terbaik dibandingkan rasio 1% dan 1,5%, dengan nilai STL tertinggi di hampir seluruh rentang frekuensi dan puncak sekitar 56-58 dB pada frekuensi sekitar 7.800 Hz, sejalan dengan teori akustik Microperforated Panel (MPP). Sementara itu, pada variasi diameter lubang, spesimen dengan diameter 1 mm justru menghasilkan nilai STL tertinggi di antara ketiga variasi diameter, dengan puncak sekitar 78 dB pada frekuensi 4.000 Hz, bertentangan dengan prediksi teori MPP yang semestinya menempatkan diameter 0,5 mm sebagai konfigurasi paling optimal; hasil ini diduga dipengaruhi oleh faktor ketidaksempurnaan fabrikasi spesimen. Secara keseluruhan, diameter dan kerapatan lubang berpengaruh signifikan terhadap perubahan impedansi mekanis permukaan panel akustik kayu jati, sehingga kombinasi keduanya menjadi parameter penting dalam merancang panel akustik yang optimal untuk aplikasi peredaman kebisingan pada kabin kendaraan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dosen Pembimbing dan seluruh Dosen Penguji Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, atas bimbingan, arahan, dan saran yang diberikan selama proses penelitian dan penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] G. Thilagavathi, E. Pradeep, T. Kannaian, and L. Sasikala, "Development of natural fiber nonwovens for application as car interiors for noise control," Journal of Industrial Textiles, vol. 39, no. 3, pp. 267-278, 2010.

[2] S. Yuliantika and Elvaswer, "Penentuan koefisien absorbsi dan impedansi material akustik resonator panel kayu lapis (plywood) berlubang dengan menggunakan metode tabung," Jurnal Ilmu Fisika (JIF), vol. 7, no. 2, pp. 56-62, 2015.

[3] T. Siagian, "Evaluasi hubungan kenaikan putaran mesin terhadap kebisingan pada ruang kemudi mobil Toyota Rush 1.5," Jurnal Al Ulum, vol. 12, no. 2, pp. 145-150, 2024.

[4] W.-H. Tan, M. Afendi, R. Ahmad, R. Daud, M. Shukry, and E. M. Cheng, "Sound absorption analysis on micro-perforated panel sound absorber with multiple size air cavities," International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering (IJMME-IJENS), vol. 14, no. 5, pp. 71-76, 2014.

[5] A. Y. Ismail, M. Ulum, and A. Noerpamoengkas, "Pengaruh diameter lubang, rasio perforasi dan sambungan antar panel terhadap frekuensi natural panel berlubang ganda," in Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VI 2018, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, 2018, pp. 413-418.

[6] T. W. Hong, S. Y. N. Kew, A. Singh, T. C. Yung, F. Wahab, and A. S. Ruslan, "Kinerja kehilangan transmisi suara panel berlubang mikro bio-komposit yang didukung oleh serat alami," Jurnal Teknik ASEAN, vol. 15, no. 4, pp. 205-212, 2025.

[7] D. K. Yohanny, A. Mulyono, and L. Purwaningrum, "Analisis persepsi pengguna terhadap kesan visual desain interior kompartemen kereta api new generation dengan metode Kansei Engineering," Jurnal Perkeretaapian Indonesia (Indonesian Railway Journal), vol. 6, no. 2, pp. 71-84, 2022.

[8] M. Wijayanti, I. Yahya, Harjana, R. Kristiani, and E. Muqowi, "Analisis kinerja akustik panel gedek bambu dengan sisipan komposit eceng gondok," Jurnal Fisika dan Aplikasinya, vol. 11, no. 2, pp. 86-90, 2015.

[9] D. Perkasa, Afdhilla, and M. Rusli, "Analisis karakteristik akustik dan dinamik micro-perforated panel dengan struktur honeycomb menggunakan metode elemen hingga," Jurnal Teknik Mesin (JTM), vol. 15, no. 2, pp. 61-71, 2022.

[10] R. F. Arsa and R. G. Sudarmawan, "Analisa peredaman kabin mobil menggunakan lapisan material rockwool, glasswool, dan greenwool dengan sabut kelapa," in Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, 2022, pp. 602-610.