Studi Eksperimen Pengaruh Diameter dan Jumlah Lubang terhadap Performa Peredaman Kebisingan pada Panel Serat Karbon 3 Layer

Naufal Adilla Putra[1] dan Ahmad Yusuf Ismail[2]
Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[1,2]
e-mail: adillaputranaufal@gmail.com[1], yusuf@itats.ac.id[2]

ABSTRACT

Noise pollution poses significant environmental challenges that disrupt human comfort and health, necessitating the development of damping materials with excellent sound insulation properties. This study analyses the impact of hole quantity and diameter on the Sound Transmission Loss (STL) of acoustic panels, employing Fast Fourier Transform (FFT) and transfer function methodologies. The experimental design incorporates specimens with four, six, and eight holes, featuring diameters of 5 mm, 10 mm, and 15 mm. Two microphones record the incident sound signals before they strike the panel and the transmitted signals after they pass through it. Subsequently, Python software processes these signals via FFT to extract the frequency spectrum, calculates the transfer function as the sound pressure ratio, and determines the STL across the 1,000–10,000 Hz frequency range. The analysis reveals that all specimens successfully reduce the amplitude of the transmitted signal compared to the incident signal. The average STL values range from 15.71 to 28.7 dB, whilst the maximum values reach approximately 38 to 73 dB in the mid-to-high frequency ranges. The four-hole, 5 mm diameter configuration (L4D5) demonstrates superior performance compared to the other variations, achieving an average STL of approximately 24.31 dB and a maximum of 73.17 dB. These findings confirm that the configuration of hole quantity and diameter directly influences the panel's ability to impede sound transmission.

Keywords: *Acoustic panel, Fast Fourier Transform, sound insulation, Sound Transmission Loss, Transfer Function*

ABSTRAK

Kebisingan merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang dapat mengganggu kenyamanan dan kesehatan sehingga diperlukan material peredam dengan kemampuan insulasi suara yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh jumlah dan diameter lubang pada panel akustik terhadap nilai *Sound Transmission Loss* (STL) menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) dan *Transfer Function*. Variasi spesimen yang digunakan terdiri atas jumlah lubang 4, 6, dan 8 dengan diameter lubang 5 mm, 10 mm, dan 15 mm. Pengambilan data dilakukan menggunakan dua mikrofon yang merekam sinyal suara sebelum (*incident*) dan sesudah melewati panel (*transmitted*). Selanjutnya sinyal diolah menggunakan perangkat lunak *Python* melalui proses FFT untuk memperoleh spektrum frekuensi, perhitungan Transfer Function sebagai rasio tekanan suara, serta perhitungan STL pada rentang frekuensi 1000–10.000 Hz. Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh spesimen mampu menurunkan amplitudo sinyal transmitted dibandingkan sinyal incident. Nilai STL rata-rata yang diperoleh berada pada kisaran 15,71–28,7 dB, sedangkan nilai maksimum mencapai sekitar 38–73 dB pada rentang frekuensi menengah hingga tinggi. Variasi 4 lubang diameter 5 mm (L4D5 mm) menunjukkan performa yang relatif lebih baik dibandingkan variasi lainnya dengan nilai STL rata-rata sekitar 24,31 dB dan nilai maksimum sekitar 73,17 dB. Hasil tersebut menunjukkan bahwa konfigurasi jumlah dan diameter lubang berpengaruh terhadap kemampuan panel dalam menghambat transmisi suara.

Kata kunci: *Fast Fourier Transform*, insulasi suara, panel akustik, *Sound Transmission Loss*, *Transfer Function*

PENDAHULUAN

Bodi kendaraan merupakan komponen penting dalam sistem otomotif yang berfungsi sebagai pelindung struktur internal, penunjang estetika, serta penentu kenyamanan dan keselamatan pengendara. Dalam era modern saat ini, tuntutan terhadap kendaraan yang ringan, efisien, dan ramah lingkungan mendorong industri otomotif untuk beralih dari material logam konvensional ke material ringan komposit seperti *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP). Material ini dikenal memiliki kekuatan tinggi, bobot ringan, dan ketahanan terhadap korosi, sehingga sangat ideal untuk aplikasi bodi kendaraan modern [1].

Namun, meskipun memiliki banyak keunggulan, CFRP memiliki kelemahan dalam aspek akustik. Material ini memiliki kemampuan peredaman suara yang lebih rendah daripada logam, sehingga dapat menyebabkan peningkatan kebisingan di dalam kabin kendaraan. Kebisingan yang berasal dari mesin, ban, angin, dan getaran struktur dapat menurunkan kenyamanan pengemudi dalam berkendara. Kendaraan seperti mobil

atau truk berat yang melaju dengan kecepatan tinggi dapat menjadi sumber kebisingan di lingkungan sekitar [2].

Untuk dapat mengatasi masalah tersebut, desain panel bodi kendaraan perlu mempertimbangkan aspek akustik, salah satunya melalui teknik perforasi. Perforasi adalah metode pembuatan lubang-lubang kecil dengan variasi diameter dan rasio tertentu yang dapat meningkatkan kemampuan panel dalam menyerap energi suara. Selain diameter lubang, jumlah lubang pada suatu panel juga turut memengaruhi performa akustiknya, karena perubahan jumlah lubang akan mengubah total luas penampang terbuka serta pola resonansi rongga udara di dalam panel [3]. Kedua parameter ini perlu dikaji secara bersamaan untuk memahami pengaruhnya terhadap kemampuan peredaman suara.

Material dasar panel yang digunakan pada penelitian ini adalah serat karbon dengan konfigurasi 3 layer. Pemilihan konfigurasi ini didasarkan pada pertimbangan bahwa penambahan jumlah layer dapat meningkatkan massa permukaan dan kekakuan panel, yang menurut *mass law* akustik berkontribusi terhadap peningkatan nilai *Sound Transmission Loss* (STL), namun di sisi lain tetap perlu menjaga bobot panel agar tidak terlalu berat untuk aplikasi bodi kendaraan [4]. Konfigurasi 3 layer dipilih sebagai titik tengah antara kebutuhan kekuatan/peredaman akustik dan efisiensi bobot. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis pengaruh spesifik variasi diameter dan jumlah lubang terhadap nilai STL pada panel serat karbon 3 layer pada rentang frekuensi 1.000–10.000 Hz.

TINJAUAN PUSTAKA

Lightweight Structure dan Panel Serat Karbon

Struktur ringan (*lightweight structure*) merupakan konsep rekayasa yang berfokus pada pengurangan massa total suatu komponen tanpa mengorbankan kekuatan, kekakuan, maupun fungsi mekanisnya [1]. Pada konfigurasi tiga lapis (3-layer) berbahan serat karbon, konsep ini diterapkan dengan menempatkan lapisan luar serat karbon kaku dan lapisan tengah berupa udara atau material ringan, yang memberikan kekakuan baik dengan bobot minimum [5]. Material serat karbon juga memiliki sifat redaman internal (*internal damping*) yang berperan mengurangi getaran struktural [6]. Penerapan perforasi pada panel serat karbon memungkinkan terjadinya mekanisme disipasi energi ganda melalui gesekan visko-termal udara di dalam lubang dan redaman struktural serat karbon [7].

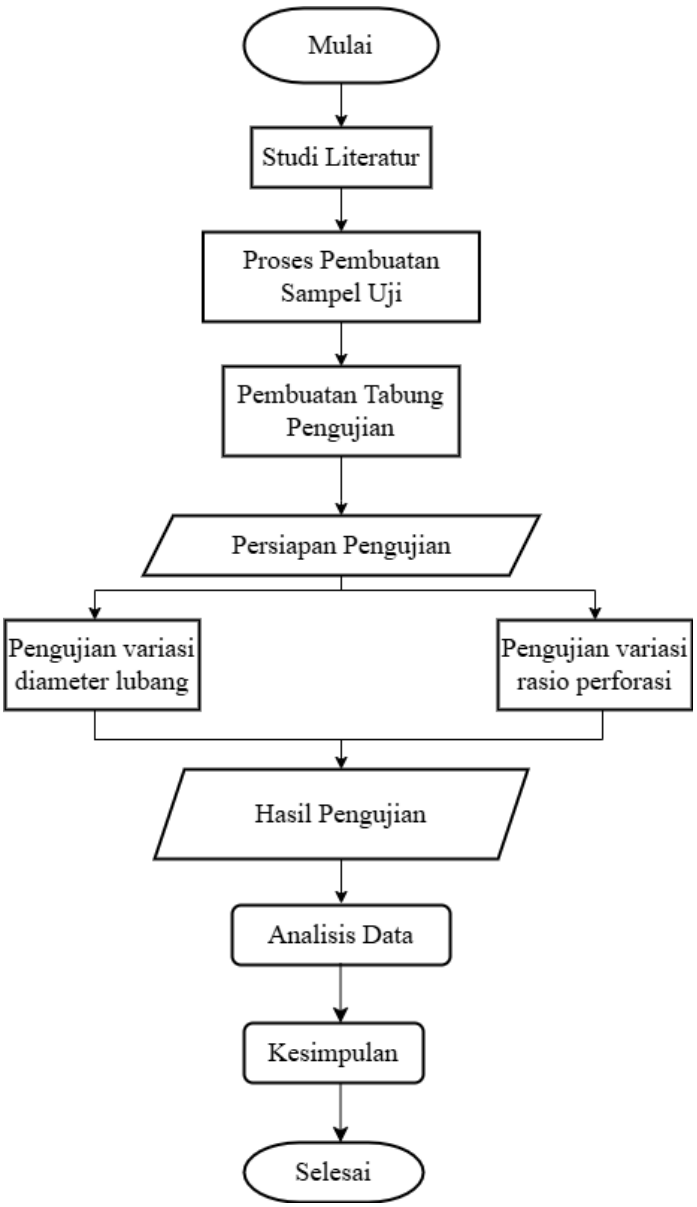
Getaran, Kebisingan, dan Peredaman Suara

Getaran pada struktur bodi kendaraan muncul ketika energi dinamis dari mesin atau kontak ban memicu osilasi panel yang kemudian memancarkan energi ke udara sebagai kebisingan. Kebisingan berlebih dengan intensitas tinggi tidak hanya mengganggu kenyamanan, tetapi juga dapat memicu dampak kesehatan dan psikologis [8]. Pengukuran performa peredaman kebisingan umumnya dinyatakan dalam parameter *Sound Transmission Loss* (STL) yang diukur dalam satuan desibel (dB) [9]. Standardisasi pengukuran berbasis metode dua mikrofon pada tabung impedansi diatur mengacu pada standar ISO 10534-2 [10].

METODE

Penelitian ini dilaksanakan secara eksperimental di Laboratorium Desain Sistem Mekanikal, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya. Alur penelitian secara ringkas disajikan pada Gambar 1.

ISSN 2775-5630



Gambar 1. Diagram alir tahapan penelitian peredaman suara panel.

Pembuatan Sampel Uji dan Tabung Impedansi

Sampel berupa plat komposit serat karbon 3 layer berukuran 10 cm x 10 cm yang dibuat menggunakan metode *hand lay-up* dengan resin epoxy sebagai matriks dan dibiarkan mengalami *curing* selama 24 jam pada suhu ruang. Spesimen perforasi diproduksi dalam dua kelompok variasi:

1. Variasi diameter lubang: jumlah lubang konstan 4 buah dengan diameter 5 mm (L4D5mm), 10 mm (L4D10mm), dan 15 mm (L4D15mm).
2. Variasi jumlah lubang: diameter lubang konstan 10 mm dengan jumlah lubang 4 (L4D10mm), 6 (L6D10mm), dan 8 (L8D10mm).

Tabung uji impedansi dibuat dari akrilik kedap udara berukuran panjang total 60 cm (terdiri dari dua bagian 30 cm) dengan penampang 10 cm x 10 cm. Spesimen dijepit di tengah tabung. Sumber bunyi berupa speaker ditempatkan di salah satu ujung, sedangkan dua buah mikrofon omnidirectional TaffSTUDIO ODR-08 dipasang pada posisi *incident* (Mic 1, sebelum spesimen) dan *transmitted* (Mic 2, sesudah spesimen).

ISSN 2775-5630

Persamaan Pengolahan Data

Sinyal tekanan suara dari mikrofon akuisisi diolah menggunakan Python melalui FFT untuk memperoleh spektrum frekuensi dengan persamaan:

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

Selanjutnya, nilai *Transfer Function H(f)* dihitung sebagai rasio spektrum tekanan suara sisi *transmitted* ($P_{trans}(f)$) terhadap sisi *incident* ($P_{inc}(f)$):

$$H(f) = \frac{P_{trans}(f)}{P_{inc}(f)} \tag{2}$$

Nilai *Sound Transmission Loss* (STL) ditentukan berdasarkan hubungan perbandingan tekanan bunyi sebelum (P_{in}) dan sesudah (P_{out}) melewati panel:

$$STL = 20\ log_{10}\ \frac{P_{in}}{P_{out}} \tag{3}$$

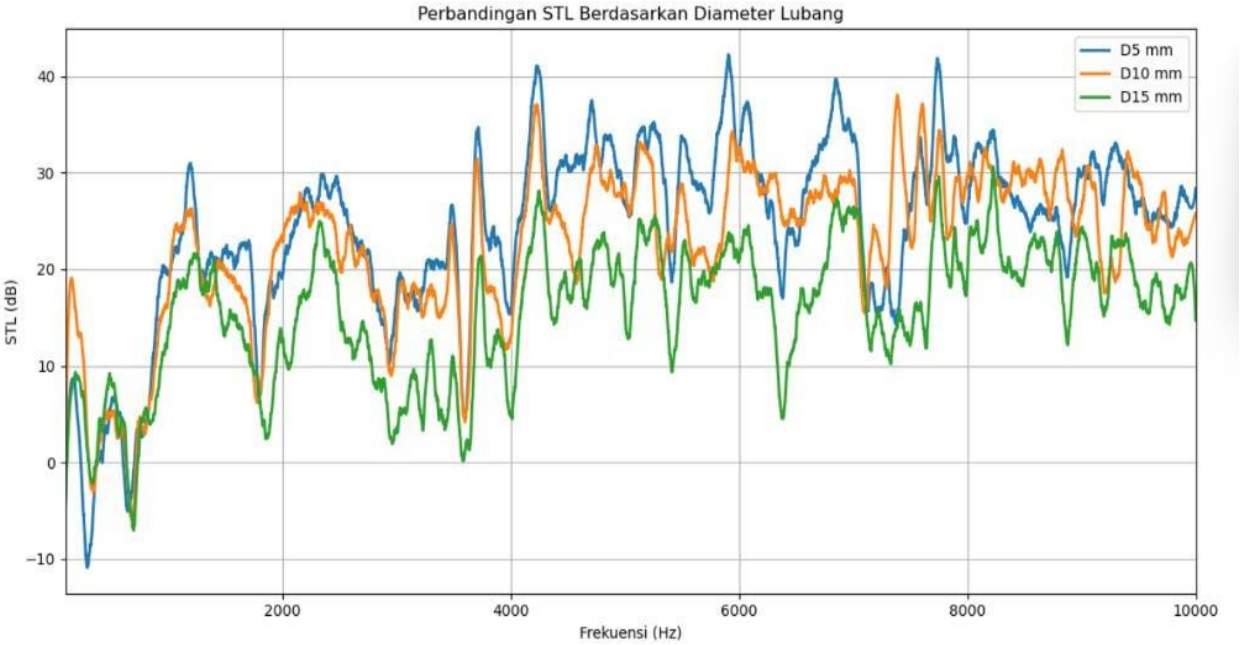
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi Pengukuran Akustik

Sinyal masukan awal diuji menggunakan gelombang sinus 1000 Hz yang stabil selama 10 detik. Hasil akuisisi sinyal domain waktu menunjukkan tidak adanya *clipping* dengan amplitudo puncak berada di bawah batas ±1,0. Hasil FFT sinyal masukan mengonfirmasi keberadaan satu puncak tunggal yang sangat dominan tepat pada frekuensi 1000 Hz, sehingga memenuhi kriteria sebagai sinyal referensi yang valid.

Pengaruh Variasi Diameter Lubang Terhadap STL

Pengujian variasi diameter lubang dilakukan pada spesimen dengan jumlah lubang konstan 4 buah. Hasil olah data spektrum FFT, Transfer Function, dan kurva STL untuk spesimen L4D5mm, L4D10mm, dan L4D15mm disajikan pada Grafik Perbandingan Gambar 2.



Gambar 2. Grafik perbandingan nilai STL spesimen berdasarkan variasi diameter lubang.

Berdasarkan Gambar 2, terlihat kecenderungan umum bahwa nilai STL secara konsisten mengikuti pola hirarki: **D5 mm > D10 mm > D15 mm**. Spesimen L4D5mm memiliki performa insulasi gelombang suara

paling tinggi pada rentang frekuensi 1000–10.000 Hz dengan rata-rata 24,31 dB dan nilai maksimum mencapai 73,17 dB. Peningkatan diameter lubang menjadi 10 mm dan 15 mm menyebabkan penurunan hambatan akustik akibat makin besarnya area terbuka yang memungkinkan kebocoran gelombang suara langsung (*acoustic leakage*).

Pengaruh Variasi Jumlah Lubang Terhadap STL

Evaluasi pengaruh jumlah lubang dilakukan pada spesimen dengan diameter lubang konstan 10 mm (variasi 4, 6, dan 8 lubang). Ringkasan data kuantitatif hasil pengujian seluruh variasi spesimen disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi nilai STL rata-rata dan maksimum variasi spesimen panel serat karbon 3 layer

Kode Spesimen	Jumlah Lubang	Diameter Lubang (mm)	STL Rata-rata (dB)	STL Maksimum (dB)
L4D5mm	4	5	24,31	73,17
L4D10mm	4	10	25,00	38,00
L4D15mm	4	15	15,71	66,16
L6D10mm	6	10	21,45	45,20
L8D10mm	8	10	18,80	41,10

Catatan: Data diolah dari hasil pengukuran laboratorium impedansi tube 1.000–10.000 Hz

Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan jumlah lubang pada diameter yang konstan cenderung menurunkan performa peredaman rerata panel. Spesimen L4D10mm mencatatkan rerata STL sebesar 25,00 dB, sedangkan penambahan jumlah lubang menjadi 6 buah (L6D10mm) dan 8 buah (L8D10mm) menurunkan rerata STL berturut-turut menjadi 21,45 dB dan 18,80 dB. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya rasio perforasi total yang mengurangi efektifitas massa permukaan panel (*mass law principle*) serta memperbesar porsi energi suara yang mentransmisi secara langsung.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis eksperimental peredaman kebisingan pada panel komposit serat karbon 3 layer, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi diameter lubang berpengaruh signifikan terhadap nilai *Sound Transmission Loss* (STL). Semakin kecil diameter lubang pada jumlah lubang yang konstan, semakin tinggi nilai STL yang dihasilkan. Spesimen berdiameter 5 mm memberikan performa insulasi terbaik.
2. Peningkatan jumlah lubang pada diameter konstan menurunkan rerata performa peredaman suara secara keseluruhan karena pembesaran total area bukaan panel.
3. Kombinasi parameter paling optimal untuk insulasi suara pada frekuensi menengah hingga tinggi dicapai oleh spesimen L4D5mm (4 lubang, diameter 5 mm) dengan nilai STL rata-rata sebesar 24,31 dB dan STL maksimum mencapai 73,17 dB.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Desain Sistem Mekanikal serta Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya atas fasilitas pendukung, peralatan uji, dan bantuan teknis selama pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] J. Habeahan, "Pengembangan Material Komposit Serat Karbon pada Aplikasi Bodi Kendaraan Modern," *Jurnal Teknologi Bahan*, vol. 12, no. 1, pp. 15-22, 2024.

[2] A. Bahtiar et al., "Analisis Kebisingan Lingkungan Akibat Aliran Kendaraan Berat," *Jurnal Otomotif Terapan*, vol. 8, no. 2, pp. 45-52, 2024.

[3] R. Roy and C. Yosef, "Design and Acoustic Performance of Perforated Panels," *Applied Acoustics Journal*, vol. 104, pp. 112-120, 2019.

[4] F. J. Fahy and P. Gardonio, *Sound and Structural Vibration: Radiation, Transmission and Response*, 2nd ed. Academic Press, 2007.

[5] S. Islam et al., "Mechanical and Acoustic Behavior of Sandwich Composite Structures," *Composite Structures*, vol. 195, pp. 210-218, 2018.

[6] D. D. Susilo, N. Hafid, and Y. A. Hidayat, "Karakteristik Redaman Internal Komposit Serat Karbon Resin Epoxy," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 15, no. 2, pp. 88-94, 2014.

[7] A. Ikhsan et al., "Mekanisme Disipasi Energi Akustik pada Panel Berperforasi," *Jurnal Sains Akustik*, vol. 5, no. 1, pp. 30-37, 2017.

[8] R. Balirante et al., "Dampak Kebisingan Terhadap Kesehatan dan Sistem Saraf," *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, vol. 11, no. 3, pp. 102-108, 2020.

[9] A. Malau et al., "Pengukuran Intensitas Bunyi dan Tingkat Decibel pada Media Terisolasi," *Jurnal Fisika Akustik*, vol. 9, no. 1, pp. 55-62, 2017.

[10] ISO 10534-2, *Acoustics — Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes — Part 2: Transfer-function method*, International Organization for Standardization, 1998.