Studi Eksperimen Pengaruh Diameter Lubang Dan Rasio Perforasi Terhadap Performa Peredaman Kebisingan Pada Panel Serat Karbon Satu Layer

Haqqu Bachrul Achmad[1], Ahmad Yusuf Ismail[2]
[1,2]Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya, Indonesia
Email: haqqubachrul69@gmail.com

ABSTRACT

Vehicle noise is a key factor influencing driving comfort, creating a demand for lightweight materials with effective sound insulation properties. This study investigates the effects of hole diameter and perforation ratio on the noise attenuation performance of carbon fibre composite panels. The experimental evaluation employed the Sound Transmission Loss (STL) method in accordance with ISO 10534-2 over a frequency range of 1,000–10,000 Hz. The study examined hole diameters of 5 mm, 10 mm, and 15 mm, while varying the perforation ratio through configurations containing 4, 6, and 8 holes. The incident and transmitted sound pressure data were analysed using the Fast Fourier Transform (FFT) and Transfer Function (TF) methods to determine the sound transmission characteristics. The results demonstrate that all specimens achieved greater sound attenuation at medium and high frequencies than at low frequencies. Panels with a 5 mm hole diameter delivered the best overall perforation performance, achieving a maximum STL of approximately 33 dB within the 7,500–9,500 Hz frequency range while maintaining the most stable attenuation characteristics. Regarding the perforation ratio, the four-hole configuration produced the highest performance, with a maximum STL of approximately 35 dB at 4,800 Hz. These findings confirm that both hole diameter and perforation ratio significantly influence the sound attenuation capability of carbon fibre panels, highlighting their potential as lightweight sound-insulating materials for automotive applications.

Keywords*: carbon fibre, perforated panel, Sound Transmission Loss, Fast Fourier Transform, Transfer Function.*

ABSTRAK

Kebisingan pada kendaraan merupakan salah satu faktor yang memengaruhi kenyamanan berkendara sehingga diperlukan material ringan yang memiliki kemampuan peredaman suara yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi diameter lubang dan rasio perforasi terhadap performa peredaman kebisingan pada panel komposit serat karbon. Pengujian dilakukan secara eksperimental menggunakan metode Sound Transmission Loss (STL) berdasarkan ISO 10534-2 pada rentang frekuensi 1.000 – 10.000 Hz. Variasi diameter lubang yang digunakan adalah 5 mm, 10 mm, dan 15 mm, sedangkan variasi rasio perforasi dilakukan dengan jumlah lubang sebanyak 4, 6, dan 8 buah. Data tekanan suara sisi incident dan transmitted dianalisis menggunakan Fast Fourier Transform (FFT) dan Transfer Function (TF) untuk memperoleh karakteristik transmisi suara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh spesimen memiliki kemampuan peredaman yang lebih baik pada frekuensi menengah hingga tinggi dibandingkan frekuensi rendah. Variasi diameter lubang 5 mm menghasilkan performa terbaik dengan nilai STL maksimum sekitar 33 dB pada frekuensi 7.500 – 9.500 Hz, serta memberikan karakteristik peredaman yang paling stabil. Pada variasi rasio perforasi, konfigurasi 4 lubang menunjukkan performa terbaik dengan nilai STL maksimum sekitar 35 dB pada frekuensi 4.800 Hz. Hasil tersebut menunjukkan bahwa diameter lubang dan rasio berpengaruh signifikan terhadap kemampuan panel serat karbon dalam meredam kebisingan sehingga berpotensi diterapkan sebagai material ringan peredaman suara pada aplikasi otomotif.

Kata kunci: serat karbon, panel perforasi, Sound Transmission Loss, Fast Fourier Transform, Transfer Function.

PENDAHULUAN

Bodi kendaraan berfungsi bukan hanya sebagai struktur pembawa beban dan penopang sistem mekanis, tetapi juga sebagai perisai akustik yang memengaruhi kenyamanan kabin dan emisi kebisingan ke lingkungan. Pada desain kendaraan modern, performa NVH (Noise, Vibration, Harshness) menjadi parameter penting karena berdampak

Meskipun serat karbon telah banyak digunakan di kendaraan balap, pesawat, dan kereta, kajian khusus mengenai kebisingan pada material bodi ringan serat karbon dengan variasi perforasi masih sangat terbatas. Rasio perforasi memengaruhi mekanisme interaksi antara gelombang suara dengan udara di dalam lubang, sehingga berpengaruh terhadap disipasi dan penyerapan suara.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengukur pengaruh spesifik variasi diameter lubang dan rasio perforasi terhadap performa peredaman kebisingan (Sound Transmission Loss) pada plat

komposit serat karbon satu layer, serta menentukan kombinasi optimal yang memberikan performa terbaik pada rentang frekuensi 1.000 – 10.000 Hz.

TINJAUAN PUSTAKA

Serat karbon adalah serat sintesis dengan kekuatan tarik dan konduksivitas listrik yang tinggi, massa jenis serta koefisien ekspansi termal yang rendah membuatnya akan digunakan sebagai komponen kendaraan bermotor sudah sangat maju, hal ini dibuktikan dengan berbagai macam variasi bahan yang lebih ringan dan kuat namun tetap memenuhi aspek kemanan untuk komponen kendaraan tersebut

Material komposit adalah kombinasi dari dua atau lebih bahan yang berdeda, yang digabungkan untuk menghasilkan material dengan sifat yang lebih unggul atau diinginkan dibandingkan dengan bahan penyusunanya secara individu. Material yang terdiri dari dua atau lebih komponen penyusun yang berbeda, di mana salah satunya bertindak sebagai matriks dan lainnya sebagai penguat. Penggabungan ini menghasilkan material dengan sifar-sifat fisik, kimia, dan mekanik yang lebih baik. Komponen yang berfungsi untuk menahan dan melindugi serat atau partikel penguat serta mendistribusikan beban secara merata ke seluruh struktur komposit. Material yang ditambahkan ke matriks untuk meningkatkan sifat mekanik seperti kekuatan, kekakuan, dan daya tahan. Material komposit terdiri dari serat panjang atau pendek yang tertanam dalam matriks, partikel-partikel kecil yang terdispersi dalam matriks

METODE

Pembuatan Sampel

Pembuatan sampel komposit dilakukan menggunakan serat karbon dan resin matriks. Serat karbon dipotong dengan ukuran 10 x 10 cm. Campuran resin dan katalis menggunakan rasio 10:1. Proses laminasi dilakukan dengan mengoleskan resin terhadap serat karbon di dalam wadah cetak, diulang sebanyak 6 kali untuk memastikan matriks meresap secara merata, kemudian dibiarkan mengering pada suhu ruangan (1 layer).

Variasi Parameter

Penelitian ini menggunakan dua kelompok variasi eksperimen utama:

- Variasi Diameter: Menggunakan panel dengan lubang berdiameter 5 mm, 10 mm, dan 15 mm
- Variasi RasioPerforasi(Jumlah Lubang): Menggunakan jumlah lubang 4, 6, dan 8 buah.

Setup Pengujian

Tabung uji dibuat menggunakan material akrilik dengan dimensi panjang 60 cm, lebar 10 cm, dan tinggi 10 cm. Prosedur pengujian mengikuti standar ISO 10534-2. Speaker diletakkan di salah satu ujung tabung uji untuk menghasilkan gelombang suara. Material panel serat karbon diletakkan tepat di tengah tabung, membagi ruang menjadi dua bagian tanpa ada kebocoran suara pada sela-sela tabung.

Dua mikrofon diletakkan di masing-masing sisi ruang (sisi datang/incident dan sisi transmisi/transmitted) untuk mengukur tingkat tekanan suara (Sound Pressure Level) dalam rentang frekuensi 1.000 – 10.000 Hz.

Analisis Data

Nilai Sound Transmission Loss (STL) dihitung menggunakan perbandingan tekanan bunyi sebelum (Pin) dan sesudah melewati spesimen (Pout):

$$STL = 20xlog_{10}(\frac{P_{in}}{P_{out}})$$

Data sinyal di domain waktu diubah ke domain frekuensi menggunakan Fast Fourier Transform (FFT):

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

Selain itu, Transfer Function (TF) dihitung dengan membandingkan spektrum tekanan suara transmisi dan datang:

$$H(f) = \frac{P_{trans}(f)}{P_{in}(f)}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Variasi Diameter Lubang

Grafik FFT dan STL menunjukkan bahwa material komposit ini lebih efektif meredam suara pada frekuensi menengah hingga tinggi (4.000 – 10.000 Hz) dibandingkan frekuensi rendah (< 4.000 Hz). Secara khusus:

- Diameter 5 mm: Kinerja peredaman sangat optimal pada rentang 4.000 – 9.000 Hz dengan nilai STL relatif stabil di kisaran 22 – 33 dB. Puncak peredaman (sekitar 33-34 dB) tercapai pada rentang frekuensi 3.700 Hz dan 7.500 – 9.500 Hz.
- Diameter 10 mm: Mampu meredam hingga rata-rata di atas 25 dB pada frekuensi tinggi. Namun, terjadi beberapa penurunan tajam (hingga -5 dB di titik resonansi tertentu, seperti 5.800 Hz dan 7.100 Hz).
- Diameter 15 mm: Pada frekuensi rendah dan titik tertentu seperti 3.500 Hz dan 7.200 Hz terjadi resonansi yang tajam di mana suara lolos dengan mudah (kebocoran energi tinggi), menjadikan STL drop mendekati 3 dB. Kinerja puncaknya sekitar 31 dB pada 6.800 Hz.

Secara keseluruhan, diameter lubang 5 mm memberikan kemampuan peredaman suara yang paling stabil dan terbaik dibandingkan 10 mm dan 15 mm.

Tabel 1. Diameter Lubang

Diameter Lubang	Frekuensi Puncak (Hz)	STL Maksimum (dB)
D 5 mm	3.700 – 3.800	34
D 10 mm	4.600 – 4.700	33
D 15 mm	3.700 – 3.800	33

Pengaruh Variasi Jumlah Lubang (Rasio)

Analisis jumlah lubang memengaruhi rasio perforasi panel, di mana semakin banyak lubang, semakin besar rasio area terbukanya:

- 4 Lubang: Pada rentang 4.000 – 7.000 Hz, nilai STL stabil di angka 27 – 35 dB. Respons terbaik ditunjukkan pada titik sekitar 7.750 Hz dengan puncak STL mencapai 42 dB. Konfigurasi ini memiliki transfer function magnitude yang paling rendah (hampir seluruhnya di bawah 1).
- 6 Lubang: Memiliki kemampuan peredaman moderat (puncak STL ~33 dB di frekuensi 6.800 Hz). Namun sering mengalami penurunan redaman (resonansi) di sekitar 1.900 Hz, 4.500 Hz, dan 7.000 Hz.
- 8 Lubang: Menghasilkan redaman yang stabil dan merata pada 20 – 30 dB di frekuensi 5.000 – 10.000 Hz, dengan STL maksimum 35 dB pada 4.500 Hz.

Berdasarkan hal tersebut, rasio perforasi terkecil dalam eksperimen ini (4 lubang) menunjukkan efektivitas tertinggi dalam memblokir transmisi suara frekuensi menengah dan tinggi.

Tabel 2. Rekapitulasu Variasi Jumlah Lubang

Jumlah Lubang	Frekuensi (Hz)	STL (dB)
4 lubang	7.750	42
6 lubang	6.800	33
8 lubang	4.500	35

KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa variasi diameter lubang dan rasio perforasi berpengaruh signifikan terhadap performa peredaman kebisingan panel komposit serat karbon satu layer. Berdasarkan pengukuran Sound Transmission Loss (STL), kombinasi paling optimal untuk peredaman suara adalah panel dengan diameter lubang 5 mm dan jumlah lubang sebanyak 4 buah. Konfigurasi ini menghasilkan redaman suara paling tinggi (mencapai maksimum 42 dB) dan memberikan karakteristik transmisi yang paling stabil di rentang frekuensi menengah hingga tinggi (4.000 – 10.000 Hz). Hal ini membuktikan bahwa panel serat karbon satu layer dengan perforasi yang tepat dapat diaplikasikan secara efektif sebagai material ringan penyerap kebisingan (acoustic shield) pada bidang otomotif.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Amnur, M. H. D. A. (2020). Pengukuran Dan Analisis Intensitas Kebisingan Di Area Produksi PT. Sinar Sanata Electronic Industry Medan.
[2] Anguraj, M., & Sugumar, M. (2017). Berbagai Desain Struktur Bodi Mobil - Tinjauan.
[3] Arkan, M. F. (2024). Karakteristik Kekuatan Mekanis Komposit Silencer Gokart. Jurnal Sosial Dan Sains, 4(8), 716-727.
[4] Cheng, H., et al. (2023). Karakteristik Getaran Bebas Dari Laminasi CFRP Dengan Struktur Periodik Satu Dimensi.

[5] Fahy, F., & Gardonio, P. (2007). Sound and Structural Vibration. Academic Press.
[6] Gultekin, Y., et al. (2024). Acoustic Emission Reduction in Vehicles by Using MPP Structures in Wheel ARCH Liner Structures. Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 42(6), 1749-1755.
[7] Herlambang, H., et al. (2025). Analisa Dampak Penggunaan Material Komposit Ringan Pada Efisiensi Bahan Bakar Mesin Kendaraan Bermotor.
[8] Kajang, G., & Abustan, F. A. (2024). Analisis Sifat Mekanik Material Komposit Berpenguat Serat Karbon. Journal of Natural Science.
[9] Mohammadi, M., et al. (2025). A Comprehensive Review of Factors Influencing the Sound Absorption Properties of Micro-Perforated Panel Structures.
[10] Ulfiyah, L., et al. (2023). Pemanfaatan Serabut Kelapa dan Tray Telur Sebagai Material Komposit Peredaman Suara pada Mobil.[1] Amnur, M. H. D. A. (2020). Pengukuran Dan Analisis Intensitas Kebisingan Di Area Produksi PT. Sinar Sanata Electronic Industry Medan.