Studi Eksperimen Pengaruh Diameter Lubang dan Rasio Perforasi Terhadap Performa Peredaman Kebisingan Pada Panel Serat Karbon 2 *Layer*

Ardito Okta Agata, Ahmad Yusuf Ismail
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya
Email: ardito.agata29@gmail.com

Abstrak
Kebisingan akibat operasional kendaraan dapat mengganggu kenyamanan penumpang, sehingga membutuhkan material peredam yang efektif. Meskipun panel serat karbon banyak digunakan sebagai struktur ringan (*lightweight structure*) karena sifatnya yang kuat, material ini umumnya padat dan kurang optimal dalam menyerap gelombang suara. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh variasi diameter lubang dan rasio perforasi terhadap performa peredaman kebisingan (*Sound Transmission Loss*) pada panel serat karbon 2 layer, serta menentukan kombinasi desain yang paling optimal. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental skala laboratorium menggunakan alat uji tabung impedansi dua mikrofon sesuai standar pengujian ISO 10534-2. Sampel panel serat karbon 2 layer difabrikasi melalui metode hand lay-up dengan variasi diameter lubang 5 mm, 10 mm, dan 15 mm, serta variasi jumlah lubang sebanyak 4, 6, dan 8. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran diameter lubang dan semakin sedikit jumlah lubang, nilai Sound Transmission Loss (STL) yang dihasilkan semakin tinggi. Hal ini terjadi karena lubang yang sempit memberikan hambatan yang lebih besar bagi transmisi gelombang suara serta meminimalisir area kebocoran suara. Implikasi dari penelitian ini adalah bahwa panel serat karbon berlubang dengan kombinasi diameter 5 mm dan 4 lubang merupakan spesifikasi paling ideal untuk diaplikasikan pada bodi kendaraan, memberikan peredaman suara maksimal tanpa mengorbankan kekuatan dan ketangguhan bobot ringan material komposit.
***Kata Kunci**: Sound Transmission Loss, Fast Fourier Transform, Transfer Function, panel akustik, insulasi suara*

Abstract
Noise generated from vehicle operations can compromise passenger comfort, necessitating the use of effective damping materials. Although carbon fibre panels are widely utilised as lightweight structures due to their high strength, these materials are generally dense and suboptimal for absorbing sound waves. This study investigates the effects of hole diameter and perforation ratio variations on the noise damping performance, specifically Sound Transmission Loss (STL), of two-layer carbon fibre panels, and to determine the most optimal design combination. The research employs a laboratory-scale experimental method utilising a two-microphone impedance tube, in accordance with the ISO 10534-2 testing standard. The two-layer carbon fibre panel samples were fabricated using the hand lay-up technique, incorporating variations in hole diameters of 5 mm, 10 mm, and 15 mm, alongside variations in the number of holes: 4, 6, and 8. The results indicate that a smaller hole diameter and a reduced number of holes yield a higher Sound Transmission Loss (STL) value. This occurs because narrower holes provide greater resistance to sound wave transmission and minimise the area available for sound leakage. The implication of this study is that perforated carbon fibre panels featuring a 5 mm hole diameter and 4 holes represent the most ideal specification for application in vehicle bodies. This design has been proven to deliver maximum sound attenuation without compromising the strength and lightweight durability of the composite material.

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

PENDAHULUAN

Dalam era transportasi modern, kenyamanan, efisiensi, dan keselamatan merupakan prioritas utama dalam kendaraan. *Vehicle body* pada kereta api, pesawat, dan mobil tidak hanya berfungsi sebagai struktur penyangga, tetapi juga memainkan peran krusial dalam mengurangi dampak getaran dan kebisingan yang dihasilkan dari operasional kendaraan. Pada kereta api, kebisingan internal dapat mencapai 70-90 dB, sementara di pesawat terbang, kebisingan kabin seringkali melebihi 80 dB. Pada mobil, kebisingan roda-ban dan exhaust dapat mencapai 60-75 dB di kecepatan tinggi.

Untuk mengatasi tantangan ini, pengembangan material ringan (*lightweight structure*) menjadi solusi kunci. Salah satu material unggulan adalah serat karbon (Carbon Fiber Reinforced Polymer/CFRP), yang menawarkan kekuatan tarik hingga 7 GPa—lima kali lebih kuat dari baja dengan densitas yang jauh lebih ringan. Namun, tantangan utama panel CFRP konvensional adalah kemampuannya yang kurang optimal dalam menyerap gelombang suara karena strukturnya yang padat (solid panel).

Sebagian besar literatur terdahulu umumnya menyoroti karakteristik mekanis global komposit tanpa modifikasi geometri permukaan. Penelitian tentang panel berpori (berbasis prinsip *Helmholtz* resonator) mayoritas dieksplorasi menggunakan material logam konvensional pada rentang frekuensi rendah. Hingga saat ini, masih terdapat research gap yang signifikan terkait bagaimana perilaku redaman akustik komposit anisotropik berlapis tipis, khususnya panel serat karbon 2 layer, ketika diberi manipulasi geometri mikro-perforasi secara simultan.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kuantitatif eksperimental terhadap respon akustik STL pada struktur komposit panel serat karbon 2 layer yang dimodifikasi melalui kombinasi variasi diameter lubang dan rasio perforasi menggunakan standar tabung impedansi ISO 10534-2

TINJAUAN PUSTAKA

Kebisingan dan Getaran

Kebisingan merupakan salah satu sumber ketidaknyamanan yang dihasilkan oleh transportasi umum. Getaran yang dihasilkan berasal dari mesin, kontak roda dengan rel/jalan, dan hembusan angin, yang ditransmisikan menjadi kebisingan. Penggunaan bahan peredam atau material akustik berpori sering digunakan karena energi suara yang datang akan diserap dan dikonversi menjadi energi kalor.

Panel Perforasi dan STL

Peredaman suara *Sound Transmission Loss* (STL) adalah nilai yang mengukur kemampuan material meredam transmisi suara. Sistem peredam suara yang terdiri dari Micro-Perforated Panel (MPP) telah banyak dipakai untuk pengendalian kebisingan dengan membentuk resonator akustik yang menyerap suara di rentang frekuensi tertentu.

METODE

Pembuatan Sampel

Sampel dibuat menggunakan metode *hand lay-up*, sebuah proses laminasi manual yang sederhana dan ringan. Permukaan cetakan dibersihkan dan dilapisi miracle gloss. Serat karbon dipotong dengan ukuran standar 10 cm x 10 cm. Cairan resin dioleskan di atas cetakan, serat diletakkan, dan dilapisi resin kembali hingga serat basah sempurna, diulang untuk 2 *layer*. Sampel dibiarkan mengeras pada suhu ruang selama 24 jam.

Variasi spesimen yang dibuat meliputi:
•Variasi 1 (Diameter): Jumlah lubang tetap 4, dengan variasi diameter 5 mm, 10 mm, dan 15 mm.
•Variasi 2 (Rasio Perforasi): Diameter tetap 10 mm, dengan variasi jumlah lubang 4, 6, dan 8.

Prosedur Pengujuan

Pengujian berskala laboratorium dilakukan menggunakan tabung impedansi berbahan akrilik transparan berukuran 30 cm x 10 cm x 10 cm, mengikuti standar ISO 10534-2. Speaker diletakkan di salah satu ujung tabung sebagai sumber suara. Sampel diletakkan di tengah tabung tanpa kebocoran di sisinya.
Pengukuran suara (frekuensi 1.000 Hz hingga 10.000 Hz) menggunakan dua mikrofon yang dikalibrasi (menggunakan metode Fast Fourier Transform / FFT) untuk mencatat tekanan bunyi sisi datang (P_{in}) dan terusan (P_{out}).
Persamaan STL yang digunakan adalah :

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

Selain STL, kinerja transmisi dievaluasi dengan fungsi alih (*Transfer Function*), H(f), untuk mendeteksi frekuensi resonansi material

HASIL DAN PEMBAHASAN

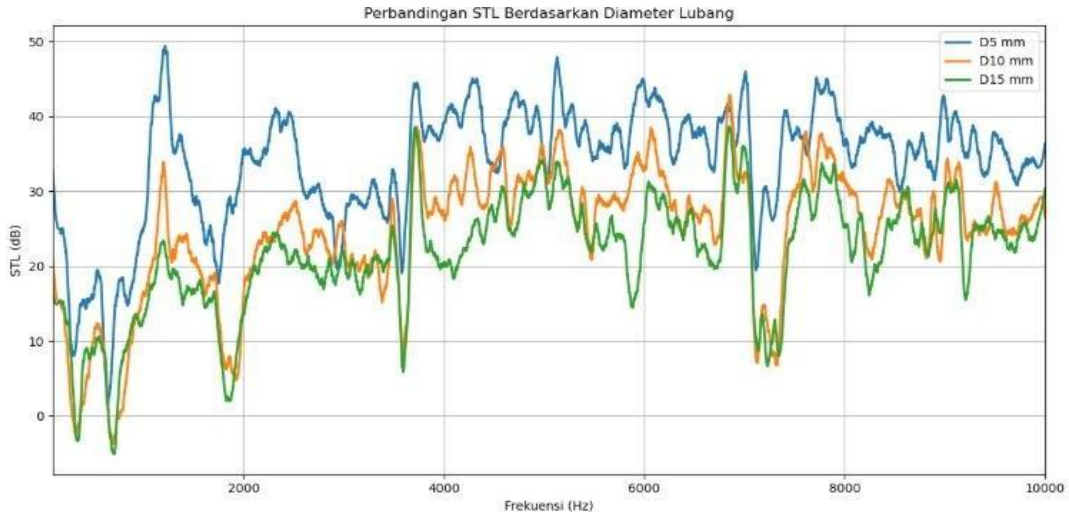
Pengaruh Ukuran Diameter Lubang

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai redaman sangat dipengaruhi oleh ukuran diameter celah.
• **Diameter 5 mm:** Menghasilkan redaman sangat stabil dengan STL rata-rata 28-30 dB, dan puncak maksimum 38 dB pada kisaran 7.800 Hz. Celah yang sempit memberikan hambatan besar bagi transmisi gelombang suara.

• **Diameter 10 mm:** STL rata-rata turun ke kisaran 20-25 dB. Terdapat penurunan performa (kebocoran suara) akibat resonansi akustik yang tajam di frekuensi 3.500 Hz dan 7.200 Hz.
• **Diameter 15 mm:** Kinerja redaman paling buruk. Kurva STL anjlok tajam mendekati 0 dB pada beberapa titik frekuensi (seperti 300-500 Hz dan 7.200 Hz). Lubang yang lebar memberikan ruang rambat leluasa, sehingga material sangat rentan terhadap efek resonansi.

Diameter Lubang	Frekuensi Puncak (Hz)	STL Maksimum (dB)	Kesimpulan
D 5 mm Rasio Perforasi 0,79%	1.000 – 7.800	38	Sangat stabil hampir seluruh frekuensi berada di atas 20 dB
D 10 mm Rasio Perforasi 3,14%	6.900	34	Cukup fluktuatif, bagus di frekuensi menengah ke atas, tetapi lemah di frekuensi bawah
D 15 mm Rasio Perforasi 7,07%	7.000	34	Sering mengalami penurunan drastis di berbagai titik frekuensi

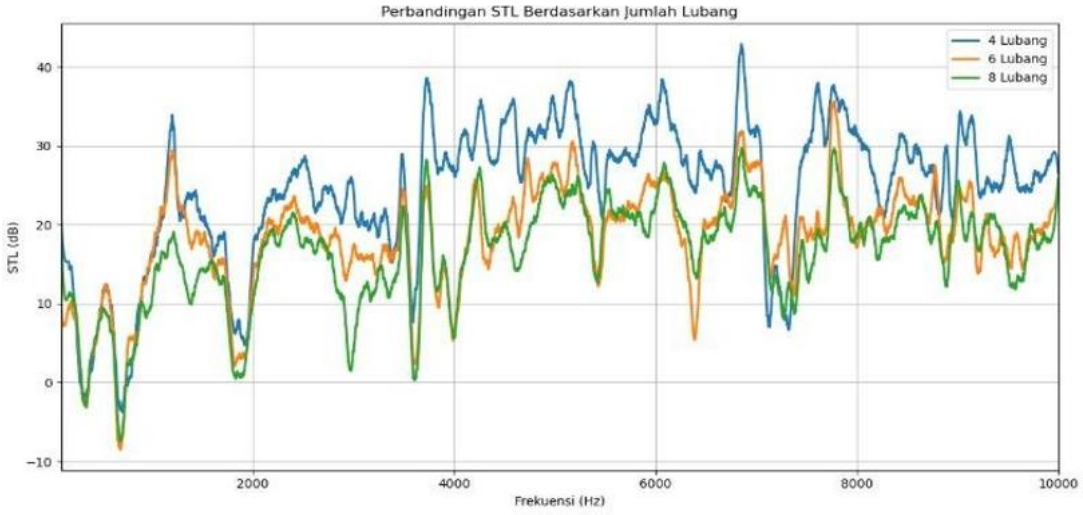
.



Pengaruh Rasio Perforasi (Jumlah Lubang)
Evaluasi pada diameter tetap (10 mm) dengan variasi 4, 6, dan 8 lubang menunjukkan bahwa semakin besar area terbuka (rasio perforasi), semakin rendah kemampuan insulasinya.
• **4 Lubang (Rasio 3,14%):** Memberikan redaman terbaik dan lebih merata dengan puncak STL hingga 34 dB di area frekuensi menengah ke atas.
• **6 Lubang (Rasio 4,71%):** Mulai menunjukkan penurunan drastis pada frekuensi di bawah 1.000 Hz, di mana kurva menyentuh angka di bawah 0 dB pada kisaran 500 Hz dan 800 Hz**.**
• **8 Lubang (Rasio 7,07%):** Penambahan lubang memicu resonansi ekstrem. Grafik Transfer Function menunjukkan lonjakan rasio amplitudo hingga 140 pada frekuensi 700-800 Hz, yang mengindikasikan struktur gagal memblokir suara. Rata-rata STL tertahan di angka yang lebih rendah (sekitar 20 dB).

Jumlah Rasio Perforasi (Lubang)	Frekuensi (Hz)	STL (dB)	Kesimpulan
Rasio Perforasi 3,14% (4 lubang)	6.900	34	Hasil terbaik untuk redaman merata
Rasio Perforasi 4,71% (6 lubang)	7.800	36	Hasil terbaik hanya untuk nilai maksimal sesaat
Rasio Perforasi 7,07% (8 lubang)	7.800	30	Hasil kurang optimal dibandingkan 4 & 6 lubang

ISSN 2775-5630



KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa variasi ukuran diameter dan jumlah lubang sangat krusial dalam efektivitas panel serat karbon. Semakin kecil diameter dan jumlah lubangnya, hambatan yang dialami gelombang suara semakin besar, sehingga nilai STL meningkat dan meminimalisir resonansi negatif. Panel komposit serat karbon 2 layer dengan diameter 5 mm dan 4 lubang adalah spesifikasi terbaik (optimal) untuk diaplikasikan pada lightweight structure bodi kendaraan karena mampu meredam kebisingan secara maksimal tanpa mengurangi kekuatan struktur material.

SARAN

Beberapa rekomendasi untuk penelitian selanjutnya:

1. Melakukan pengujian sifat mekanik (uji tarik, impak, tekuk) untuk memastikan perforasi tidak mengurangi integritas struktural panel kendaraan.
2. Melakukan pengujian di ruang dengung (*reverberation room*) untuk validasi data lapangan yang lebih akurat.
3. Mengkombinasikan panel berlubang ini dengan material penyerap tambahan (seperti busa akustik atau serat alam) di bagian belakang panel untuk menutupi kelemahan redaman pada frekuensi rendah.
4. Menggunakan metode manufaktur *vacuum infusion* yang lebih presisi dibandingkan *hand lay-up* untuk meminimalisasi cacat produksi (*void*).

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. O. Agata, "STUDI EKSPERIMEN PENGARUH DIAMETER LUBANG DAN RASIO PERFORASI TERHADAP PERFORMA PEREDAMAN KEBISINGAN PADA PANEL SERAT KARBON 2 LAYER," Skripsi, Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya, 2026.

[2] R. L. Chimayati, "Analisis tingkat kebisingan yang ditimbulkan oleh aktifitas bandar udara," Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2017. [cite: 1]

[3] Y. Riyan, Y. Rizal, & A. Fathoni, "Kajian serat alam sebagai bahan komposit untuk peredam kebisingan kenderaan bermotor," ENOTEK: Jurnal Energi dan Inovasi Teknologi, vol. 3, no. 2, pp. 61-65, 2024. [cite: 1]

[4] N. Susilawati, C. Nurhayati, & T. Susanto, "Komposit limbah serabut kelapa dan karet alam sebagai alternatif bahan peredam suara," Indonesian Journal of Industrial Research, vol. 32, no. 2, pp. 102-109, 2021