

## **PEKALI PENYERAPAN BUNYI DAN INDEK KEHILANGAN PENGHANTARAN PANEL PENYERAP BUNYI MENGGUNAKAN GENTIAN SABUT KELAPA**

ROZLI ZULKIFLI<sup>1\*</sup>, MOHD FAIZAL MAT TAHIR<sup>2</sup>,  
MOHD JAILANI MOHD NOR<sup>3</sup> & AHMAD RASDAN ISMAIL<sup>4</sup>

**Abstrak.** Kajian ini dilakukan untuk menentukan sifat akustik panel penyerap bunyi yang di rekabentuk menggunakan bahan gentian sabut kelapa melalui ujikaji dan simulasi. Perbandingan nilai pekali penyerapan bunyi antara bahan gentian sabut kelapa asli dan sabut kelapa yang dimasukkan kedalam panel komposit berlubang telah dibuat. Lapisan luar panel difabrikasi menggunakan panel komposit gentian asli/poliester manakala sabut kelapa terawat digunakan sebagai bahan penyerap bunyi. Panel diuji menggunakan piawaian ISO 354 bagi ujikaji pekali penyerapan bunyi manakala simulasi dijalankan menggunakan perisian WinFLAG<sup>TM</sup>. Ujian indek kehilangan penghantaran bagi panel penyerap bunyi menggunakan sabut kelapa telah dijalankan dan perbandingan dengan gentian kelapa sawit telah dibuat. Bagi ujikaji pengukuran indek kehilangan penghantaran, Piawaian ISO 717-1 telah digunakan sebagai piawaian. Bagi pekali penyerapan bunyi, hasil eksperimen memberikan nilai penyerapan di antara 0.70 dan 0.80 untuk julat frekuensi dari 1000 Hz sehingga 1800 Hz manakala nilai pekali yang diperoleh dari simulasi pula adalah 0.7 sehingga 0.85 bagi frekuensi ber julat 500 Hz sehingga 2500 Hz. Untuk ujian kehilangan penghantaran, purata indeks kehilangan penghantaran yang dicatatkan adalah 20 dB untuk panel yang mengandungi sabut kelapa dan 17 db untuk panel yang mengandungi gentian kelapa sawit. Hasil keputusan menunjukkan pekali penyerapan bunyi yang diperoleh melalui kaedah eksperimen dan simulasi memberikan nilai yang boleh dianggap baik dan setanding dengan bahan penyerap komersial di pasaran seperti gentian sintetik dan tatal batuan. Indeks kehilangan penghantaran bagi panel yang gentian sabut kelapa pula adalah lebih baik berbanding panel yang mengandungi gentian kelapa sawit.

*Kata kunci:* Bahan akustik; sabut kelapa; pekali penyerapan bunyi; indek kehilangan penghantaran; bilik gema

**Abstract.** This study was carried out to determine the acoustic properties of a noise absorption panel that was designed to use a coir fibre as noise absorption materials through experimental test and simulation. Comparison of noise absorption coefficient between natural coir fibre and coir fibre inserted inside a perforated panel have been carried out. The outer layer of the panel was fabricated using a coir fibre/polyester composites and treated coir fibre was used as absorption materials. The panel has been tested using ISO 354 standard for noise absorption coefficient while the simulation was carried out using WinFLAG<sup>TM</sup> software. The transmission loss index test for panel using coir fibre has been carried out and the results were compared with panel using an oil palm fibre. For the transmission loss index, ISO standard 717-1 was used. Experimental results for the noise absorption coefficient give coefficient values between 0.70 and 0.80 for frequency range of 1000 Hz to 1800 Hz while the results

<sup>1,2&3</sup> Jabatan Kejuruteraan Mekanik & Bahan, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor, Malaysia

<sup>4</sup> Fakulti Kejuruteraan Mekanikal, Universiti Malaysia Pahang, 25300 UMP, Kuantan, Malaysia

\* Corresponding author: [rozli@eng.ukm.my](mailto:rozli@eng.ukm.my)

from simulation give a coefficient between 0.7 to 0.85 for frequency range of 500 Hz to 2500 Hz. For the transmission loss test, average transmission loss recorded was 20 dB for the panel using coir fibre and 17 dB for panel using an oil palm fibre. Results show that sound absorption coefficient obtained through experimental test and simulation were very good and comparable with the commercial noise absorption material such as synthetic fibre and rock wool. Transmission loss index for the panel using coir fibre gives better results compared to panel using oil palm fibre.

*Keywords:* Acoustic materials; coir fibre; sound absorption coefficient; transmission loss index; reverberation room

## 1.0 PENDAHULUAN

Pada masa kini, kebiasaannya bahan penyerap bunyi komersil untuk rawatan akustik bagi kegunaan industri pembinaan mengandungi bahan gentian kaca atau mineral. Walau bagaimanapun, kini wujud kesedaran berkenaan isu keselamatan dan kesihatan terutama potensi risiko kesihatan apabila terdedah kepada manusia. Contohnya seperti kesan serpihan gentian kaca atau mineral kepada paru-paru dan mata manusia yang boleh mengganggu saluran penafasan mahupun membahayakan manusia. Isu sebegini membantu penerokaan bahan alternatif dari gentian organik yang dibangunkan sebagai bahan pengganti kepada gentian komersil. Di Malaysia, bahan sisa buangan pertanian seperti gentian sabut kelapa, gentian jerami padi dan gentian pelepah sabut kelapa sawit sangat mudah didapati dengan kos yang rendah. Kebiasaannya ia dibakar begitu sahaja ataupun sekadar menghasilkan produk berasaskan pertanian semata-mata. Namun kini, gentian asli daripada pertanian telah giat dikaji untuk tujuan pelbagai kegunaan dalam berbagai aplikasi struktur dan bukan struktur seperti bahan sampingan untuk gentian sintetik dalam bahan komposit dan lapisan pelapik bagi komponen automotif. Bagaimanapun, gentian asli seperti sabut kelapa juga sesuai sebagai bahan pengganti gentian sintetik dan bahan berasaskan kayu untuk tujuan penyerapan bunyi. Gentian asli ini mempunyai banyak kelebihan kerana ia lebih murah, boleh dikitar semula, terdapat dalam kuantiti yang banyak, tidak menghakis dan tidak membahayakan keselamatan dan kesihatan pengguna semasa aktiviti memproses dan mengendalikannya [1-4].

Pembangunan papan komposit telah banyak dilakukan oleh penyelidik terdahulu. Khedari *et al.* [5] telah membangunkan partikel papan komposit daripada sisa buangan pertanian dengan menggunakan kombinasi kulit durian dan partikel jerami sabut kelapa berbanding sisa kayu sebagai papan penambat dalam industri pembinaan kayu. Yang *et al.* [6] pula mengkaji sifat-sifat akustik untuk papan komposit partikel jerami padi dan mendapati bahawa pekali penyerapan bunyi dalam julat frekuensi 500 Hz sehingga 8000 Hz adalah lebih tinggi berbanding bahan berasaskan kayu kerana kesan graviti tentu yang rendah bagi papan komposit.

Untuk menambah baik lagi sifat-sifat akustik, rekaan plat berlubang digunakan dalam pembangunan panel. Davern [7] telah mengkaji kesan plat berlubang, lapisan rongga udara dan keporosan ke atas ciri sifat akustik bagi bahan. Beliau melaporkan

bahawa keporosan bagi plat berlubang dan ketumpatan bagi bahan poros boleh mempengaruhi galangan akustik dan pekali penyerapan bunyi secara signifikan di mana jalur frekuensi yang menghampiri frekuensi resonan akan mencapai penyerapan frekuensi yang tinggi. Lee dan Chen [8] melaporkan bahawa penyerapan akustik bagi bahan berlapis adalah lebih baik dengan penambahan plat berlubang dan lapisan rongga udara.

Parameter utama yang kritikal dalam menentukan sifat akustik adalah pekali penyerapan bunyi dan nilai indeks kehilangan penghantaran. Sifat-sifat ini ditentukan melalui eksperimen yang dijalankan di bilik gema dan bilik semi-anoik di Makmal Akustik, Universiti Kebangsaan Malaysia. Simulasi komputer menggunakan perisian WinFLAG<sup>TM</sup> pula telah dijalankan untuk mendapatkan nilai sifat-sifat akustik bagi tujuan rujukan. Latek digunakan bagi membekalkan lekatan bersesuaian antara gentian-gentian supaya susunannya boleh terbentuk dalam bentuk lapisan empat segi bagi tujuan ujikaji ini. Latek tidak memberikan kesan kepada penentuan ciri pekali penyerapan bunyi kerana kesannya yang sedikit terhadap karekter fizikal gentian. Antara kegunaan lain gentian asli adalah untuk mengurangkan penyebaran bunyi bahagian dalam automotif dan bagi tujuan memperbaiki pengawalan penyebaran hingar luaran [9]. Karakteristik dan susunan kedudukan gentian didapati boleh mempengaruhi sifat akustik panel [10]. Penggunaan gentian asli sebagai penyerap bunyi adalah selamat untuk alam sekitar kerana sifat biodegradasi dan tiadanya potensi risiko kesihatan.

Tujuan kajian projek ini adalah untuk mengkaji potensi penggunaan gentian sabut kelapa berlapis sebagai bahan penyerap bunyi alternatif bagi menggantikan bahan sintetik komersial sedia ada seperti gentian kaca, tatal batuan, karpet atau gentian poliester. Kertas penyelidikan ini mengkaji pekali penyerapan bunyi bagi gentian sabut kelapa serta ciri-ciri dan susunan gentian kerana data-data tersebut penting bagi tujuan pengoptimuman sifat akustik panel. Perbandingan nilai indek kehilangan penghantaran antara panel yang mengandungi sabut kelapa dan gentian kelapa sawit juga dilakukan.

## 2.0 BAHAN DAN KAEDAH

Kajian ini dibahagi kepada dua bahagian. Pertamanya adalah fabrikasi kotak panel komposit menggunakan komposit gentian sabut kelapa/poliester dan bahagian kedua pula menggunakan sabut kelapa terawat sebagai bahan penyerap bunyi. Kombinasi komposit gentian asli/poliester berkualiti dan gentian sabut kelapa sebagai bahan penyerap bunyi dapat memberikan panel ciri penyerapan yang bagus. Lapisan luar panel difabrikasi daripada resin poliester dan diperkuat dengan gentian sabut kelapa bagi menghasilkan komposit yang kuat dan kaku. Rekaan panel berlubang yang memerlukan lubang-lubang kecil digerudi ke atas permukaan panel bertujuan memberikan kelebihan akustik dengan cara menggerakkan nilai optimum pekali penyerapan bunyi kepada julat frekuensi yang lebih rendah [11].

Antara peralatan ujikaji yang digunakan adalah penentukur 94.0 dB, 100 Hz (Cal 21 01dB), mikrofon (GRAS 26 AK), pembesar suara, penjana isyarat dan SYMPHONIE (*Dual-Channel Real Time Acquisition Unit*). Eksperimen ini telah dijalankan dengan menggunakan perisian pengukuran dan pemprosesan dBATI32.

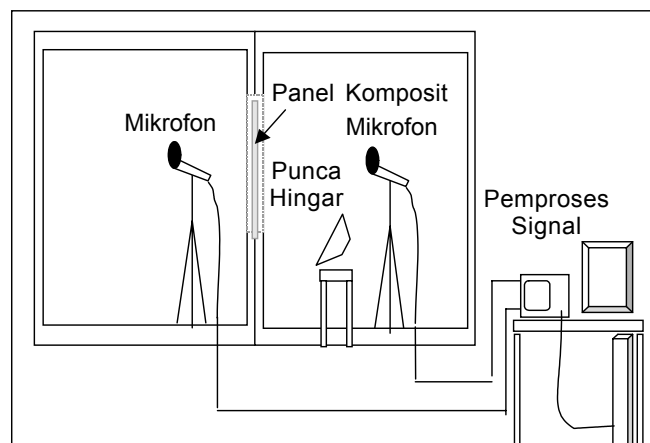
## 2.1 Pekali Penyerapan Bunyi

### (a) Bilik Gema

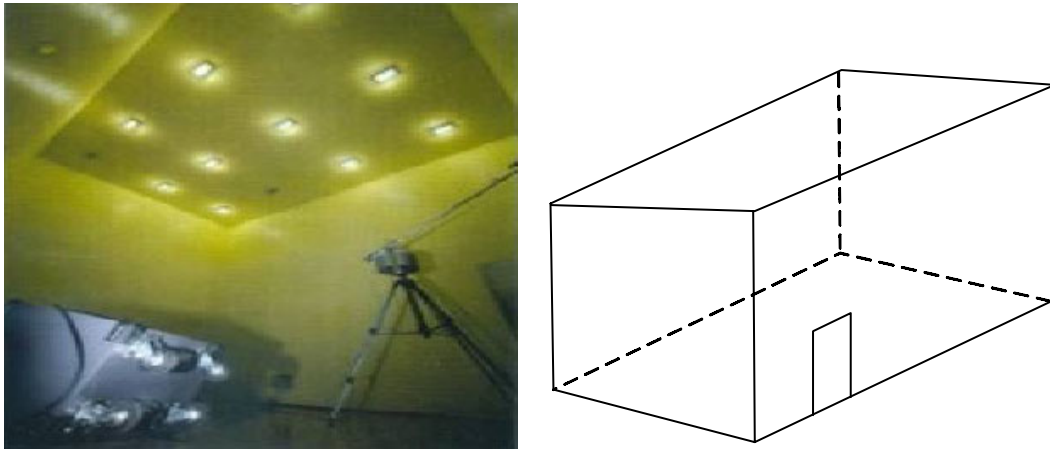
Ujikaji pekali penyerapan bunyi dijalankan di dalam bilik gema,. Ujikaji ini dijalankan dengan merujuk kepada piawaian ISO 354 bagi menentukan pekali penyerapan bunyi. Input yang diperlukan adalah masa gema untuk bilik kosong,  $RT_m$ . Parameter yang diperlukan adalah isipadu untuk bilik gema kosong, luas permukaan bilik gema dan luas sampel.

Bilik gema yang digunakan terletak di Makmal Akustik, Jabatan Mekanik dan Bahan, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, UKM. Isi padu minimum bagi bilik gema adalah  $171m^3$  dan rekaannya adalah dalam bentuk yang khas bagi tujuan pengujian akustik. Struktur utama binaan dinding dan lantai adalah konkrit bata yang telah disalut plaster. Bagi mengelakkan fenomena gelombang pegun, bilik gema ini mempunyai bentuk segi empat tetapi sudut siling yang berlainan. Bilik ini hanya mempunyai satu pintu masuk dan tidak memiliki lubang atau saluran keluar masuk yang lain bagi mengelakkan berlakunya pergerakan udara keluar masuk secara bebas. Rekabentuk dan dimensi bilik gema yang khas ini bertujuan untuk memberi kesan maksimum seperti keadaan sebenar yang berlaku dalam bilik yang mempunyai sumber hingar dari pelbagai sudut.

Rajah 1 menunjukkan lukisan skematik penyediaan ujikaji dan Rajah 2 menunjukkan bentuk dan dimensi bilik Gema di UKM. Rajah 3 dan 4 menunjukkan



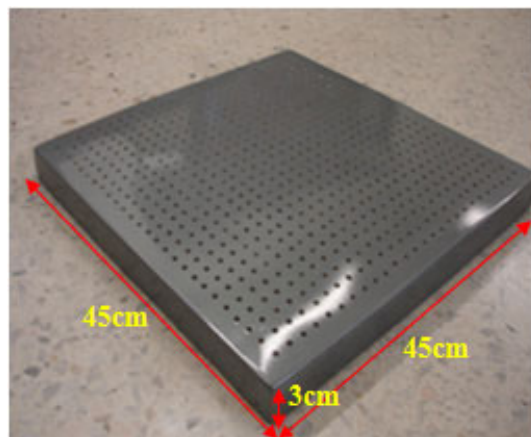
**Rajah 1** Konfigurasi skematik ujikaji pekali penyerapan dalam bilik gema



**Rajah 2** Saiz bilik Gema di Jabatan Kejuruteraan Mekanik dan Bahan, UKM



**Rajah 3** Sabut kelapa tanpa panel sebagai bahan penyerap



**Rajah 4** Panel penyerap bunyi berlubang menggunakan sabut kelapa sebagai bahan penyerap

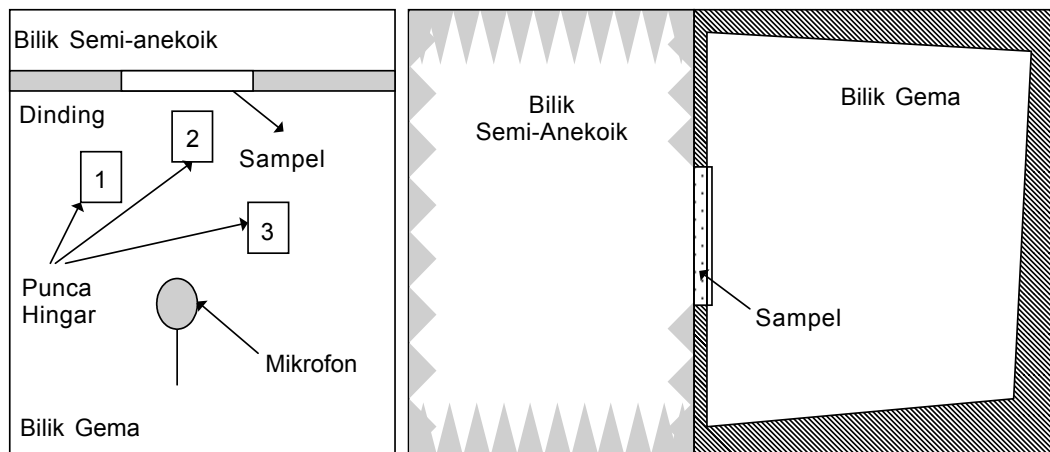
lapisan gentian sabut kelapa dan panel penyerap bunyi berlubang menggunakan gentian sabut kelapa sebagai bahan penyerap.

(b) Perisian Simulasi WinFLAG™

Bagi data simulasi, pekali penyerapan bagi panel dikira menggunakan perisian WinFLAG™, yang telah dibangunkan di NTNU [12]. Program ini menggunakan kaedah matrik pindah bagi set beberapa jenis bahan termasuk bahan porous dan plat berlubang (alur atau lubang bulat dan lain-lain). Program ini mampu mengira nilai pekali penyerapan bunyi, galangan dan indek pengurangan bunyi. Pengiraan boleh dilakukan pada frekuensi tunggal atau nilai min 1/3 oktaf. WinFLAG™ ini juga telah digunakan untuk menganggarkan prestasi akustik bahan bersama atau tanpa rongga udara [13].

## 2.2 Indeks Kehilangan Penghantaran

Ujikaji untuk kehilangan penghantaran telah dikendalikan di makmal akustik, menggunakan piawaian ISO 717-1 [8]. Panel komposit diletakkan di antara dua bilik dan sumber hingar diberikan dari bilik gema. Satu mikrofon diletakkan di bilik semi-anekoik bertujuan untuk menerima bunyi yang dipancarkan. Data yang direkod kemudiannya dianalisis untuk menentukan nilai kehilangan penghantaran. Rajah 5 dan 6 menunjukkan persediaan ujikaji indeks kehilangan penghantaran.



**Rajah 5** Lokasi sampel antara bilik gema dan bilik semi-anekoik untuk tujuan ujikaji indeks kehilangan penghantaran



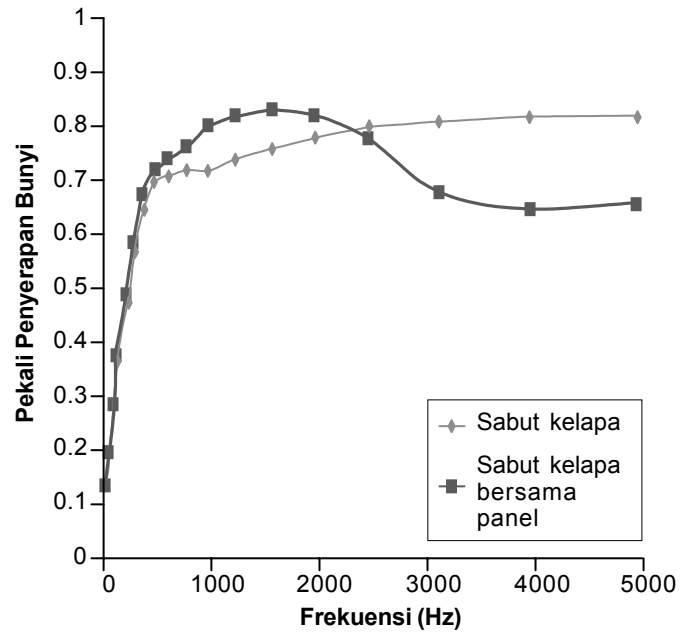
Rajah 6 Peralatan untuk ujikaji indeks kehilangan penghantaran

### 3.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

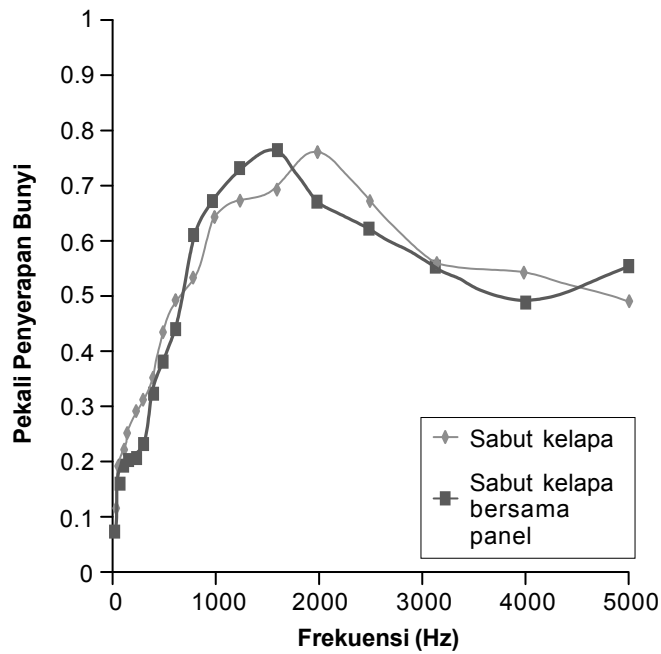
#### 3.1 Penyerapan Bunyi

Simulasi menggunakan perisian WinFLAG™ telah dijalankan bagi menganggarkan pekali penyerapan bunyi bagi panel sebelum eksperimen dilakukan. Beberapa penyelidik terdahulu pernah menggunakan perisian ini untuk menganggarkan prestasi akustik bagi gabungan lapisan bahan yang berbeza [12]. Perisian ini menjalankan kaedah matrik pindah bagi set beberapa jenis bahan termasuk bahan porous dan plat berlubang (alur atau lubang-lubang bulat dan lain-lain). Program ini mengira pekali penyerapan bunyi, galangan dan indek pengurangan bunyi. Pengiraan boleh dilakukan pada frekuensi tunggal atau nilai min 1/3 oktaf. Rajah 7 menunjukkan hasil yang diperolehi untuk pekali penyerapan bunyi bagi lapisan gentian sabut kelapa asli dan gentian sabut kelapa yang diisi ke dalam panel komposit berlubang. Gentian sabut kelapa beserta panel berlubang menunjukkan indeks pekali penyerapan yang tinggi berbanding lapisan gentian sabut kelapa sahaja bagi julat frekuensi 500 Hz sehingga 2500 Hz. Untuk frekuensi yang lebih tinggi daripada 2500 Hz, lapisan gentian sabut kelapa sahaja (tanpa panel berlubang) memberikan nilai pekali yang lebih tinggi. Indek pekali penyerapan tertinggi bagi lapisan gentian sabut kelapa beserta panel berlubang adalah antara 0.7 ke 0.8 untuk julat frekuensi 500 Hz sehingga 2500 Hz. Bagi lapisan gentian sabut kelapa sahaja, ia memberikan nilai sekitar 0.8 bagi julat frekuensi 2500 Hz sehingga 5000 Hz.

Hasil ujian ujikaji memberikan keputusan yang hampir menyerupai dengan hasil keputusan simulasi. Rajah 8 menunjukkan keputusan ujikaji untuk pekali penyerapan bunyi gentian sabut kelapa asli dan gentian sabut kelapa di dalam panel berlubang.



**Rajah 7** Perbandingan hasil simulasi untuk pekali penyerapan bunyi diantara gentian sabut kelapa dan gentian sabut kelapa dengan panel berlubang



**Rajah 8** Perbandingan keputusan ujikaji bagi pekali penyerapan bunyi antara gentian sabut kelapa dan gentian sabut kelapa dengan panel berlubang



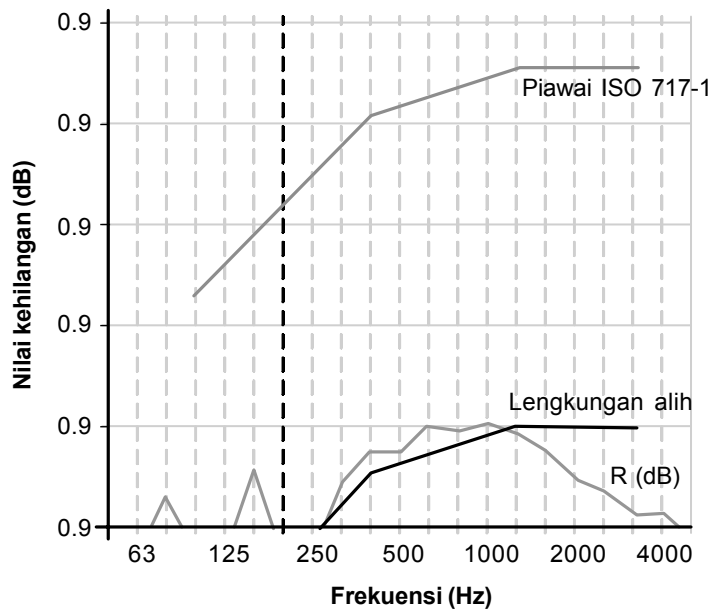
Gentian sabut kelapa dengan panel berlubang memberikan nilai pekali yang lebih tinggi untuk frekuensi yang lebih rendah dari julat 800 Hz sehingga 1800 Hz. Bagi frekuensi lebih tinggi, gentian sabut kelapa memberi bacaan indeks yang lebih tinggi. Nilai optimum pekali penyerapan bunyi bagi gentian sabut kelapa beserta panel berlubang adalah sekitar 0.7 - 0.8 bagi julat frekuensi 1000 Hz sehingga 1800 Hz dan sabut kelapa sahaja adalah 0.78 untuk frekuensi 2000 Hz.

Ballagh [14] melapurkan bahawa pekali penyerapan bunyi bertambah dengan diameter gentian yang lebih kecil. Dengan saiz telap yang lebih kecil berbanding panjang gelombang bunyi, perubahan dari tenaga bunyi kepada tenaga haba akan meningkatkan kesan getaran akibat gesaran partikel udara. Parameter lain seperti keporosan dan keliukan dimasukkan juga bagi menakrifkan sifat akustik untuk bahan yang telap.

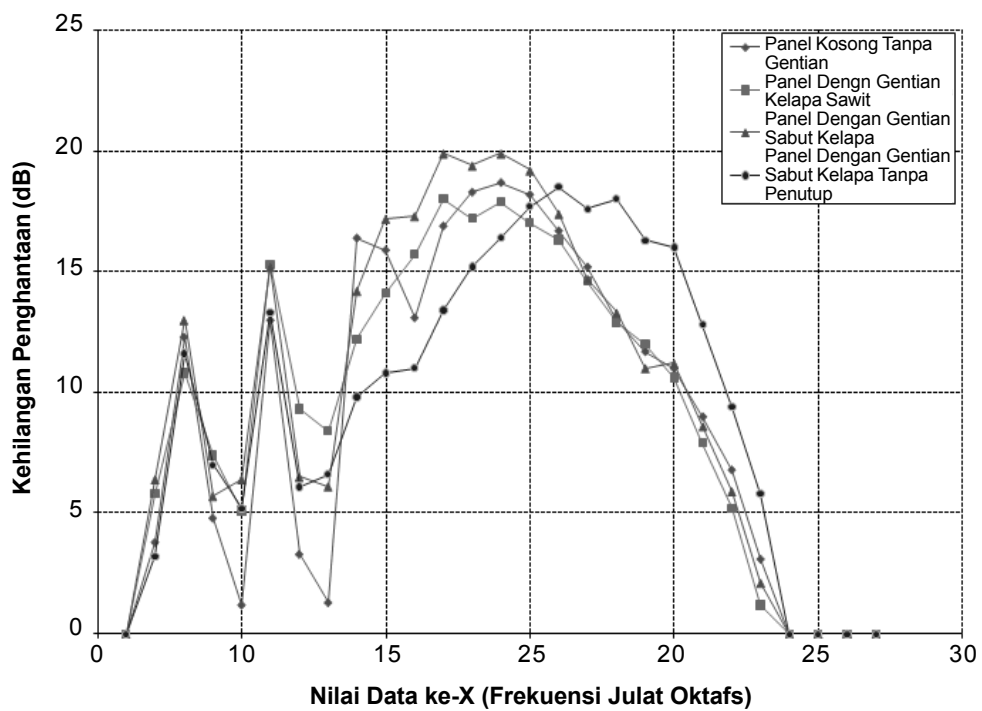
Dengan menggunakan panel berlubang, puncak pekali penyerapan bunyi dipindahkan ke frekuensi yang lebih rendah manakala nilai pekali menurun pada frekuensi yang lebih tinggi. Secara teori, apabila plat berlubang mempunyai rongga udara, satu sel udara boleh dianggap wujud bagi setiap sel udara bagi setiap lubang di bawah plat. Fenomena ini dikenali sebagai penyalun Hemholtz. Berdasarkan kajian ke atas kesan bahan telap di belakang plat berlubang, Lee and Chen [8] merumuskan bahawa bahan telap meningkatkan pekali penyerapan bunyi dan mengurangkan frekuensi resonan ke julat frekuensi yang lebih rendah. Pekali penyerapan bunyi bagi bahan poros meningkat dengan ketebalan bahan disebabkan halaju maksimum partikel adalah suku panjang gelombang dari substrat. Peningkatan lapisan gentian sabut kelapa juga bermaksud gentian mempunyai lebih banyak peluang untuk berinteraksi dengan gelombang bunyi. Ini menyebabkan lebih banyak rintangan kesan geseran kelikatan disebabkan getaran udara. Oleh kerana itu, kehadiran lapisan gentian sabut kelapa dalam set penyerap bunyi menyumbang kepada peningkatan pekali penyerapan bunyi bagi satu julat yang agak besar kerana pantulan gelombang bunyi di dalam penyerap bunyi boleh terus diserap secara berterusan melalui struktur berlapis.

### 3.2 Kehilangan Penghantaran

Hasil ujikaji bagi indeks kehilangan penghantaran untuk panel komposit berlubang yang mengandungi sabut kelapa mencatatkan nilai purata 20 dB manakala panel yang mengandungi gentian kelapa sawit memberikan nilai purata 17 dB. Rajah 9 menunjukkan indek kehilangan penghantaran melawan frekuensi bagi panel komposit berlubang yang mengandungi sabut kelapa. Rajah 10 menunjukkan perbandingan beberapa panel komposit berlubang berlainan konfigurasi yang mengandungi jenis gentian asli berbeza. Untuk frekuensi sehingga 450 Hz, panel komposit berlubang beserta gentian sabut kelapa memberikan nilai yang agak setara berbanding sampel yang lain. Namun bagi julat 400 Hz sehingga 1250 Hz (data ke-10 sehingga ke 15), panel komposit gentian sabut kelapa memberikan nilai indeks yang tertinggi. Bagi bacaan antara 1500 sehingga 3000 Hz, panel komposit gentian sabut kelapa tanpa



Rajah 9 Indeks kehilangan penghantaran melawan frekuensi bagi panel gentian sabut kelapa



Rajah 10 Perbandingan beberapa konfigurasi panel komposit gentian sabut kelapa dan gentian pelepah kelapa sawit

panel berlubang mencatat indeks kehilangan penghantaran yang paling tinggi berbanding dengan panel-panel lain.

Komposit beserta gentian kelapa sawit memberikan nilai optimum antara frekuensi 160 sehingga 315 Hz (data ke-6 sehingga data ke-8). Bagi sampel gentian sabut kelapa tanpa panel berlubang, nilai optimum indek kehilangan penghantaran bermula dari frekuensi 1600 Hz sehingga ke 10 kHz (data ke 16 hingga ke-24). Dalam kes plat berlubang, struktur memberikan nilai pekali penyerapan bunyi yang agak bagus pada frekuensi yang rendah, namun kesan sebaliknya berlaku dalam kawasan berfrekuensi tinggi. Oleh sebab itu, banyak pertimbangan yang diperlu ambil kira untuk tujuan kawalan bunyi, tetapi dalam masa yang sama juga gentian sabut kelapa berlapis menyumbang kepada peningkatan pekali penyerapan bunyi. Ini memberikan satu keboleharapan bagi rekaan penyerap bunyi berlapis.

### KESIMPULAN

Dalam kajian ini, gentian sabut kelapa diperkenalkan sebagai satu daripada alternatif bahan penyerap bunyi. Keputusan dari simulasi dan ujikaji menunjukkan ia mempunyai sifat akustik yang bagus dan mempunyai potensi yang tinggi untuk menjadi pengganti alternatif bagi produk komersial yang berasaskan sintetik. Dengan memperkenalkan panel komposit berlubang yang diperbuat daripada bahan polimer diperkuat-gentian, panel penyerap bunyi inovatif ini, berpotensi untuk menjadi produk mesra alam. Sebagai salah satu produk teknologi hijau, panel inovatif ini mempunyai masa depan yang cerah kerana ia murah dan sangat mesra alam berbanding dengan bahan sintetik berasaskan gentian kaca dan mineral. Hasil ujikaji bagi sifat akustik menunjukkan gentian sabut kelapa mempunyai nilai pekali penyerapan dan indeks kehilangan penghantaran yang baik. Susunan gentian dalam sabut kelapa boleh diubah bagi mengawal sifat penyerapan bunyi. Ini membolehkan gentian sabut kelapa digunakan dalam aplikasi untuk mengurangkan penyebaran bunyi dalam ruangan dalaman atau untuk meningkatkan pengawalan penyebaran hingar luaran. Kajian penambahbaikan perlu dijalankan bagi tujuan pengoptimuman dan peningkatan prestasi gentian sabut kelapa itu sendiri.

### RUJUKAN

- [1] Jinkyo, L. and G. W. Swenson. 1992. Compact Sound Absorbers for Low Frequencies. *Noise Control Engineering*. 38(3): 109-117.
- [2] Wambua, P., J. Ivens and I. Verpoest. 2003. Natural Fibres: Can They Replace Glass in Fibre Reinforced Plastics?. *Composite Science and Technology*. 63: 1259-1264.
- [3] Joshi, S. V., L. T. Drzal, A. K. Mohanty and S. Arora. 2004. Are Natural Fiber Composites Environmentally Superior to Glass Fiber Reinforced Composites. *Composite Part A – Applied Science*. 35: 371-376.
- [4] Khedari, J., S. Charoenvai and J. Hirunlabh. 2003. New Insulating Particleboards from Durian Pee and Coconut Coir. *Build Environment*. 38: 435-441.
- [5] Khedari, J., S. Charoenvai, J. Hirunlabh and S. Teekasap. 2004. New Low-cost Insulation Particleboards From Mixture of Durian Peel and Coconut coir. *Build Environment*. 39: 59-65.

- [6] Yang, H. S., D. J. Kim and H. J. Kim. 2003. Rice Straw-wood Particle Composite for Sound Absorbing Wooden Construction Materials. *Bioresource Technology*. 86: 117-121.
- [7] Davern, W. A. 1977. Perforated Facings Backed with Porous Materials as Sound Absorber – An Experimental Study. *Applied Acoustics*. 10: 85-112.
- [8] Lee, F.-C. and W.-H. Chen. 2001. Acoustic Transmission Analysis of Multi-layer Absorbers. *Journal of Sound and Vibration*. 4: 621-634.
- [9] Larbig, H., H. Scherzerr, B. Dahlke and R. Poltrock. 1998. Natural Fibre Reinforced Foams Based on Renewable Resources for Automotive Interior Applications. *Journal of Cellulose Plastic*. 34: 361-79.
- [10] Ono, T., S. Miyakoshi<sup>1</sup> and U. Watanabe. 2002. Acoustic Characteristics of Unidirectionally Fiber-reinforced Polyurethane Foam Composites for Musical Instrument Soundboards, *Acoustic Science and Technology*. 23(3): 135-142.
- [11] Wang C. N. and J. H. Torng. 2001. Experimental Study of the Absorption Characteristics of Some Porous Fibrous Materials. *Applied Acoustic*. 62: 447-459.
- [12] Vigran, T. E. 2003. *Manual for Program WinFLAGTM*, Version 1. NTNU.
- [13] Mohd Nor, M. J., N. Jamaludin and F. Mohd Tamiri, 2004. A Preliminary Study of Sound Absorption Using Multi-layer Coconut Coir Fibers. *Electronic Journal <Technical Acoustics>* <http://webcenter.ru/~eeaa/ejta>.
- [14] Ballagh, K. O. 1996. Acoustical Properties of Wool. *Applied Acoustics*. 48(2): 101-120.