

Kesan Lapisan Berliang dan Nisbah Keluasan Plat Berlubang Terhadap Ciri Akustik Serabut Sabut Kelapa Sebagai Bahan Penyerap Bunyi

(Effect of Porous Layer Backing and Perforation Ratio of Perforated Plate on Acoustic Characteristics of Coconut Fibre as a Sound Absorbent)

ZULKARNAIN*, ROZLI ZULKIFLI & MOHD JAILANI MOHD NOR

ABSTRAK

Penyelidikan ini dilakukan untuk mengkaji ciri akustik serabut sabut kelapa yang berpotensi digunakan sebagai bahan penyerap bunyi. Untuk meningkatkan ciri akustik serabut sabut kelapa pada frekuensi rendah, lapisan berliang digunakan di bahagian depan atau belakang bertujuan untuk meningkatkan nilai galangan permukaan. Bahan selanjutnya dilapisi dengan plat berlubang dengan nisbah keluasan yang berbeza. Sampel diuji mengikut piawaian antarabangsa ASTM E 1050-98 untuk menentukan pekali penyerapan bunyi. Daripada hasil uji kaji, plat 1 mm berlubang yang diperbuat daripada kepingan aluminium yang melapisi serabut sabut kelapa, didapati bahawa nilai maksimum pekali penyerapan bunyi berada pada frekuensi antara 2750 Hz hingga 2825 Hz iaitu dengan nilai 0.97. Nilai nisbah keluasan plat berlubang memberikan pengaruh penurunan pekali penyerapan bunyi pada frekuensi tinggi. Penurunan nilai pekali penyerapan bunyi terjadi apabila plat berlubang mempunyai nilai nisbah keluasan di bawah 0.22. Akan tetapi, penggunaan plat berlubang boleh meningkatkan prestasi penyerapan bunyi serabut sabut kelapa pada frekuensi rendah. Kesepakatan yang baik diperoleh daripada keputusan uji kaji dan analisis dengan pendekatan rangkaian elektrik setara yang digunakan untuk menghitung nilai pekali penyerapan bunyi. Ini menunjukkan bahawa pendekatan rangkaian elektrik setara boleh digunakan untuk merancang dan mengoptimumkan ciri akustik serabut sabut sebagai bahan penyerap bunyi.

Kata kunci: Lapisan berliang; plat berlubang; pekali penyerapan bunyi

ABSTRACT

This research was conducted to study the acoustic characteristics of coconut coir fiber which has high potential to be used as a sound absorbing material. To increase the acoustic performance of coconut coir fiber at low frequency, porous layer was installed in front or behind with the aims to increase the value of surface impedance. The perforated plate with a different ratio of perforation was used as a backing plate for the coconut coir fiber. Samples were tested according to international standard ASTM E 1050-98 for measurement of sound absorption coefficients. A 1 mm perforated plate made of aluminium backing with coconut coir fiber, showed the sound absorption coefficient with frequency between 2750 Hz and 2825 Hz with a maximum peak value of 0.97. The value perforation ratio of perforated plate could reduced the sound absorption coefficients at high frequency. The decrease in the coefficient in sound absorption occurred when the perforation ratio of perforated plates reached below 0.22. However, the use of perforated plates can increase the acoustics performance of coconut coir fiber at lower frequencies. Good agreement was obtained from the experimental results and analysis using the equivalent electrical circuit approach used to calculate the noise absorption coefficient. This shows that the equivalent electrical circuit approach can be used to design and optimize the acoustic characteristics of coir fiber as a sound absorbent.

Keywords: noise absorption coefficient; perforated plate; porous layer

PENGENALAN

Pada masa ini pengawalan kebisingan semakin mendapat perhatian kerana ia merupakan salah satu faktor penting untuk memperbaiki persekitaran. Kebisingan boleh menyebabkan gangguan kesihatan seseorang apabila tingkat dedahan kebisingan melebihi had yang ditentukan. Kebisingan dapat dikawal dengan beberapa cara iaitu kawalan punca bunyi, kawalan pada laluan bunyi ke pendengar dan kawalan terhadap pendengar. Salah satu kaedah kawalan pada laluan bunyi ialah dengan

menggunakan bahan penyerap akustik (Zent & Long 2007).

Ciri akustik bahan penyerap berbeza antara satu dengan yang lain bergantung kepada jenis bahan. Bahan penyerap akustik umumnya dibezakan sebagai bahan berliang dan busa (*foam*). Bahan berliang yang biasa digunakan ialah serabut kaca dan tatal batu. Bahan-bahan ini mempunyai ciri penyerapan akustik yang tinggi dan tahan api, akan tetapi serabut tersebut dapat menyebabkan gangguan pernafasan pada paru-paru manusia.

Dengan kekurangan tersebut, beberapa penyelidik telah melakukan kajian untuk mendapatkan bahan pengganti yang berasal daripada bahan serabut asli. Yang et al. (2003) telah membentangkan kajian mengenai komposit jerami padi-zarah kayu sebagai bahan binaan kayu yang boleh menyerap bunyi. Nilai pekali penyerapan bunyi yang diperolehi adalah lebih tinggi berbanding bahan yang hanya berasaskan kayu. Khedari et al. (2003; 2004) membangunkan papan zarah yang berasaskan sisa pertanian seperti kulit durian (*Durio zibethinus*) dan sabut kelapa (*Cocos nucifera*). Papan zarah yang berjaya dibangunkan mempunyai kekonduksian haba yang rendah tetapi mempunyai kos pembangunan yang lebih rendah berbanding bahan komersil.

Wassilief (1996) membuat kajian mengenai penyerap bunyi yang menggunakan habuk kayu (*Pinus radiata*) sebagai bahan asasnya. Pekali penyerapan bunyi yang diperolehi menunjukkan penyerapan bunyi yang tinggi pada julat frekuensi tinggi iaitu antara 1000 Hz hingga 4000 Hz. Natarajan (2000) juga telah meneroka dan menilai penggunaan serabut asli seperti pelepah kelapa sawit (*Elaeis guineensis*), sekam padi (*Oryza sativa*) dan sabut kelapa (*Cocos nucifera*) sebagai pengisi sistem komposit berasaskan matriks polimer dalam aplikasi kawalan bunyi. Zulkifli et al. (2008) yang melakukan kajian dengan menggunakan kaedah bilik gema telah memperoleh nilai pekali penyerapan bunyi serabut sabut kelapa yang baik pada julat frekuensi rendah apabila dilapisi dengan plat berlubang.

Peningkatan pekali penyerapan bunyi pada frekuensi rendah boleh dilakukan dengan cara meningkatkan ketumpatan permukaan bahan atau memperbesar nilai rintangan aliran udara. Zent dan Long (2007) dalam kajian mengenai pengaruh lapisan berliang dan filem menjelaskan bahawa kedua-dua lapisan tersebut boleh meningkatkan pekali penyerapan pada frekuensi rendah. Lapisan bahan berliang merupakan bahan dengan nilai rintangan aliran udara yang berhingga, sedangkan lapisan filem merupakan lapisan yang berupa lapisan plastik atau kertas yang mempunyai nilai rintangan aliran yang tidak berhingga. Peningkatan nilai pekali penyerapan bunyi pada frekuensi rendah pula dapat diperolehi dengan menggunakan plat berlubang. Jinky et al. (1992) menjelaskan faktor-faktor yang memberikan kesan pada nilai penyerapan bunyi pada plat berlubang iaitu ketebalan, garis pusat lubang, jarak lubang dan nisbah keluasan plat berlubang. Davern (1977) membuktikan bahawa nisbah keluasan plat berlubang dan ketumpatan bahan berliang memberikan kesan terhadap nilai galangan akustik dan pekali penyerapan bunyi bahan penyerap akustik.

Selain faktor-faktor yang tersebut di atas, nilai pekali penyerapan bunyi bahan berliang juga dipengaruhi oleh susunan plat berlubang, bahan berliang dan bahan pelapis yang digunakan. Ersoy dan Kucuk (2009) melakukan uji kaji menggunakan serabut daun teh yang dilapisi dengan bahan katun yang tak ditenun dan menjelaskan bahawa nilai pekali penyerapan bunyi serabut daun teh tersebut meningkat di frekuensi rendah dan tinggi. Hong et al.

(2007) juga melakukan kajian menggunakan zarah getah yang digabungkan dengan plat berlubang dan pelapis bahan berliang berjaya mencapai pengurangan amplitud bunyi yang memuaskan.

Kajian ini bertujuan untuk mempelajari kesan penggunaan serabut sabut kelapa yang dilapisi dengan lapisan berliang yang akan digunakan sebagai bahan penyerap akustik, sebagai pengganti bahan akustik komersil. Kesan plat berlubang dengan nilai nisbah keluasan yang berbeza terhadap ciri-ciri akustik bahan penyerap yang diperbuat daripada serabut sabut kelapa juga dikaji.

GALANGAN AKUSTIK BAHAN BERLIANG

Delany & Bazley (1970) mengemukakan satu persamaan untuk pekali rambat bunyi dan ciri galangan dari bahan berliang yang merupakan fungsi daripada rintangan aliran, angka gelombang, ketumpatan udara dan frekuensi.

$$\gamma_f = \frac{\omega}{c_a} \left[0.189 \left(\frac{\rho_a f}{\sigma} \right)^{-0.595} + i \left(1 + 0.0978 \left(\frac{\rho_a f}{\sigma} \right)^{-0.7} \right) \right]$$

$$Z_f = \rho_a c_a \left[1 + 0.057 \left(\frac{\rho_a f}{\sigma} \right)^{-0.754} - i \left(0.087 \left(\frac{\rho_a f}{\sigma} \right)^{-0.732} \right) \right]$$

dengan γ_f adalah pemalar persamaan penjalaran gelombang, Z_f ialah galangan ciri, ω ialah frekuensi sudut dan c_a , ρ_a , σ , f ialah masing-masing mewakili kelajuan udara, ketumpatan udara, rintangan aliran dan frekuensi.

GALANGAN AKUSTIK PLAT BERLUBANG

Persamaan galangan akustik permukaan plat berlubang pada frekuensi rendah adalah

$$Z_p = \frac{\rho_0}{\epsilon_n} \sqrt{8v\omega} \left(1 + \frac{t_p}{2a_n} \right) + i \frac{\omega \rho_0}{\epsilon_n} \left[\sqrt{\frac{8v}{\omega}} \left(1 + \frac{t_p}{2a_n} \right) + t_p + \delta_n \right]$$

dengan ρ_0 , ω , dan v adalah masing-masing ketumpatan udara, frekuensi sudut dan kelikatan kinematik udara ($v = 15 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ pada suhu ruang). a_n dan ϵ_n adalah ukuran garis pusat lubang dan keliangan daripada plat berlubang.

Dalam kajian ini kaedah pendekatan rangkaian elektrik setara telah digunakan untuk mengira pekali penyerapan serabut sabut kelapa yang dilapisi bahan berliang. Untuk kes gelombang bunyi yang merambat normal terhadap bahan penyerap, dengan anggapan tekanan dan kelajuan gelombang bunyi yang melalui setiap lapisan antaramuka adalah sama. Dengan menggunakan pendekatan rangkaian elektrik setara, galangan akustik yang dihasilkan boleh diperolehi (Munjil 1987). Berdasarkan kajian Jinky et al. (1992), menggunakan pendekatan ini yang diterapkan untuk mengira paduan galangan akustik daripada penyerap akustik banyak lapisan yang terdiri daripada dua lapisan plat berlubang boleh dikira daripada pekali penyerapan α . Pekali penyerapan bahan penyerap banyak lapisan ini dikira dengan persamaan (Hong 2007).

$$\alpha = \frac{4R_r / \rho_0 c_0}{(R_r / \rho_0 c_0 + 1)^2 + (X_r / \rho_0 c_0)^2}$$

dengan R_r dan X_r adalah bahagian nyata dan khayal dari galangan akustik paduan serabut sabut kelapa yang dilapisi dengan plat berlubang. Menerusi pendekatan rangkaian elektrik setara, nilai galangan akustik dan pekali penyerapan serabut sabut kelapa yang dilapisi dengan plat berlubang boleh diperolehi. Ini adalah kaedah praktikal yang digunakan untuk mereka bentuk ciri akustik penyerap bunyi berasaskan serabut sabut.

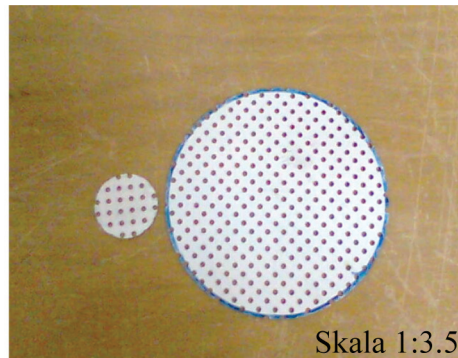
BAHAN DAN KAEDAH

Untuk kajian ini, serabut sabut kelapa merupakan bahan baku utama yang diperolehi dari bahagian luar kulit buah kelapa (Rajah 1). Rajah 2 menunjukkan skema susunan plat berlubang, lapisan berliang dan serabut sabut kelapa yang digunakan dalam uji kaji ini. Serabut sabut kelapa dibersihkan dan disalut menjadi tetikar. Tetikar serabut sabut kelapa disusun dengan menggunakan lateks untuk mengekalkan struktur serabut sabut kelapa. Sampel disediakan daripada tetikar serabut sabut kelapa yang dibentuk dengan acuan yang memiliki garis pusat 100 mm pada frekuensi rendah dan 28 mm untuk frekuensi tinggi. Bagi mendapatkan

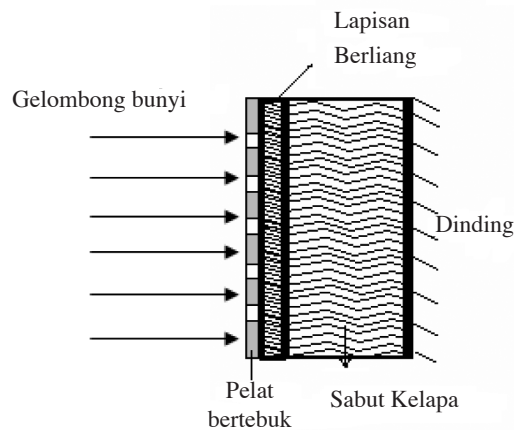
padanan dengan saiz sampel ke dalam tiub galangan, acuan dibuat daripada besi keluli dengan panjang 100 mm untuk setiap garis pusat yang diperlukan. Bagi setiap ketebalan bahan, pengukuran dilakukan dengan tiga sampel yang berbeza. Plat berlubang disediakan menggunakan aluminium dengan ketebalan 1 mm, dengan nisbah keluasan 0.10, 0.15 dan 0.22. Lubang-lubang mempunyai garis pusat lubang sebesar 2 mm. Plat berlubang bertindak sebagai lapisan atas daripada bahan yang digunakan sebagai panel penyerapan bunyi (Rajah 2). Peralatan uji kaji lain yang digunakan adalah jenis penentukur GRAS-42AB 114 dB, 1000 Hz, ½” mikrofon (GRAS-40BP), pembesar suara, penguat, komputer riba dan alat Symphonie (Unit perolehan data masa nyata dua saluran).

Sifat penting bahan akustik yang boleh diukur dengan kaedah tiub galangan adalah pekali penyerapan bunyi normal dan nilai ciri galangan yang merupakan fungsi daripada frekuensi. Pekali penyerapan bunyi adalah peratus tenaga gelombang bunyi yang diserap oleh sampel bahan penyerap yang dihargai antara sifar sehingga nilai satu. Uji kaji dengan tiub galangan ini dilakukan menggunakan kaedah fungsi pemindahan dua mikrofon mengikut piawaian antarabangsa ASTM E 1050-98.

Alat tiub galangan dilengkapi dengan tiub untuk pengujian pada frekuensi rendah dan tinggi, dilengkapi



RAJAH 1. Bahan-bahan yang diuji nilai pekali penyerapan bunyi



RAJAH 2. Bahan penyerap akustik yang terdiri daripada susunan plat berlubang, lapisan berliang dan serabut sabut kelapa

dengan pemegang sampel, pembesar suara dan penguat audio dan mikrofon. Mikrofon yang disambungkan ke PC, yang juga termasuk gangguan rawak generator. Sebuah perisian dengan antara muka yang mudah (SCS8100) akan memandu pengguna melalui pengukuran dan mencetak keputusan operasi. Skema susunatur dari peralatan tiub galangan dapat dilihat dalam Rajah 3.

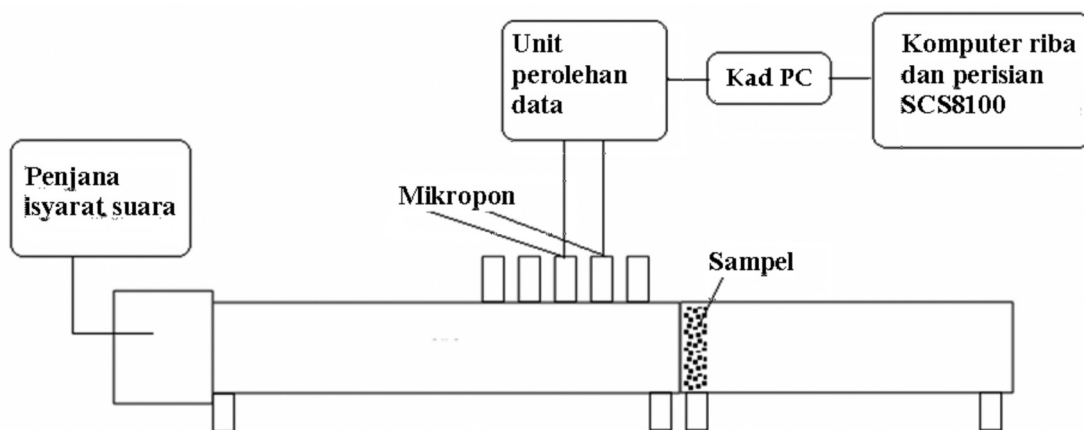
HASIL DAN PERBINCANGAN

Pengukuran sampel-sampel sabut kelapa telah dilakukan menggunakan tiub galangan pada frekuensi rendah dan tinggi iaitu antara 115 Hz hingga 4250 Hz. Rajah 4 menunjukkan pekali penyerapan bunyi dari serabut sabut kelapa dengan perbezaan ketebalan yang ditempatkan di depan dinding tegar.

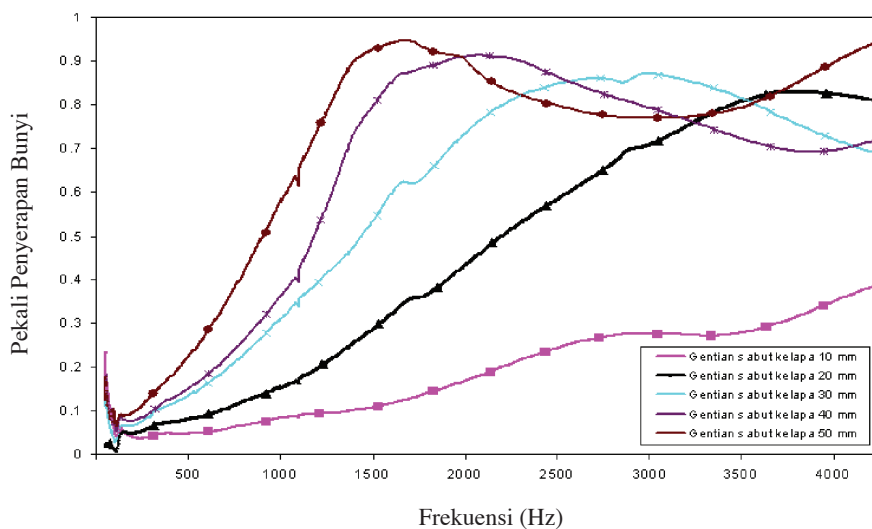
Ketebalan sampel sabut kelapa masing-masing bernilai 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm dan 50 mm. Daripada data yang diperolehi menunjukkan bahawa pekali penyerapan bunyi sabut kelapa meningkat seiring dengan meningkatnya ketebalan sampel pada semua frekuensi.

Untuk bahan penyerap berliang, bagi memberikan prestasi penyerapan bunyi yang efisien maka perlu untuk menempatkan bahan penyerap pada suatu tempat di mana zarah udara mempunyai kelajuan yang tinggi. Bahan penyerap berliang menunjukkan prestasi penyerapan bunyi yang baik ketika ditempatkan pada jarak $\lambda/4$, $3/4 \lambda$, dan seterusnya (Maekawa & Lord 1994). Ballagh (1996) melaporkan bahawa pekali penyerapan bunyi meningkat dengan penurunan garis pusat serabut. Ketumpatan juga boleh menyebabkan peningkatan nilai pekali penyerapan (Zent & Long 2007).

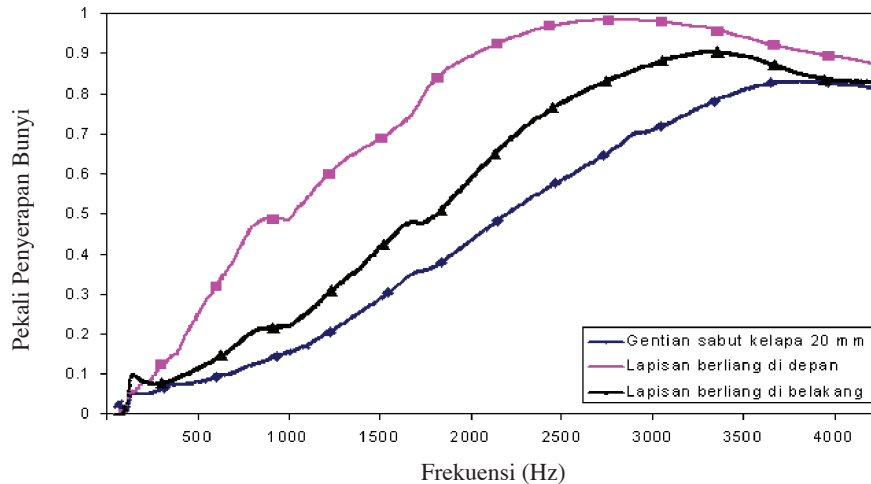
Kajian lebih lanjut dilakukan terhadap sampel dengan ketebalan 20 mm yang digabungkan dengan lapisan berliang di depan atau belakang. Sebelum dilapisi dengan bahan berliang, sampel sabut kelapa dengan ketebalan 20 mm mempunyai nilai maksimum pada frekuensi rentang 3680 Hz sehingga 3860 Hz dengan nilai maksimum 0.83 pada frekuensi 3784 Hz. Selepas sampel dilapisi dengan lapisan berliang baik di depan ataupun belakang, pekali penyerapan serabut sabut kelapa meningkat disemua frekuensi (Rajah 5). Sampel dengan ketebalan 20 mm



RAJAH 3. Skema susunatur tiub galangan untuk mengukur nilai pekali penyerapan



RAJAH 4. Pekali penyerapan bunyi gentian sabut kelapa dengan perbezaan ketebalan



RAJAH 5. Nilai pekali penyerapan bunyi gentian sabut kelapa yang dilapisi dengan lapisan berliang pada bahagian depan dan belakang

yang dilapisi dengan lapisan berliang dibahagian depan mempunyai nilai-nilai maksimum penyerapan bunyi pada frekuensi kisaran antara 2750 Hz sehingga 2825 Hz dengan nilai puncak 0.97.

Oleh itu lapisan berliang yang digunakan sebagai pelapis baik yang melapisi pada bahagian depan ataupun bahagian belakang untuk serabut sabut kelapa menyumbang untuk peningkatan pekali penyerapan bunyi pada keseluruhan frekuensi, kerana gelombang bunyi yang sampai kepada penyerap bunyi boleh diserap secara efektif apabila melalui liang bahan penyerap. Perkara ini berlaku kerana lapisan berliang mempunyai rintangan terhadap aliran udara yang lebih tinggi daripada serabut sabut kelapa sehingga tenaga gelombang bunyi boleh diubah menjadi tenaga panas secara signifikan (Zent & Long 2007).

Pekali penyerapan serabut sabut kelapa yang dilapisi dengan lapisan berliang menunjukkan peningkatan pekali penyerapan bunyi. Akan tetapi, serabut sabut kelapa yang dilapisi dengan lapisan berliang di bahagian depan lebih baik daripada serabut sabut kelapa yang dilapisi di bahagian belakang. Simulasi juga telah dilakukan untuk meramal pekali penyerapan bunyi plat berlubang sebelum uji kaji dijalankan. Nisbah keluasan dari plat berlubang yang digunakan adalah 0.10, 0.15 dan 0.22. Simulasi untuk pekali penyerapan bunyi serabut sabut kelapa tanpa dan dengan plat berlubang dikira menggunakan kaedah pendekatan rangkaian elektrik setara. Kaedah ini juga boleh digunakan untuk mengira prestasi akustik gabungan pembinaan lapisan bahan yang berbeza.

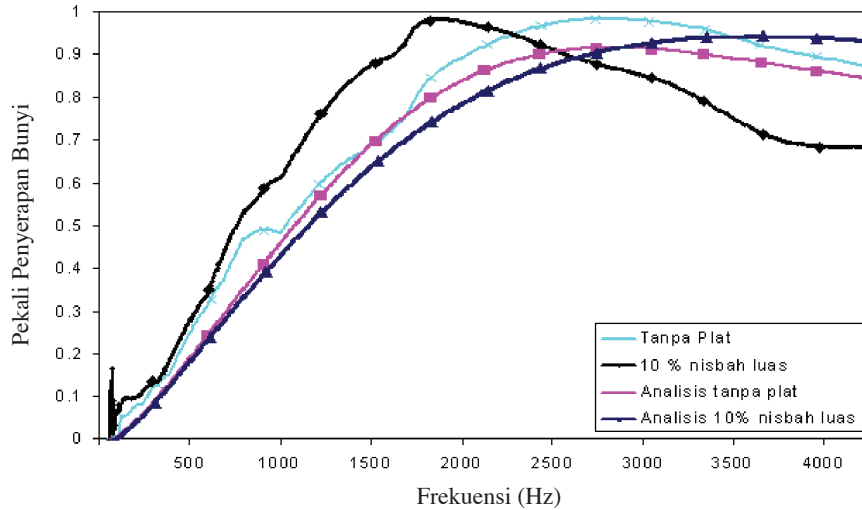
Rajah 6 menunjukkan hasil eksperimen pekali penyerapan bunyi sabut kelapa yang dilapisi dengan dan tanpa plat berlubang. Bagi tetikar sabut kelapa yang dilapisi dengan plat berlubang memberikan nilai pekali yang lebih tinggi untuk julat frekuensi yang lebih rendah daripada 800 Hz hingga 1800 Hz. Untuk frekuensi yang lebih tinggi, serabut sabut kelapa yang dilapisi dengan plat berlubang memberikan nilai yang lebih rendah.

Rajah 7 menunjukkan keputusan simulasi yang diperolehi untuk pekali penyerapan bunyi untuk multi-lapisan serabut sabut kelapa dengan dan tanpa plat berlubang. Sabut kelapa dengan plat berlubang menunjukkan nilai pekali yang lebih tinggi untuk julat frekuensi 500 Hz hingga 2500 Hz. Untuk julat frekuensi lebih daripada 2500 Hz, serabut sabut kelapa tanpa plat berlubang memberikan indeks pekali yang lebih tinggi. Nilai tertinggi pekali penyerapan untuk serabut sabut kelapa dengan plat berlubang diantara 0.70 hingga 0.85 bagi kisaran 500 Hz hingga 2500 Hz sedangkan untuk serabut sabut kelapa tanpa plat berlubang adalah 0.80 untuk julat frekuensi 2500 Hz hingga 5000 Hz. Nilai pekali penyerapan bunyi maksimum untuk serabut sabut kelapa yang dilapisi dengan plat berlubang adalah antara 0.70 hingga 0.97 pada julat frekuensi 1000 Hz hingga 1800 Hz. Eksperimen menggunakan plat berlubang memberikan hasil yang lebih baik bila dibandingkan dengan eksperimen tanpa menggunakan plat berlubang. Hal ini menunjukkan bahawa plat berlubang mempunyai kapasiti untuk mengurangkan suara. Rajah 6 dan 7 juga memperlihatkan nilai pekali penyerapan bunyi sabut kelapa yang menggunakan plat berlubang dengan keliangan yang berbeza.

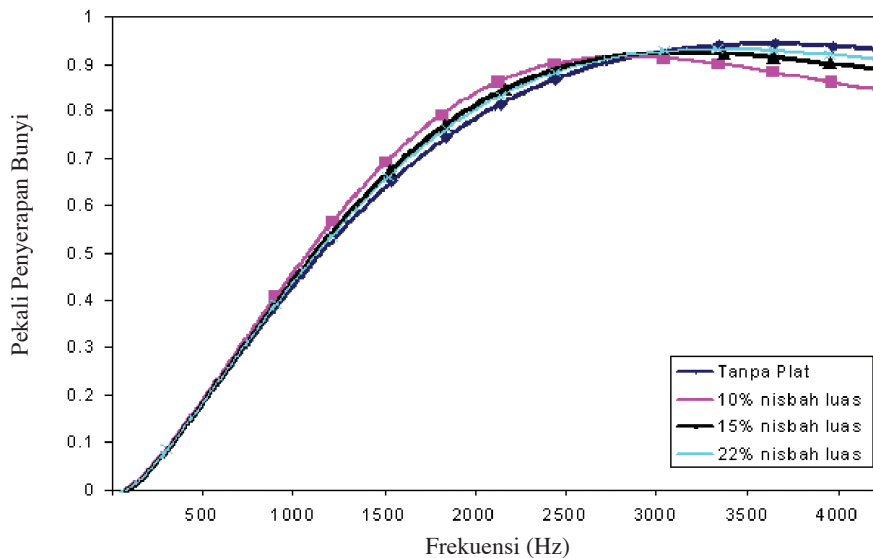
Rajah 6 dan 7 menunjukkan nilai pekali penyerapan diperolehi menurun pada julat frekuensi 2000 Hz sampai 4250 Hz untuk nilai nisbah keluasan plat berlubang yang kurang dari 0.22. Nilai pekali penyerapan bunyi bahan penyerap akustik yang dilapisi dengan plat berlubang boleh mencapai nilai maksimum jika nilai galangan permukaan bahan penyerap yang dilapisi plat berlubang mendekati nilai galangan ciri udara (Cox & D'Antonio 2004).

KESIMPULAN

Dalam kajian ini telah dilakukan uji kaji dan analisis dengan cara simulasi untuk menentukan nilai pekali penyerapan bunyi sabut kelapa sebagai bahan penyerap



RAJAH 6. Hasil uji kaji pekali penyerapan bunyi gentian sabut kelapa dibelakang plat berlubang



RAJAH 7. Simulasi pekali penyerapan bunyi gentian sabut kelapa dibelakang plat berlubang

bunyi. Berdasarkan data eksperimen didapati nilai pekali penyerapan bunyi sabut kelapa memberikan nilai rendah pada frekuensi-frekuensi rendah. Oleh itu untuk memperbaiki prestasi penyerapan bunyi sabut kelapa, sampel telah dilapisi dengan lapisan berliang dan plat berlubang. Dari kajian didapati nilai pekali penyerapan bunyi meningkat disemua frekuensi setelah dilapisi dengan lapisan berliang. Untuk memperoleh nilai penyerapan bunyi yang optimum, lapisan berliang hendaknya berada di bahagian depan sabut kelapa. Hasil kajian juga telah menunjukkan bahawa nilai pekali penyerapan bunyi sabut kelapa akan meningkat pada frekuensi-frekuensi rendah apabila dilapisi dengan plat berlubang yang nilai nisbah keluasanya lebih kecil dari 0.22, akan tetapi nilai pekali penyerapan akan mengalami penurunan pada frekuensi tinggi. Hasil simulasi menggunakan kaedah pendekatan aliran elektrik setara

menunjukkan nilai pekali penyerapan yang sepadan dengan hasil eksperimen pada frekuensi rendah.

RUJUKAN

- Ballagh, K.O. 1996. Acoustical properties of wool. *Applied Acoustics* 48(2): 101-120.
- Cox, T.J. & D'Antonio, P. 2004. *Acoustic absorbers and diffusers theory, design and application*. London: Spon Press.
- Davern, W.A. 1977. Perforated facings backed with porous material as sound absorber – an experimental study. *Applied Acoustics* 10: 85-112.
- Delany, M.E. & Bazley, E.N. 1970. Acoustical properties of fibrous absorbent materials. *Applied Acoustics* 3(2): 105-116.
- Ersoy, S. & Kucuk, H. 2009 Investigation of industrial tea-leaf fiber waste material for its sound absorption properties. *Applied Acoustics* 70: 215-220.

- Hong, Z., Bo, L., Guangsu, H., & Jia, H. 2007. A novel composite sound absorber with recycled rubber particles. *Journal of Sound and Vibration* 304: 400-406.
- Jinkyoo, L., George, W. & Swenson, J. 1992. Compact sound absorbers for low frequencies. *Noise Control Engineering Journal* 38:109-117
- Khedari, J., Charoenvai, S. & Hirunlabh, J. 2003. New insulating particleboards from durian peel and coconut coir. *Building and Environment* 38: 435-441.
- Khedari, J., Nankongnab, N., Hirunlab, J. & Teekasap, S. 2004. New low-cost insulation particleboards from mixture of durian peel and coconut coir. *Building and Environment* 39: 59-65.
- Lee, F.-C. & Chen, W.-H. 2001. Acoustic transmission analysis of multi-layer absorbers. *Journal of Sound and Vibration* 4: 621-634.
- Maekawa, Z. & Lord, P. 1994. *Environmental and architectural acoustics*. London: E & FN Spon.
- Munjal, M.L. 1987. *Acoustics of Ducts and Mufflers.*, New York: John Wiley and Sons; Bah. 2.
- Natarajan, V.D. 2000. Penilaian penyerapan akustik bahan tempatan menggunakan kaedah tiub galangan. Tesis Sarjana. Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Wassilieff, C. 1996. Sound absorption of wood-based materials. *Applied Acoustics* 48: 339-356.
- Yang, H.S., Kim, D.J. & Kim, H.J. 2003. Rice straw-wood particle composite for sound absorbing wooden construction materials. *Bioresource Technology* 86: 117-121.
- Zent, A. & Long, J.T. 2007. *Automotive Sound Absorbing Material Survey Results*. SAE international.
- Zulkifli, R., Mohd Nor, M.J., Ismail, A.R., Nuawi, M.Z. & Mat Tahir, M.F. 2008. Acoustic properties of multi-layer coir fibres sound absorption panel. *Journal of Applied Sciences* 8: 3709-3714

Jabatan Kejuruteraan Mekanik dan Bahan
Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600, UKM Bangi, Selangor. D. E
Malaysia

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: nain_sae@yahoo.co.id

Diserahkan: 10 Disember 2009
Diterima: 2 September 2010