

## **PENGURANGAN TINGKAT KEBISINGAN DENGAN MENGUNAKAN SERAT SABUT KELAPA DIGUNAKAN SEBAGAI BAHAN PENYERAP BUNYI**

**Zulkarnain**

Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya  
Jl. Raya Prabumulih Km 32 Inderalaya Ogan Ilir  
Korespondensi Pembicara. Email: nain\_sae@yahoo.co.id

### **ABSTRACT**

Serat sabut kelapa mempunyai potensi dikembangkan sebagai bahan penyerap bunyi. Selain merupakan serat alami yang ketersediaannya melimpah, serat sabut kelapa mempunyai kekuatan tarik dan nilai keporousan yang baik. Karakteristik akustik yang umum diukur adalah nilai koefisien penyerapan bunyi dan konstanta perambatan bunyi. Untuk melakukan analisis karakteristik akustik bahan berpori dan berserat, umumnya banyak peneliti menggunakan model persamaan yang dikembangkan oleh Delany & Bazley (1970). Akan tetapi nilai keakuratan yang didapat belum memuaskan. Untuk itu, beberapa peneliti melakukan berbagai penelitian pada bahan-bahan berserat dan berpori. Garai & Pompoli (2005) dan Komatsu (2008) mengenalkan model persamaan baru untuk memperbaiki persamaan dari Delany & Bazley. Penelitian ini bertujuan menganalisa karakteristik akustik dari serat sabut kelapa dengan menggunakan model yang dikembangkan oleh Delany & Bazley (1970), Garai & Pompoli (2005) dan Komatsu (2008). Validitasi data analisis dilakukan dengan menguji sampel sabut serat kelapa. Sampel serat sabut kelapa disediakan dengan ketebalan masing-masing 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm dan 50 mm. Dari perbandingan data hasil analisa dan data pengujian didapatkan bahwa model persamaan yang dikembangkan Komatsu (2008) memberikan nilai yang baik pada range frekuensi rendah yaitu 50 Hz – 1500 Hz, sedangkan pada range frekuensi antara 1550 Hz – 4250 Hz memberikan nilai yang kurang memuaskan.

**Keywords** : Koefisien penyerapan bunyi, konstanta perambatan, serat sabut kelapa.

### **1. PENDAHULUAN**

Dewasa ini tingkat kebisingan telah menjadi permasalahan lingkungan yang cukup mengkhawatirkan. Tingkat kebisingan di kota-kota besar meningkat sebesar 1 dB setiap tahunnya. Bising adalah suara atau bunyi gaduh ( berdengung, berdesing) sehingga memekakkan telinga. Bising juga dapat dampak psikologis seperti menghilangkan konsentrasi bagi manusia. Bising psikologis berarti tidak dapat mendengar dan memahami sesuatu karena sedang tegang, mengantuk atau memikirkan hal lain.

Intensitas suara bising dapat dikontrol dengan menggunakan bahan penyerap akustik. Di pasaran, bahan penyerap akustik umumnya berupa bahan berpori dan busa berliang atau serat sintetis. Untuk meningkatkan nilai penyerapan bunyi di ferkuensi

rendah, bahan penyerap akustik dikombinasikan dengan pelat berlubang, sela udara dan bahan berpori.

Beberapa peneliti melakukan terobosan untuk mengembangkan bahan penyerap akustik baru menggunakan serat organik sebagai bahan penyerap bunyi. Yang et al (2003) meneliti paduan jerami padi dan partikel-partikel kayu menjadi papan komposit untuk menyerap kebisingan. Wassilief (1996) menggunakan partikel kayu sebagai bahan dasar. Beliau menunjukkan pengaruh tiga parameter ( ditambah dengan ketebalan sampel) resitivitas aliran udara, porositas, turtuositas yang menentukan nilai penyerapan bunyi. Untuk menyerap kebisingan pada frekuensi rendah harus menggunakan bahan yang lebih tebal. Ini akan menyebabkan peningkatan bobot bahan dan tempat untuk menginstalnya.

Dengan meningkatnya perhatian mengenai resiko kesehatan yang banyak dikaitkan dengan penyebaran serat-serat halus dari serat sintetik dan busa tersebut. Hal ini memberikan peluang kepada bahan penyerap bunyi yang berbahan dasar kayu atau serat organik alami untuk dikembangkan sebagai bahan penyerap bunyi untuk menggantikan serat sintetik ini (Wassilief 1996). Salah satu serat organik alami yang mempunyai potensi digunakan sebagai bahan penyerap bunyi adalah serat sabut kelapa.

Untuk melakukan analisis karakteristik akustik sebuah bahan penyerap akustik, nilai impedansi karakteristik dan angka gelombang merupakan faktor yang penting untuk diperhatikan. Model empiris Delany & Bazley (1970) merupakan salah satu model analisis yang sangat luas digunakan untuk memprediksi nilai impedansi karakteristik dan angka gelombang kompleks bahan penyerap akustik. Model analisis ini ialah model yang hanya memperhatikan rambatan udara dalam skala makro, sehingga rambatan udara dalam liang tidak diambil perhatian. Dalam penelitiannya Delany & Bazley (1970) melakukan banyak pengukuran nilai koefisien penyerapan dalam tabung impedansi, kemudian mengembangkan persamaan empiris yang dapat memprediksi nilai impedansi karakteristik dan angka gelombang.

Akan tetapi persamaan empiris Delany & Bazley mempunyai beberapa kekurangan. Kekurangan dari persamaan di atas ialah persamaan tersebut memberikan hasil yang kurang teliti pada frekuensi-frekuensi rendah dan tinggi. Oleh karena itu, beberapa penelitian telah dilakukan oleh Garai & Pompoli (2005) untuk memperbaiki persamaan galangan ciri dan nombor gelombang dari Delany & Bazley (1970). Dengan melakukan penelitian terhadap serat poliester, mereka memodifikasi persamaan Delany & Bazley dengan konstanta yang baru. Persamaan yang mereka perbaiki ini disebut *new impedance model* (NMI).

Begitu juga dengan penelitian yang dilakukan oleh Komatsu (2008) mendapatkan persamaan empiris baru yang dapat digunakan untuk menganalisis karakteristik akustik bahan berpori. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan persamaan-persamaan empiris yang telah dikembangkan, sehingga mendapatkan permodelan yang dapat digunakan untuk serat sabut kelapa.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Ciri akustik bahan penyerap berbeda satu dengan yang lainnya bergantung kepada jenis bahan. Bahan penyerap akustik umumnya dibedakan sebagai bahan berpori dan busa sintetik. Bahan berpori yang biasanya digunakan ialah serat gelas dan wol batu. Bahan-bahan ini mempunyai ciri penyerapan akustik yang tinggi dan tahan api. Akan tetapi serat-serat halus bahan tersebut dapat menyebabkan gangguan pernafasan dan

paru-paru manusia, apabila terhirup lagipula bahan tersebut umumnya berharga cukup mahal.

Dengan adanya kelemahan tersebut, beberapa peneliti melakukan beberapa penelitian untuk mendapatkan bahan pengganti yang berasal dari bahan serat organik. Yang et al (2003) telah mendapatkan dalam penelitiannya mengenai komposit jerami padi-serbuk kayu sebagai bahan penyerap bunyi. Nilai koefisien penyerapan bunyi yang didapatkan ialah lebih tinggi berbanding bahan bahan yang hanya berasaskan kayu. Khedari et al (2003 & 2004) mengembangkan fiberboard yang berasaskan sisa pertanian seperti kulit durian ( Durian zibethinus) dan sabut kelapa (cocos nucifera). Fibreboard yang berhasil dikembangkan mempunyai konduktivitas panas yang rendah tetapi mempunyai biaya produksi yang lebih rendah berbanding bahan komersil.

Wassilief (1996) membuat penelitian bahan penyerap bunyi yang menggunakan serat dan sebuk kayu ( Pinus Radiata ) sebagai bahan dasarnya. Koefisien penyerapan bunyi yang didapat menunjukkan penyerapan bunyi yang tinggi pada range frekuensi tinggi (1000 Hz – 4000 Hz). Zulkifli (2008) juga telah mengeksplorasi dan menilai penggunaan serat alami seperti pelepah kelapa sawit ( Elaeis guinnesis), sekam padi (oryza sativa) dan sabut kelapa (cocos nucifera) sebagai pengisi system komposit berasaskan matriks polimer dalam aplikasi kontrol kebisingan. Zulkifli et al (2008) telah melakukan penelitian dengan menggunakan metode ruang gema dan koefisien penyerapan bunyi memberikan nilai yang tinggi pada range frekuensi tinggi.

## 2.1 Karakteristik Impedansi Bahan Berpori

Untuk melakukan analisis karakteristik akustik sebuah bahan penyerap akustik, nilai impedansi karakteristik dan angka gelombang merupakan faktor yang penting untuk di ambil perhatian. Model analisis empiris Delany & Bazley merupakan salah satu model yang sangat luas digunakan untuk memprediksi nilai impedansi karakteristik akustik dan angka gelombang kompleks bahan berpori. Model ini adalah model analisis yang hanya memperhatikan rambatan udara dalam skala makro, sehingga rambatan udara dalam pori-poribahan tidak diambil perhatian. Dalam penelitiannya Delany & Bazley (1970) melakukan banyak pengukuran nilai koefisien penyerapan dalam tabung impedansi, kemudian mengembang sebuah persamaan empiris yang dapat memprediksi nilai impedansi karakteristik dan angka gelombang. Nilai impedansi karakteristik  $Z_c$  diberikan oleh persamaan.

$$Z_c = \rho_0 c_0 \left( 1 + 0.0571 X^{-0.754} - j0.087 X^{-0.732} \right) \quad (1)$$

Sedangkan angka gelombang kompleks,  $k$ , diberikan oleh persamaan

$$k = \frac{\omega}{c_0} \left( 1 + 0.0978 X^{-0.700} - j0.189 X^{-0.595} \right) \quad (2)$$

Dimana  $\rho_0$  dan  $c_0$  adalah nilai massa jenis dan kecepatan udara, sedangkan  $\omega$  adalah frekuensi sudut. Nilai  $X$  diberikan oleh persamaan

$f$  adalah frekuensi gelombang dan  $\sigma$   $X = \frac{\rho_0 f}{\sigma}$  adalah rintangan aliran udara bahan penyerap akustik.

Kekurangan dari persamaan di atas ialah persamaan tersebut, memberikan hasil yang kurang teliti pada frekuensi yang rendah dan tinggi. Oleh karena itu, satu

penelitian telah dilakukan oleh Garai & Pompoli (2005) untuk memperbaiki persamaan impedansi karakteristik dan angka gelombang dari Delany & Bazley (persamaan 1 dan 2). Dengan melakukan penelitian menggunakan serat poliester, mereka memodifikasi persamaan 1 dan 2 dengan konstanta yang baru. Persamaan yang mereka modifikasi ini disebut *new impedance model* (NMI).

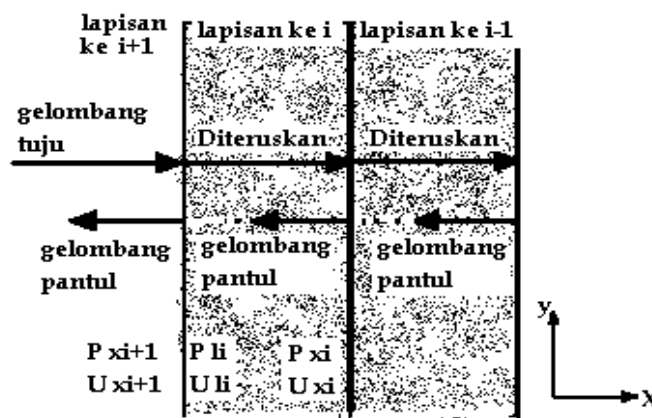
$$Z_c = \rho_0 c_0 \left( 1 + 0.078 X^{-0.754} - j0.074 X^{-0.660} \right) \quad (4)$$

Sedangkan  $k = \frac{\omega}{c_0} \left( 1 + 0.159 X^{-0.571} - j0.121 X^{-0.530} \right)$  Komatsu (2008) melakukan penelitian untuk 15 jenis bahan penyerap berbahan dasar serat gelas dan 9 jenis bahan penyerap berbahan dasar rock wool. Komatsu (2008) memperkenalkan persamaan baru untuk memperbaiki persamaan Delany & Bazley yaitu:

$$Z_c = \rho_0 c_0 \left\{ 1 + 0.00027 \left( 2 - \log \frac{f}{\sigma} \right)^{6.2} - j0.0047 \left( 2 - \log \frac{f}{\sigma} \right)^{4.1} \right\} \quad (5)$$

$$k = \frac{\omega}{c_0} \left\{ 0.0069 \left( 2 - \log \frac{f}{\sigma} \right)^{4.1} + j \left[ 1 + 0.0004 \left( 2 - \log \frac{f}{\sigma} \right)^{6.2} \right] \right\}$$

Kaedah matrik pindah merupakan kaedah yang fleksibel untuk menentukan nilai koefisien penyerapan. Kaedah ini dapat digunakan untuk menentukan nilai impedansi permukaan baik untuk panel penyerap dengan lapisan tunggal maupun banyak lapisan. Gambar 1 memperlihatkan pemodelan dari mekanisme perambatan gelombang bunyi yang merambat pada beberapa bahan.



**Gambar 1** Mekanisme perambatan gelombang bunyi pada bahan

Gelombang bunyi yang sampai ke panel penyerap adalah gelombang tuju normal. Pada setiap permukaan bahan tekanan dan kecepatan udara adalah kontinu. Sehingga persamaan tekanan dan kecepatan udara di atas dan di bawah lapisan dapat dinyatakan dengan matriks ialah (Cox & D'Antonio 2004):

$$\begin{Bmatrix} P_{li} \\ u_{li} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_{xi+1} \\ u_{xi+1} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \cos(k_{xi} d_i) & j \frac{\omega \rho_i}{k_{xi}} \sin(k_{xi} d_i) \\ j \frac{k_{xi}}{\omega \rho_i} \sin(k_{xi} d_i) & \cos(k_{xi} d_i) \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} P_{xi} \\ u_{xi} \end{Bmatrix} \quad (6)$$

Dimana  $p_{xi}$  dan  $u_{xi}$  adalah tekanan dan kecepatan udara pada lapisan bawah yang ke- $i$ ,  $p_{xi+1}$  dan  $u_{xi+1}$  adalah tekanan dan kecepatan udara pada lapisan bawah yang ke  $(i+1)$ , sedangkan  $p_{li}$  dan  $u_{li}$  adalah tekanan dan kecepatan udara pada lapisan atas yang ke- $i$ ,  $d_i$  ialah ketebalan lapisan,  $\rho_i$  ialah massa jenis lapisan ke- $i$  dan  $k_{xi}$  adalah angka gelombang pada lapisan yang ke- $i$  (Cox & D'Antonio 2004):

$$z_{si+1} = \frac{-jz_{si}z_i \cot(k_{xi}d_i) + z_i^2}{z_{si} - jz_i \cot(k_{xi}d_i)} \quad (7)$$

Nilai pekali penyerapan bunyi dan impedansi permukaan sampel diperoleh dengan persamaan

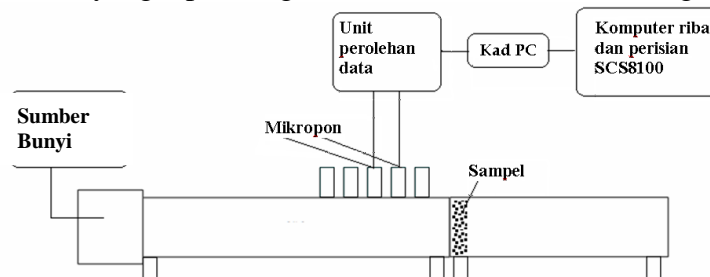
$$\frac{Z_1}{\rho c} = \frac{1+R}{1-R} \quad (8)$$

$$\alpha = 1 - |R|^2 \quad (9)$$

dimana R adalah nilai koefisien pemantulan gelombang bunyi.

### 3. BAHAN DAN ALAT

Penelitian ini menggunakan bahasa pemrograman SciLab 5.2 untuk melakukan simulasi pemodelan persamaan (1) - (7). Model-model yang diperkenalkan oleh Delany & Bazley (1970), Garai & Pompoli (2005) dan Komatsu (2008). Sebagai parameter utama untuk mendapatkan nilai koefisien penyerapan bunyi, diperlukan nilai airflow resistivity dari bahan penyerap. Untuk keperluan tersebut, ukuran diameter serat sabut kelapa di ukur dibawah mikroskop dengan pembesaran 50X. Selanjutnya nilai airflow resistivity dihitung dengan menggunakan persamaan yang diperkenalkan oleh Garai & Pompoli (2005). Nilai koefisien penyerapan bunyi dihitung dengan frekuensi berkisar antara 50 Hz – 4250 Hz. Untuk validasi data yang didapat melalui persamaan-persamaan (1) – (7) dilakukan beberapa pengukuran dengan beberapa sampel serat sabut kelapa. Sampel disediakan dengan ketebalan 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm dan 50 mm. Pengukuran nilai koefisien penyerapan bunyi serat sabut kelapa dapat dilakukan dengan menggunakan metode pengukuran di laboratorium. Pengukuran dengan metode tabung impedansi menggunakan gelombang bunyi bidang (1 dimensi) yang sampai kepada bahan, oleh itu koefisien penyerapan yang diperoleh disebut dengan pekali penyerapan normal (*Noise Absorption Coefficient*, NAC) (Lee & Chen 2001). Metode tabung impedansi menggunakan sampel yang kecil dengan diameter sampel berukuran 28 mm dan 100 mm. Dalam metode ini, sumber bunyi ditempatkan pada salah satu ujung dari tabung dan sampel dibuat dengan ukuran yang tepat dengan ukuran diameter dari tabung (gambar 2).



**Gambar 2** Tabung impedansi untuk mengukur koefisien penyerapan bunyi

Pengukuran dengan tabung impedansi ini digunakan sebagai nilai pembanding untuk perhitungan analisis dengan menggunakan persamaan empiris yang telah dikembangkan oleh Delany & Bazley (1970), Pompoli & Garai (2005) dan Komatsu (2008).

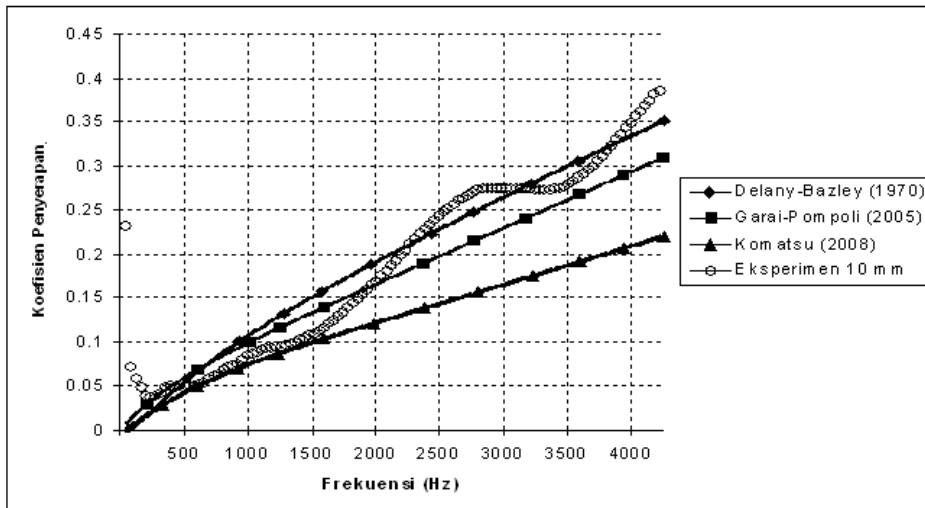


**Gambar 3** Foto sampel serat sabut kelapa dibawah mikroskop dengan pembesaran 50X

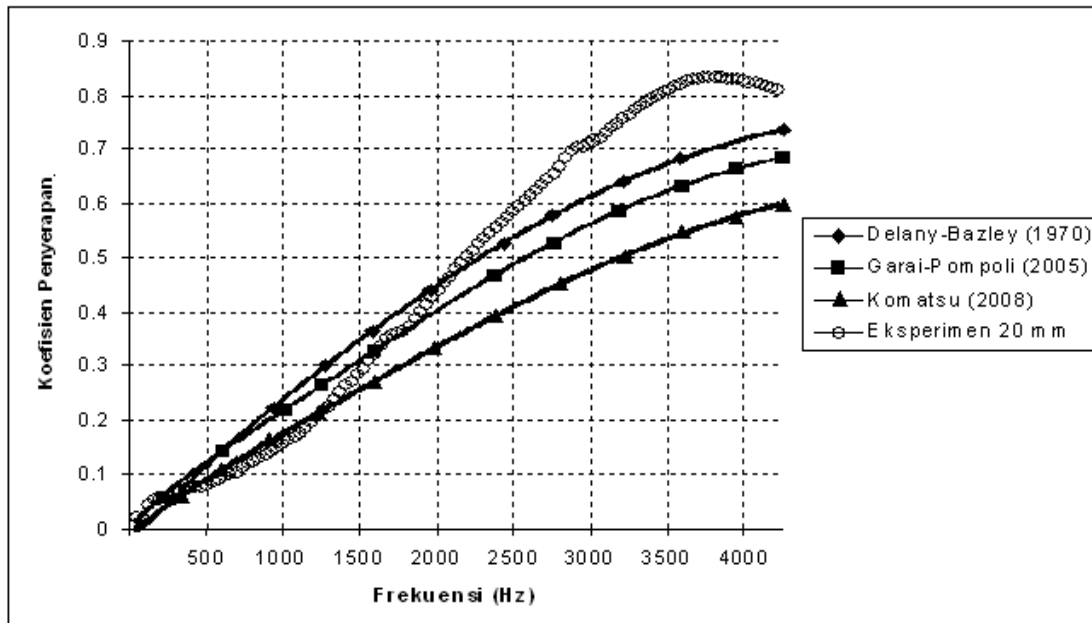
#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3 menunjukkan hasil pembesaran 50X sampel serat sabut kelapa di bawah mikroskop. Dari pengukuran di bawah mikroskop didapatkan besar serat sabut kelapa berkisar antara 0.30 mm sampai dengan 0.38 mm. Besar diameter serat sabut kelapa ini kemudian dimasukkan kedalam persamaan (Rozli, 2008; Rozli, 2010; Fouladi, 2009) sehingga diperoleh nilai airflow resistivity sebesar 4177 rayls/m.

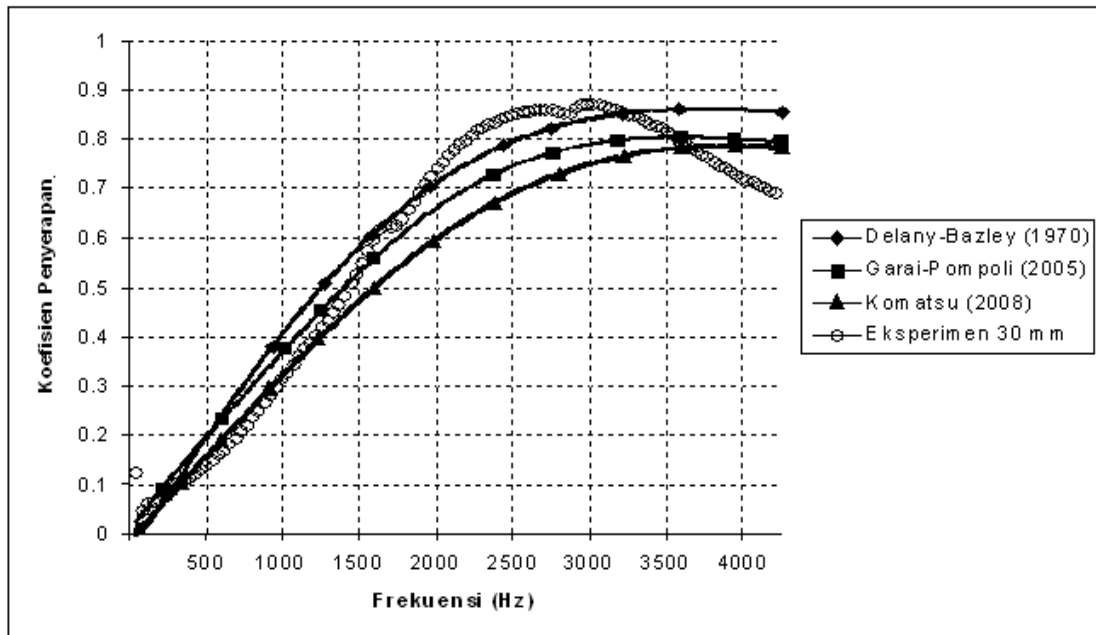
Gambar 4 – 8 merupakan hasil dari perhitungan dengan menggunakan persamaan-persamaan yang dikenalkan oleh Delany & Bazley (1970), Garai & Pompoli (2005) dan Komatsu (2008) dan hasil dari pengujian dengan sampel sabut kelapa dengan beberapa ketebalan. Simulasi untuk koefisien penyerapan bunyi serat sabut kelapa dihitung menggunakan metode matriks transfer (persamaan 6 dan 7). Metode ini dapat juga digunakan untuk menghitung prestasi akustik gabungan beberapa lapisan bahan akustik yang berbeda. Perhitungan dengan metode ini dilakukan pada range frekuensi 50 Hz – 4250 Hz.



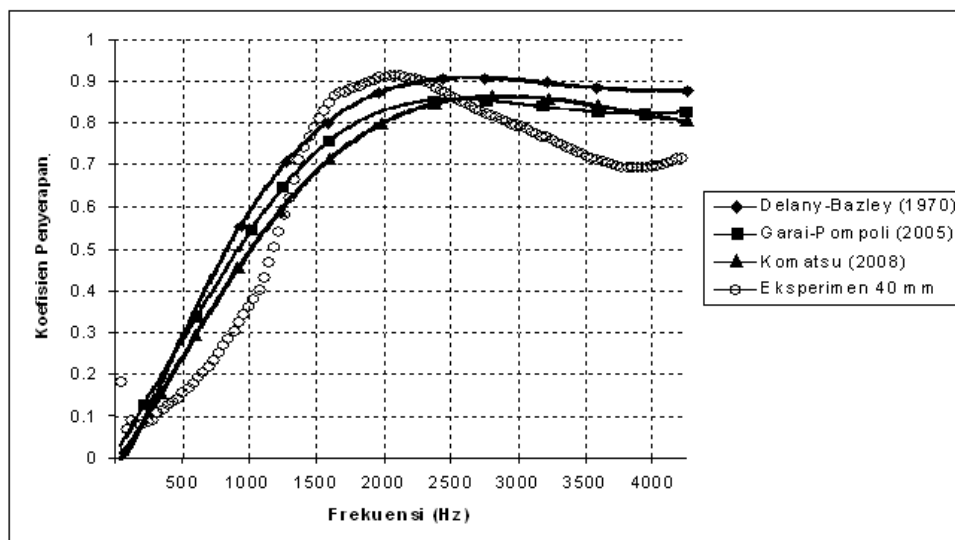
**Gambar 4** Hasil perbandingan analisis nilai koefisien penyerapan bunyi sampel serat sabut kelapa ketebalan 10 mm dengan eksperimen



**Gambar 5** Hasil perbandingan analisis nilai koefisien penyerapan bunyi sampel serat sabut kelapa ketebalan 20 mm dengan eksperimen

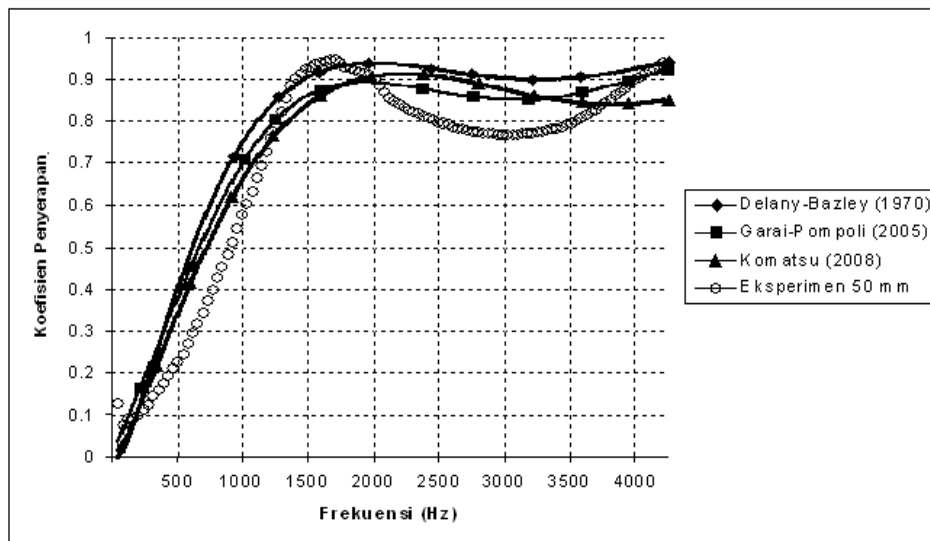


**Gambar 6** Hasil perbandingan analisis nilai koefisien penyerapan bunyi sampel serat sabut kelapa ketebalan 30 mm dengan eksperimen



**Gambar 7** Hasil perbandingan analisis nilai koefisien penyerapan bunyi sampel serat sabut kelapa ketebalan 40 mm dengan eksperimen





**Gambar 8** Hasil perbandingan analisis nilai koefisien penyerapan bunyi sampel serat sabut kelapa ketebalan 50 mm dengan eksperimen

Dari pengujian didapatkan bahwa nilai koefisien penyerapan bunyi terbesar sampel sabut kelapa dengan ketebalan 10 mm adalah 0.39 (gambar 4). Dari gambar 4 dapat dilihat bahwa analisa nilai koefisien penyerapan bunyi dengan model Komatsu (2008) lebih mendekati nilai koefisien penyerapan bunyi hasil pengujian dibandingkan dengan model Delany & Bazley (1970) dan Garai & Pompoli pada range frekuensi 115 Hz sampai 1500 Hz, akan tetapi pada julat frekuensi diatas 1500 Hz menunjukkan nilai yang kurang memuaskan. Penyimpangan analisa nilai koefisien penyerapan bunyi dengan model Delany & Bazley terjadi oleh sebab model ini memberi batasan bahwa nilai porositas bahan penyerap mendekati nilai satu, tambah pula model berlaku pada batasan nilai  $0.01 < X < 0.1$ , dan batasan pengukuran nilai airflow resistivity berkisar pada nilai  $1,000 < \sigma < 50,000$  MKS rayl/m ( Delany & Bazley, 1970). Dari hasil pengujian pada range frekuensi dibawah 115 Hz menunjukkan nilai koefisien penyerapan yang membesar secara mendadak, hal ini disebabkan karena terjadinya distorsi gelombang bunyi yang mengenai sisi sampel.

Untuk pengujian sampel-sampel dengan ketebalan 20 mm, 30 mm (gambar 5 & 6) menunjukkan hal yang sama yaitu analisa nilai koefisien penyerapan bunyi dengan model Komatsu (2008) lebih mendekati nilai koefisien penyerapan bunyi hasil pengujian dibandingkan dengan model Delany & Bazley (1970) dan Garai & Pompoli pada range frekuensi 115 Hz sampai 1500 Hz.

Akan tetapi untuk ketebalan sampel 40 mm dan 50 mm (gambar 7 & 8) pada range frekuensi diatas 50 Hz -1500 Hz menunjukkan nilai yang kurang memuaskan untuk semua model yang digunakan. Jika dibandingkan dengan model Delany & Bazley dan Garai & Pompoli, model Komatsu (2008) menunjukkan nilai yang lebih mendekati nilai koefisien penyerapan bunyi hasil pengujian 115 Hz sampai 1500 Hz. Penyimpangan analisa nilai koefisien penyerapan bunyi tersebut terjadi karena masing masing model ini memberi batasan bahwa nilai porositas bahan penyerap mendekati nilai satu, tambah pula jenis sampel yang digunakan mempunyai nilai diameter serat yang seragam. Dari hasil pengujian pada range frekuensi dibawah 115 Hz menunjukkan nilai koefisien penyerapan yang membesar secara mendadak, hal ini disebabkan karena terjadinya distorsi gelombang bunyi yang mengenai sisi sampel.

## 5. KESIMPULAN

Penelitian ini telah melakukan perbandingan nilai koefisien penyerapan bunyi hasil analisa dengan persamaan-persamaan yang telah diperkenalkan baru-baru ini. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa persamaan model yang dikembangkan oleh Komatsu (2008) menunjukkan hasil yang memuaskan pada range frekuensi 115 Hz – 1500 Hz untuk ketebalan sampel serat sabut kelapa 10 mm, 20 mm dan 30 mm. Akan tetapi untuk sampel serat sabut kelapa dengan ketebalan yang lebih besar menunjukkan nilai penyimpangan yang cukup besar. Untuk itu dilakukan penelitian yang lebih mendalam untuk mendapatkan persamaan yang lebih sesuai untuk memprediksi karakteristik akustik bahan penyerap bunyi dengan bahan dasar serat sabut kelapa.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Delany, M. E. & Bazley, E. N. 1970. Acoustical properties of fibrous absorbent materials. *Applied Acoustics* 3(2): 105-116.
- Fouladi, M, H, Nor, M, J, M, Md Ayub, **Zukarnain Ali Lemam**. 2009. Utilization of coir fiber in multilayer acoustic absorption panel. *Applied Acoustics* 71: 241- 249.
- Khedari, Joseph., Charoenvai, Sarocha & Hirunlabh, Jongjit. 2003. New insulating particleboards from durian peel and coconut coir. *Building and Environment* 38: 435–441.
- Khedari, Joseph., Nankongnab, Noppanun., Hirunlab, Jongjit & Teekasap, Sombat. 2004. New low-cost insulation particleboards from mixture of durian peel and coconut coir. *Building and Environment* 39: 59–65.
- Komatsu, T. 2008. Improvement of the Delany-Bazley and Miki models for fibrous sound absorbing materials. *Acoust. Sci. & Tech.* 29(2).
- Lee, F. –C. & W.-H. Chen. 2001. Acoustic transmission analysis of multi-layer absorbers. *Journal of Sound and Vibration* 4: 621–634.
- Miki, Y. 1990. Acoustical properties of porous materials—Generalization of empirical models. *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, 11, 25-28.
- Sakagami, K., Kiyama, M., Morimoto, M & Takahashi, D. 1996. Sound absorption of a cavity-backed membrane: A step towards design method for membrane-type absorbers. *Applied Acoustics* 49: 237-247.
- Wassilieff. C. 1996, Sound absorption of wood-based materials. *Applied Acoustics* 48: 339–356.
- Yang, Han-Seung., Kim, Dae-Jun., & Kim, Hyun-Joong. 2003. Rice straw-wood particle composite for sound absorbing wooden construction materials. *Bioresource Technology* 86: 117–121.
- Zent, Andrea & Long, Jhon. T. 2007. Automotive sound absorbing material survey results. SAE international
- Zulkifli, R. Mohd Jailani Mohd Nor, Ahmad Rasdan Ismail, Mohd Zaki Nuawi & Mohd Faizal Mat Tahir. 2008. Acoustic properties of multi-layer coir fibres sound absorption panel. *Journal Applied Sciences* 8: 3709-3714.
- Zulkifli, R. **Zukarnain**, Mohd Jailani Mohd Nor. 2010. Noise Control Using Coconut Coir Fiber Sound Absorber with Porous Layer Backing and Perforated Panel. *American Journal of Applied Sciences*. 7(2): 260-264.