

# Analisis Kinerja Akustik Panel Gedek Bambu dengan Sisipan Komposit Eceng Gondok

Melati Wijayanti, Iwan yahya,\* Harjana, Restu Kristiani, dan Eki Muqowi  
*Laboratorium Riset Akustik (iARG), Jurusan Fisika,  
 Fakultas MIPA, Universitas Sebelas Maret  
 Jl. Ir. Sutami No.36 A Ketingan, Surakarta 57126*

## Intisari

Makalah ini menyajikan hasil kajian eksperimental atas kinerja akustik berupa koefisien serapan bunyi dan rugi transmisi panel gedek dikaitkan dengan sisipan panel berlubang yang terbuat dari komposit eceng gondok. Kajian dititik beratkan pada konfigurasi struktur dan variasi rongga udara pada sampel yang diuji. Pengujian rasio impedansi dan koefisien serapan dilakukan dengan metode tabung impedansi sesuai standar ASTM E-1050-98, sementara rugi transmisi diuji dengan metode dekomposisi spektral empat mikrofon pada tabung impedansi sama dengan pengujian koefisien serapan bunyi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa respon akumulatif sisi-pan panel berlubang dan variasi pada dimensi rongga udara dapat secara efektif meningkatkan kinerja akustik panel gedek yang diteliti hingga kisaran 0,5 hingga 0,83 dan bertahan dalam bentang frekuensi yang lebar mulai 400 Hz. Rugi transmisi berada pada kisaran (30-55 dB) dengan keteraturan respon yang mengikuti konfigurasi sampel.

## Abstract

This paper emphasizes on the influence of structure configuration and air bank variation on the acoustic performance of bamboo gedek panel with a water hyacinth based perforated panel insertion. The investigation was conducted experimentally based on standard laboratory test procedures. The sound absorption ( $\alpha$ ) coefficient and impedance ratio was measured by using B&K impedance tube 4206 which is refer to ASTM E-1050-98, while the four microphones spectral decomposition technique was conducted for measuring the sound transmission loss (STL). The results shows that accumulative response of perforated panel and air bank variation increase the acoustic performance of bamboo gedek panel with the  $\alpha$  ranging from 0,5 to 0,83 in a wide frequency range above 400 Hz. The STL ranging from 30 dB to 55 dB according to sample configuration.

KATA KUNCI: bamboo gedek, water hyacinth, acoustic performance, absorption, sound transmission loss

## I. PENDAHULUAN

Bambu merupakan salah satu ragam biomasa lignoselulosik yang tumbuh subur di banyak negara. Tanaman ini memiliki sangat banyak keistimewaan dari segi sifat fisik dan mekaniknya sehingga menjadi telah subyek penelitian [1–6]. Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki keragaman tanaman bambu yang tumbuh subur di semua wilayah. Tanaman ini telah dimanfaatkan untuk beragam kepentingan baik sebagai bahan untuk alat musik hingga konstruksi [7].

Paper ini menyajikan hasil kajian atas kinerja akustik panel anyaman bambu atau gedek yang secara tradisional banyak sekali digunakan sebagai dinding maupun partisi. Fokus kajian adalah rugi transmisi yang dikaitkan dengan sisipan panel komposit eceng gondok (*eichhornia crassipes*) pada konstruksi panel gedek yang diteliti.

Pilihan pada pemanfaatan komposit serbuk eceng gondok karena sejauh ini di Indonesia tanaman ini masih dipandang sebagai gulma sekali gus persoalan lingkungan yang serius

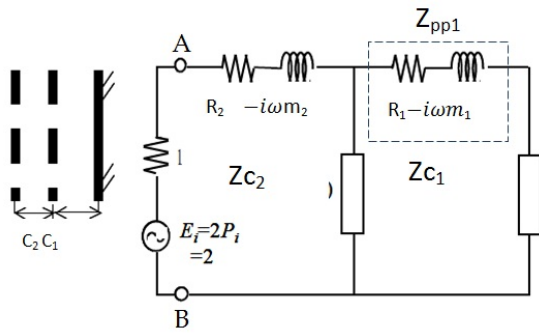
bagi ekosistem danau atau rawa [8, 9] pada hal sesungguhnya eceng gondok memiliki potensi aplikasi dan nilai ekonomi yang tinggi. Sejumlah publikasi terdahulu menunjukkan bahwa selain dapat dimanfaatkan sebagai bahan panel, karena bersifat lignoselulosik maka tanaman ini sangat berpotensi untuk diolah menjadi biogasmaupun etanol. Bahkan karena kandungan kimia di dalamnya eceng gondok dapat dimanfaatkan sebagai adsorben [10–14].

Konstruksi panel gedek berlapis dengan inti berupa komposit eceng gondok sebagaimana yang disajikan dalam paper ini memperkaya ragam panel maupun partisi berbasis gedek. Dengan demikian diharapkan dapat menjadi solusi serempak atas persoalan pengendalian kebisingan sekali gus alternatif penanganan limbah eceng gondok.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Rugi transmisi bunyi (*sound transmission loss*, STL) merupakan salah satu besaran yang menyatakan kinerja akustik bahan. Nilainya dinyatakan oleh nisbah energi yang ditransmisikan dengan energi yang diterima atau mengenai bahan dimaksud [15].

\*E-MAIL: iyahya@mipa.uns.ac.id



Gambar 1: Analogi elektroakustik panel berlapis dengan lapisan berlubang.

Perbandingan impedansi antara bahan atau panel dengan medium di sekitarnya sangat berpengaruh terhadap nilai STL. Oleh karena itu mudah dipahami mengapa bahwa sejumlah peneliti mengembangkan model struktur berlapis dan pemanfaatan panel berlubang untuk mempertinggi nilai STL maupun besaran akustik lain semisal koefisien serapan.

Adanya rongga udara antar lapisan serta respons dalam wujud perubahan nilai reaktansi dan kekakuan panel berlapis yang memicu respon yang baik pada bentang frekuensi rendah. Paduannya dengan sisipan panel berlapis memicu respon yang baik bentang frekuensi dan medium yang berkait dengan nilai *perforation ratio* dari panel yang disisipkan. Sejumlah kajian terdahulu menunjukkan bahwa panel berlapis yang memadukan kolom udara dan struktur belubang mampu menghasilkan kinerja akustik yang baik pada bentang frekuensi yang cukup lebar [16–22].

Formulasi teoretik tentang panel berlubang telah dijabarkan oleh Maa dan kemudian menjadi acuan sangat penting bagi kajian-kajian berikutnya [23–27]. Dari formulasi teoretik itu kemudian sejumlah peneliti mengembangkan model elektroakustik untuk memprediksi respon akustik dari panel berlapis [28, 29].

Impedansi akustik panel berlapis yang disertai rongga udara dan struktur berlubang diberikan oleh formula Maa,

$$Z_m = R - jX \tag{1}$$

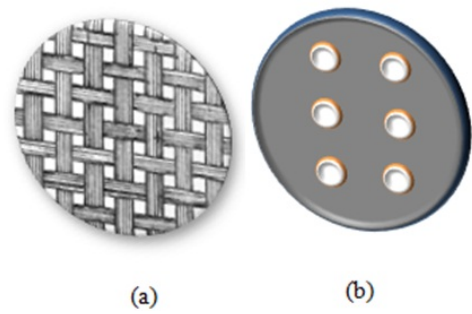
$$R = r_m = \frac{32\eta t_j}{d_m^2} \left( \sqrt{1 + \frac{k_m^2}{32}} + \frac{\sqrt{2}}{32} k_m \frac{d_m}{t_m} \right)$$

$$X = \omega m_m = \omega t_m \rho_o \left( 1 + \frac{1}{\sqrt{9 + \frac{k_m^2}{2}}} + 0,85 \frac{d_m}{t_m} \right)$$

$$k_m = d_m \sqrt{\frac{\omega \rho_o}{4\eta}}$$

dengan R dan X merupakan resistansi dan reaktansi, d adalah ketebalan panel berlubang, m merupakan nomor urutan panel berlubang,  $\rho_o$  dan  $c_o$  adalah densitas dan kecepatan suara di udara,  $\omega_o$  adalah frekuensi angular dan  $\eta$  adalah *dynamic velocity* di udara ( $\eta = 1,78 \times 10^5$  Pa.s).

Contoh konstruksi panel berlapis dan model elektroakustiknya disajikan dalam Gambar 1. Impedansi akustik lapisan



Gambar 2: Sampel yang digunakan dalam pengujian: (a) Gedek dan (b) panel Eceng Gondok

udara,  $Z_c$ , diberikan oleh

$$Z_c = j \cot \frac{\omega D_m}{c} \tag{2}$$

dengan D merupakan lebar celah antar panel.

Impedansi total  $Z_{tot}$  dari struktur akustik dalam Gambar 1 adalah,

$$Z_1 = Z_{pp1} + Z_{c1} \tag{3}$$

⋮

$$Z_{r+1} = \frac{Z_1 Z_{c(r+1)}}{Z_1 + Z_{c(r+1)}} + Z_{pp(r+1)} \tag{4}$$

$$r = 1, 2, \dots, m - 1$$

Nilai STL selanjutnya diberikan oleh hubungan sebagai berikut,

$$TL_{r+1} = \left[ \frac{2}{Z_{r+1} + 1} \frac{Z_{c,r+1}}{Z_{c,r+1} + PP_r + Z_r} \dots \frac{Z_{c2}}{Z_{c2} + Z_1} \right]^2 \tag{5}$$

### III. METODOLOGI

#### Pembuatan sampel

Pengujian telah dilakukan terhadap sampel gedek yang dianyam secara tradisional  $1 \times 1$  sebagaimana disajikan pada Gambar 2(a). Anyaman terbuat dari irisan bagian dalam batang bambu dengan lebar 10 mm dan ketebalan 1 mm sehingga membentuk gedek dengan ketebalam 2 mm. Adapun komposit eceng gondok dibuat dari tanaman eceng gondok yang tumbuh di Rawa Pening, Salatiga, Jawa Tengah.

Batang eceng gondok yang telah diseleksi dirajang halus menjadi bubuk basah menggunakan blender. Setelah proses pengeringan di alam terbuka, serbuk eceng gondok diayak dengan penapis pada mesh 20. Serbuk eceng gondok kemudian dicampur dengan perekat berupa tepung kanji dengan perbandingan massa serbuk terhadap perekat sebesar (9:1).

TABEL I: Konfigurasi sampel.

Sampel	G	U <sub>1</sub>	EG	U <sub>2</sub>	G
A1	1	5	0	0	1
A2	1	0	1	0	1
A3	1	25	1	25	1
A4	1	0	1	0	0

Campuran tersebut selanjutnya dicetak dengan mesin tekan panas pada temperatur 80°C selama 30 menit dengan beban sebesar  $1,25 \times 10^4$  kN/m<sup>2</sup>. Hasil yang diperoleh kemudian diberi lubang seragam berdiameter 3 mm berjarak 7 mm satu sama lain dari pusatnya sehingga diperoleh panel dengan perforation ratio sebesar 2,7%. Untuk kepentingan pengujian, panel dipotong berbentuk cakram berdiameter 100 mm dan 30 mm sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 2(b).

**Pengujian kinerja panel**

Pengujian kinerja panel dilaksanakan secara eksperimen dengan menggunakan metode tabung impedansi. Koefisien serapan bunyi dan nisbah impedansi dihitung dengan prosedur yang mengacu kepada ASTM E-1050-98 pada sampel berdiameter 100 mm, pertimbangannya adalah karena fokus kajian pada perubahan kinerja di bentang frekuensi rendah di bawah 1,6 kHz. Adapun pada pengujian STL digunakan sampel dengan diameter 30 mm. Pengujian dilaksanakan menggunakan teknik dekomposisi spektral empat mikrofon. Pilihan pada sampel berdiameter 30 mm memungkinkan untuk mengetahui perubahan STL hingga bentang frekuensi 6,3 kHz.

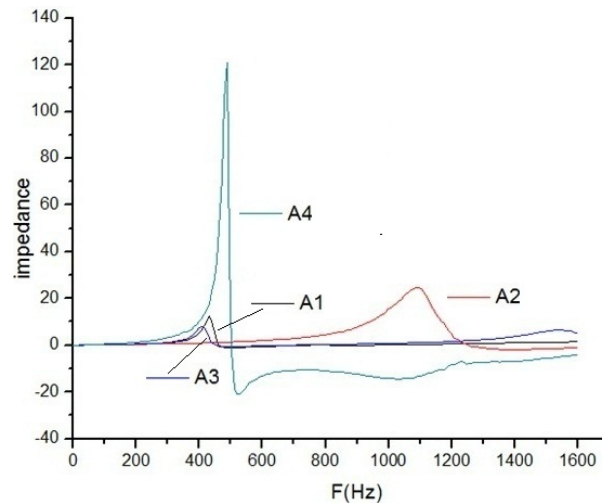
Proses pengujian dilaksanakan di iARG Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sebelas Maret dengan menggunakan tabung impedansi B&K 4206. Konstruksi panel disusun dalam formasi G-U1-EG-U2-G dimana dalam hal ini G adalah gedek, U1,2 adalah lebar lapisan udara yang dinyatakan dalam mm, dan EG adalah panel eceng gondok berlubang.

Variasi pengujian yang terdiri empat ragam sampel A1, A2, A3 dan A4 disajikan dalam Tabel I. Nilai satu untuk G dan EG mengandung makna bahwa gedek dan panel eceng gondok terpasang pada sampel diuji. Sementara nilai nol mengandung pengertian sebaliknya bahwa gedek atau panel eceng gondok tidak terpasang.

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Kinerja akustik suatu material sangat dipengaruhi oleh beragam faktor. Porositas, ketebalan, struktur dan bentuk, densitas, sifat viskoelastik, bersama-sama secara sintetik membentuk karakter material dalam wujud besaran impedansi akustik yang merupakan rasio tekanan bunyi terhadap komponen normal dari laju getaran di permukaan material dimaksud.

Ketika gelombang bunyi di udara, dengan impedansi karakteristik  $z_o = \rho \cdot c$ , merambat mengenai permukaan material dengan impedansi  $z$  maka sebagian akan mengalami peman-



Gambar 3: Bagian real dari rasio impedansi pada keempat sampel yang diuji.

tulan dengan nilai koefisien yang diberikan oleh hubungan,

$$r = \frac{z - z_o}{z + z_o} \tag{6}$$

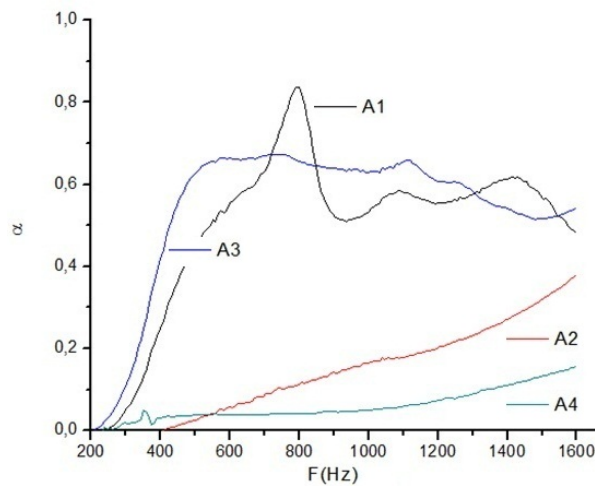
yang mengandung pengertian bahwa proporsi energi gelombang yang terpantulkan akan semakin besar seiring dengan besarnya nilai rasio impedansi.

Gambar 3 menyajikan komponen real dari rasio impedansi pada keempat sampel yang diuji. Dari gambar tersebut jelas bahwa nilai rasio impedansi tidak mengalami perubahan pola pada keempat konfigurasi yang diteliti. Karakter unik yang termati pada kisaran frekuensi (400-550 Hz) berkaitan dengan keberadaan struktur berlubang berupa panel dan pori gedek serta rongga udara. Sementara itu untuk pola pada bentang frekuensi (950 Hz - 1,5 kHz) berkaitan sifat viskoelastik dan densitas material gedek dan panel eceng gondok.

Hal tersebut menjelaskan mengapa pola yang sangat menonjol termati pada rasio impedansi sampel A1 yang memiliki nilai tertinggi pada frekuensi 500 Hz berkaitan dengan konfigurasi yang tidak memiliki sisipan panel eceng gondok berlubang. Keadaan ini diperjelas dengan pola yang teramati dalam pengujian koefisien serapan bunyi sebagaimana disajikan dalam Gambar 4. Paduan respon struktur berlubang, porositas gedek dan rongga udara pada sampel A1 dan A3 menyajikan kinerja serapan yang baik mulai frekuensi 500 Hz. Kinerja yang lebih tinggi pada frekuensi (700-800 Hz) pada sampel A1 berhubungan dengan resonansi yang terpicu oleh keberadaan porositas gedek bersama rongga udara.

Ketika panel berlubang disisipkan dan rongga udara diperbesar sebagaimana yang dilakukan dengan sampel A3, maka struktur yang terbentuk memiliki koefisien serapan yang jauh lebih baik pada bentang frekuensi yang lebar.

Fakta ini dapat dimengerti karena perubahan volume rongga udara yang semula berketebalan 5 mm pada sampel A1 menjadi 25 mm di kedua sisi panel pada sampel A3 menyebabkan perubahan yang sangat signifikan pada reaktansi sampel yang diuji. Akibatnya struktur beresonansi ke



Gambar 4: Koefisien serapan.

frekuensi yang lebih rendah. Disamping itu porositas dari panel eceng gondok juga meningkatkan laju redaman viskous yang berdampak pada perbaikan nilai koefisien serapan di frekuensi tinggi. Pada saat yang bersamaan, porositas gedek yang menutupi rongga depan sampel A3 mempertahankan respon di bentang frekuensi tinggi karena mekanisme yang hampir sama. Kestabilan nilai koefisien serapan pada kedua sampel A1 dan A3 merupakan sifat akumulatif yang lazim terbentuk sebagai respon penciri dari struktur rongga yang tertutup oleh panel berlubang.

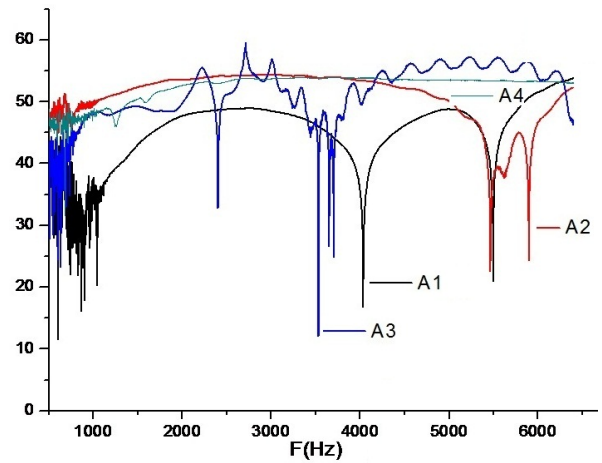
Hasil tersebut di atas menunjukkan bahwa sisipan panel berlubang dan rongga udara secara bersamaan pada panel gedek dapat memperbaiki nilai koefisien serapan bunyi pada bentang frekuensi yang lebih lebar. Keadaan ini tidak dapat dicapai secara maksimal manakala keduanya, sisipan dan rongga udara, tidak disertakan secara serempak sebagaimana yang teramati pada koefisien serapan sampel A2 dan A4.

Struktur yang rapat tanpa rongga udara di antaranya menyebabkan respon akutik yang timbul semata berkaitan dengan redaman viskous. Lapisan gedek dan panel yang keras menyebabkan kedua sampel tersebut menjadi lebih bersifat reflektif di bentang frekuensi rendah.

Pola rasion impedansi dan nilai koefisien serapan pada Gambar 3 dan Gambar 4, dapat digunakan sebagai dasar untuk menjelaskan pola yang teramati pada pengujian STL dimana nilainya berada dalam kisaran (30 dB - 55 dB) pada keempat sampel sebagaimana disajikan dalam Gambar 5.

Tingginya densitas bambu berdampak pada tingginya nilai impedansi permukaan gedek. Bersamaan dengan hal itu, ketiadaan rongga pada sampel A4 menyebabkannya bersifat sangat reflektif karena mekanisme resonan maupun redaman viskous tidak terpicu. Proporsi energi gelombang yang ditransmisikan menjadi sangat sedikit sehingga STL bernilai tinggi di sepanjang bentang frekuensi.

Adanya sisipan panel berlubang pada sampel A2 memberi peluang bagi terjadinya mekanisme resonan pada struktur yang dibentuk oleh pori-pori gedek di kedua sisi panel eceng gondok berlubang. Keadaan ini menjelaskan munculnya pola



Gambar 5: STL keempat sampel yang diuji.

resonan yang sempit pada kisaran frekuensi 5,5-6 kHz.

Adanya rongga udara dengan ketebalan 5 mm di antara kedua lapisan gedek pada sampel A1 menyebabkan polanya bergeser ke frekuensi lebih rendah pada jarak yang lebih lebar pula. Keadaan yang semula teramati pada frekuensi 5,5 kHz dan 6 kHz di sampel A2 berturut-turut bergeser ke 4 kHz dan 5,5 kHz pada sampel A1.

Gejala bergeser ke frekuensi lebih rendah teramati pula pada sampel A3 dimana dimensi rongga udara bernilai lebih besar serta terdapat sisipan panel berlubang. Respon unik pada bentang frekuensi yang cukup sempit (3,5-3,7 kHz) diduga berkaitan dengan respon dari aliran gelombang yang merambat melalui lubang-lubang panel yang diapit oleh kedua rongga. Dari keseluruhan pengamatan yang telah dilaksanakan tampak bahwa perubahan dimensi rongga udara dan sisipan panel berlubang dari komposit eceng gondok secara signifikan memperbaiki koefisien serapan bunyi dari struktur gedek yang diteliti.

Keadaan ini sebenarnya dapat diduga berdasarkan model elektroakustik yang disajikan pada Gambar 1. Nilai R yang merupakan bagian real dari impedansi berkaitan dengan densitas gedek dan panel eceng gondok sangat berpengaruh terhadap sifat reflektif struktur yang dikaji. Adapun efek resonan dan mekanisme redaman viskous akibat aliran massa pada pori-pori gedek dan lubang panel eceng gondok dapat dipicu dengan keberadaan rongga udara. Perubahan dimensi rongga udara itulah yang kemudian mengubah reaktansi yang berdampak pada perubahan frekuensi resonan sampel yang dikaji. Dampak yang dapat dipertimbangkan kemudian sebagai saran dalam aplikasi akustik ruangan adalah sebagai berikut. Pemanfaatan gedek di dalam ruangan sebagai elemen estetika sekali gus pengontrol bising dapat menyajikan kinerja serapan yang baik dengan tambahan sisipan panel berlubang di antara gedek dan dinding serta dua rongga udara yang mengapit panel tersebut.

Jika kemudian panel gedek akan digunakan sebagai partisi, maka struktur yang disarankan berupa konfigurasi gedek dan panel sebagai berikut, G-U1-EG-U2-P-U3-EG-U4-G yang tak lain merupakan modifikasi dari gabungan dua buah struktur

sesuai sampel A3 dengan sisipan panel tidak berlubang atau pun membran P di tengahnya.

Keberadaan panel atau membran P diharapkan menghasilkan sifat reflektif secara signifikan sehingga dapat mereduksi fraksi gelombang yang ditransmisikan dari dan menuju kedua sisi partisi. Sementara itu konfigurasi gedek, rongga udara, dan panel berlubang di kedua sisi panel atau membran dapat menjaga koefisien serapan partisi pada nilai yang cukup tinggi dan bentang frekuensi yang lebar pula.

## V. SIMPULAN

Pengujian eksperimental terhadap sampel struktur berupa gabungan gedek dengan panel berlubang dari komposit eceng gondok menunjukkan bahwa kinerja akustiknya dapat dit-

ingkatkan dengan memodifikasi dimensi rongga udara pada struktur yang dibentuk. Sifat viskoelastik yang berkaitan dengan jenis bambu dan pola anyaman gedek serta rasio perforasi panel dapat dijadikan pertimbangan untuk keperluan kajian lanjutan. Pola anyaman akan berdampak pada perubahan porositas gedek sebagaimana rasio perforasi berdampak pada perubahan porositas panel.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada LPPM Universitas Sebelas Maret. Kajian yang telah dilakukan merupakan bagian kecil dari skema Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi kontrak No. 339/UN27.11/PL/2015.

- 
- [1] M. Mahdavi, P.L. Clouston, and S.R. Arwade, *Construction and Building Materials*, **29**, 257-262 (2012).
- [2] M. Nakajima, *et al.*, *Energy*, **36**, 2049-2054 (2011).
- [3] H. Zang, J. Liu, Z. Wang, and X. Lu, *Materials Letters*, **100**, 204-206 (2013).
- [4] B. Sharma, A. Gattoo, and M.H. Ramage, *Construction and Building Materials*, **83**, 95-101 (2015).
- [5] K. Okubo, T. Fujii, and Y. Yamamoto, *Composites: Part A*, **35**, 377-383 (2004).
- [6] M.C. Fitiriani, R. Kristiani, E. Muqowi, M. Wijayanti, Harjana, and Yahya, I., *Bamboo Biennale Conf.* (2014).
- [7] W. Liese, M. Kohl, *Bamboo The Plant and It Uses* (Springer, 2015).
- [8] N. Jafari, *J. Appl. Sci. Environ. Manage.*, **14**(2), 43-49 (2010).
- [9] T.R. Telez, *et al.*, *Aquatic Invasions*, **3**(1), 42-53 (2008).
- [10] N.F. Ramirez, *et al.*, *Fibers and Polymers*, **16**(1), 196-200 (2015).
- [11] Z. Yun, Z. Guangwei, and S. Ying, *Advance Materials Research*, **1004-1005**, 881-884 (2014).
- [12] H.N. Chanakya, *et al.*, *Bioresource Technology*, **46**, 227-231 (1993).
- [13] D. Mishima, *et al.*, *Bioresource Technology*, **99**, 2495-2500 (2008).
- [14] X. Chen, *et al.*, *Bioresource Technology*, **101**, 9025-9030 (2010).
- [15] I. Yahya, *Adv. in Acoust and Vibration* (2009) doi:10.1155/2009/475604
- [16] M. Toyoda, D. Takahashi, *J. Acoust. Soc. Am.*, **124**(6), 3594-3603 (2008).
- [17] M. Toyoda, *et al.*, *J. Acoust. Soc. Am.*, **123**(2), 825-831 (2008).
- [18] M. Toyoda, D. Takahashi, *JSV*, **286**, 601-614 (2005).
- [19] W.C. Tang, H. Zeng, and C.F. Ng, *Applied Acoustics*, **55**(1), 13-30 (1998).
- [20] K. Sakagami, M. Yairi, and M. Morimoto, *Acoustics Australia*, **38**(2), 76-81 (2010).
- [21] K. Sakagami, *et al.*, *Acoustics Australia*, **39**(3), 95-100 (2011).
- [22] Wang, C., Huang, L., *J. Acoust. Soc. Am.*, **130**(1), 208-218 (2011).
- [23] D.Y. Maa, *Scientia Sinica*, **18**(1), 55-71 (1975).
- [24] D.Y. Maa, *Noise Control Engineering J.*, **29**(3), 77-84 (1987).
- [25] D.Y. Maa, *J. Acoust. Soc. Am.*, **104**(5), 2861-2866 (1998).
- [26] K. Sakagami, *et al.*, *Acoust. Sci. & tech.*, **32**(1), 47-49 (2011).
- [27] K. Sakagami, K. Matsutani, and M. Morimoto, *Applied Acoustics*, **71**, 411-417 (2010).
- [28] Y.Y. Lee, E.W.M. Lee, *Intl. J. Of Mech. Sci.*, **47**, 925-934 (2007).
- [29] Z. Chongyun, H. Qibai, *Applied Acoustics*, **66**, 879-887 (2005).