

# TINGKAT REDAMAN SUARA PAPAN KOMPOSIT DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DAN SERBUK KAYU AKASIA

## *Sound Absorption Coefficient of Oil Palm Empty Fruit Bunches Fiber and Acacia Particleboards*

Ratri Yuli Lestari<sup>1)\*</sup>, Dwi Harsono<sup>1)</sup>, Budi Tri Cahyana<sup>1)</sup>, Bagus Tris Atmaja<sup>2)</sup>, dan Wiratno Argo Asmoro<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Balai Riset dan Standardisasi Industri Banjarbaru, Kementerian Perindustrian  
Jalan Panglima Batur Barat No. 2 Banjarbaru, Kalimantan Selatan, 70711, Indonesia

<sup>2)</sup> Laboratorium Vibrasi dan Akustik, Departemen Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur, 60111, Indonesia

\*E-mail: ratri.y.lestari@gmail.com

### ABSTRAK

Kerapatan dan lapisan papan pada bahan penyerap suara berpengaruh terhadap tingkat redaman suara pada berbagai frekuensi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat redaman suara dari papan partikel tandan kosong kelapa sawit dan serbuk kayu akasia dengan dua variasi kerapatan dan empat variasi lapisan. Papan dibuat dengan kerapatan 0,4 g/cm<sup>3</sup> dan 0,6 g/cm<sup>3</sup>. Papan diuji sifat fisiknya yaitu kadar air, kerapatan MOR dan MOE. Sifat fisik dan mekanik terbaik dimiliki papan partikel dari serbuk kayu akasia dengan kerapatan 0,6 g/cm<sup>3</sup>. Pengujian absorpsi suara dilakukan menggunakan tabung impedansi. Nilai koefisien absorpsi suara ( $\alpha$ ) diuji pada frekuensi 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1.000 Hz, 2.000 Hz, dan 4.000 Hz. Nilai  $\alpha$  yang diperoleh berkisar antara 0,21-0,64. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan nyata dari kerapatan dan lapisan papan pada nilai koefisien absorpsi suara ( $\alpha$ ) dan papan dapat digunakan sebagai bahan absorben untuk memperbaiki kualitas akustik berkarakter *speech* pada ruangan.

Kata kunci : interior, papan partikel, peredam suara, kerapatan.

### ABSTRACT

*Density and layers of the sound absorbance material affect the sound absorption coefficient ( $\alpha$ ) in various sound frequencies. This research is to evaluate the effect of density and layer to the sound absorption coefficient of the oil palm empty fruit bunches and acacia particle boards. The particleboards made in this research had two density variation and four layers variations. The board's densities were 0.4 g/cm<sup>3</sup> and 0.6 g/cm<sup>3</sup>. The moisture content, density, MOR and MOE of the particle boards were tested. The best physical and mechanical characteristics was 0.6 density acacia particleboard. The sound absorption coefficient ( $\alpha$ ) was tested using impedance tube. The frequencies were 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1,000 Hz, 2,000 Hz, and 4,000 Hz. The alpha ( $\alpha$ ) measured were ranged from 0.21 to 0.64. The result showed that there was no significant difference on the sound absorption coefficient ( $\alpha$ ) from various densities of the boards and the board was suitable for increasing the acoustic quality of room with speech characteristics.*

*Keywords: interior, particle boards, sound absorption, density.*

## I. PENDAHULUAN

Penggunaan bahan peredam suara sangat penting untuk ruangan-ruangan yang membutuhkan kualitas suara yang baik, sehingga terhindar dari gangguan (*noise*) seperti misalnya di masjid, ruang pertemuan, auditorium, bioskop, gedung teater, studio musik dan ruang kuliah. Perancangan ruangan dengan penambahan bahan absorptif yang fleksibel dan

mudah disesuaikan akan mengurangi gangguan dengung dan *echo*, sehingga dapat memperbaiki kualitas akustik ruangan (Indrani, Ekasiwi, & Asmoro, 2007). Selain mempunyai sifat absorptif yang baik, bahan peredam suara juga sebaiknya aman bagi kesehatan dan lingkungan. Bahan yang sering digunakan sebagai absorben suara adalah *glasswool*, akan tetapi mempunyai kekurangan yaitu dalam pemasangan dapat mengganggu kesehatan (Kristanto, Sugiharto, Atmojo, & Loekito, 2011). Pemakaian bahan absorben yang aman, seperti dari serat alam yang *biodegradable* dan murah perlu dikembangkan. Penelitian terkait papan akustik yang berasal dari bahan mengandung lignoselulosa telah banyak dilakukan. Misalnya peredam suara dari serat bambu mempunyai koefisien serap suara yang senilai dengan *glasswool* (Koizumi, Tsujiuchi, & Adachi, 2002). Fatima & Mohanty (2011) melakukan percobaan pada serat jute dan menemukan bahwa serat tanpa perlakuan mempunyai sifat akustik yang lebih baik pada frekuensi 1000-4000Hz daripada yang diberi perlakuan. Selain itu sifat tahan apinya juga sebanding dengan absorber sintetis.

Serat di alam sangat banyak, di antaranya dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) serta kayu. Potensi limbah tandan kosong kelapa sawit di Indonesia sangat besar. Tandan kosong kelapa sawit merupakan 20%-24% dari total produksi. Jika pada tahun 2017 total produksi 35,36 juta ton, maka potensi TKKS adalah 8,49 ton (Dewanti, 2018; Dirjen Perkebunan, 2016). Papan dari tandan kosong kelapa sawit dengan pori yang lebih banyak mempunyai koefisien absorpsi tertinggi yaitu 0,726 (Wirman, Fitri, & Apriza, 2016). Potensi kayu akasia juga sangat besar di Indonesia. Pada tahun 2017, produksi kayu bulat terbesar adalah kayu akasia sebanyak 31,13 juta m<sup>3</sup> yang merupakan 63,36% dari total produksi kayu bulat (BPS, 2018).

Papan partikel merupakan salah satu alternatif jenis interior peredam suara. Papan dengan kerapatan rendah hanya berfungsi efektif pada frekuensi rendah, sedangkan papan dengan kerapatan tinggi efektif pada frekuensi tinggi. Menurut Karlinasari, Hermawan, Maddu, Martiandi, & Hadi (2012), kerapatan papan 0,5 gr/cm<sup>3</sup> efektif untuk menyerap suara pada frekuensi >1000Hz, sedangkan papan dengan kerapatan 0,8 g/cm<sup>3</sup> efektif untuk mengurangi kebisingan pada frekuensi <250Hz. Chou, Chen, Lai, & Sun (2014) menyatakan bahwa perbedaan kerapatan berpengaruh terhadap performa akustik suatu bahan, bertambahnya kerapatan bahan pada bagian paling luar papan sedikit berpengaruh pada kelas transmisi suara pada frekuensi tengah. Sedangkan kenaikan kerapatan pada *central* dan *base* akan meningkatkan kelas transmisi suara pada frekuensi menengah. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui pengaruh variasi kerapatan dalam sebuah papan peredam suara terhadap koefisien absorpsi suara. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat redaman suara dari papan partikel tandan kosong kelapa sawit dan serbuk kayu akasia dengan dua variasi kerapatan dan empat variasi lapisan.

## **II. BAHAN DAN METODE**

### **2.1. Bahan dan Peralatan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tandan kosong kelapa sawit, serbuk gergaji akasia, dan perekat urea formaldehida. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin pres panas dan cetakan, saringan nomor 7, aluminium foil lembaran, sarung tangan, masker, neraca analitik, kompor, panci, parang, baskom plastik, *universal testing machine* (UTM) dan tabung impedansi

### **2.2. Persiapan Bahan dan Pembuatan Papan**

Bahan serbuk gergaji kayu akasia dikeringkan sampai kering udara kemudian diayak dengan ayakan nomor 7. Serat sawit direndam dalam air mendidih selama  $\pm 1$  jam untuk menghilangkan ekstraktif, kemudian dikeringkan udara dan dipotong-potong berukuran 3-5 cm.

Kerapatan papan yang dibuat adalah 0,6 g/cm<sup>3</sup> dan 0,4 g/cm<sup>3</sup>. Bahan serbuk gergaji

kayu akasia dan serat sawit ditimbang sesuai dengan kerapatan yang diinginkan kemudian dicampur dengan perekat sebanyak 7%. Pencampuran bahan dan perekat dilakukan secara manual dengan tangan. Bahan yang sudah dicampur perekat ditata ke dalam cetakan lembaran berukuran 25x25x1 cm, lalu dikempa dengan menggunakan kempa panas 150°C selama 15 menit dengan tekanan 19 kgf/cm<sup>2</sup>. Panel kemudian dikondisikan selama dua minggu sebelum dilakukan pengujian.

### 2.3. Metode Pengujian Papan

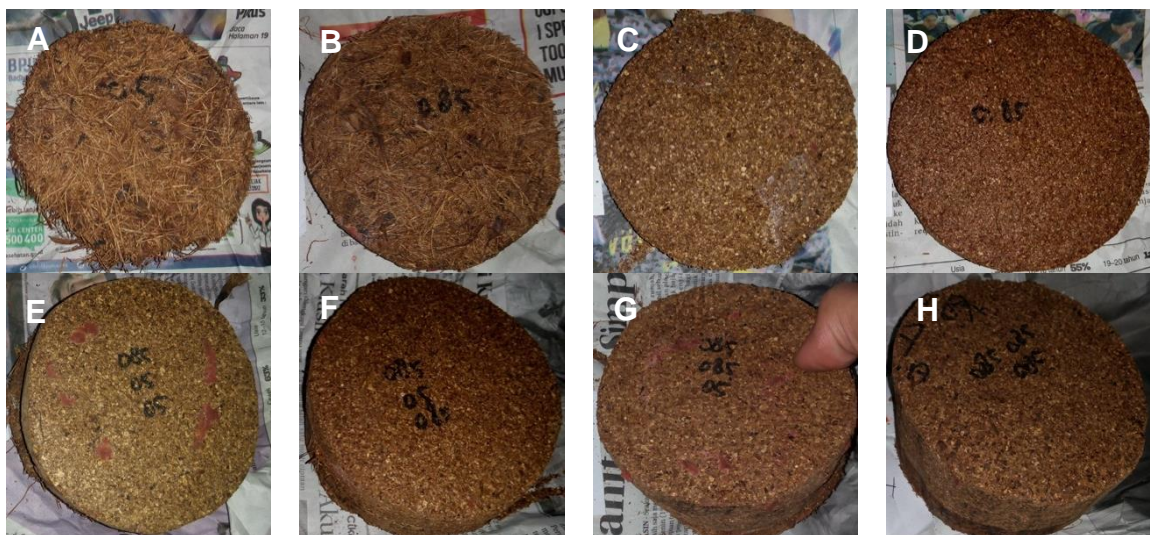
Metode pengujian papan dilakukan dengan standar SNI 03-2105-2006 untuk parameter kadar air, kerapatan, MOR, MOE dan SNI 03-3400-1994 untuk uji kuat geser.

### 2.4. Metode Pengujian Koefisien Absorpsi Suara ( $\alpha$ )

Koefisien absorpsi suara diukur menggunakan tabung impedansi. Pengukuran koefisien absorpsi suara dilakukan dalam rentang frekuensi 125-4000 Hz. Contoh uji yang digunakan berbentuk lingkaran berdiameter 10 cm (Gambar 1). Papan disusun pada tabung impedansi sesuai dengan variasi kerapatan pada tiga lapis papan sesuai Tabel 1. Koefisien absorpsi suara dilakukan dengan mengukur tekanan suara yang datang pada permukaan bahan dan dipantulkan pada permukaan bahan tersebut. Suatu bahan absorber dikatakan baik dalam menyerap suara jika nilai koefisien absorpsinya lebih dari 0,2. Koefisien absorpsi ( $\alpha$ ) suara dihitung dengan menggunakan Persamaan 1. Hasil uji kemudian dianalisa dengan *one way* anova untuk mengetahui tingkat signifikansinya. Berdasarkan hasil pengujian  $\alpha$  kemudian dapat dihitung NRC (*noise reduction coefficient*).

$$\text{Koefisien absorpsi suara } (\alpha) = \frac{\text{Energi suara diterima} - \text{Energi suara dipantulkan}}{\text{Energi suara diterima}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{NRC} = (\alpha_{125} + \alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000} + \alpha_{4000})/6 \quad (2)$$



Gambar 1. Sampel Uji Koefisien Absorpsi ( $\alpha$ )

Tabel 1. Variasi Perlakuan Papan Akustik

Kode	Perlakuan
A	T 0,4
B	T 0,6
C	A 0,4
D	A 0,6
E	AAT 0,6-0,4-0,4
F	AAT 0,6-0,4-0,6
G	AAT 0,6-0,6-0,4
H	AAT 0,6-0,6-0,6

Keterangan: T = Tandan kosong kelapa sawit  
A = Akasia  
AAT = Akasia : Akasia : Tandan kosong kelapa sawit

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Sifat Fisik dan Mekanik Papan

Hasil pengujian sifat fisik dan mekanik papan partikel dapat dilihat pada Tabel 2. Nilai kadar air dan kerapatan papan telah memenuhi standar mutu SNI 03-2105-2006, sedangkan untuk nilai MOR dan MOE masih jauh di bawah standar. Kadar air papan cukup rendah yaitu antara 3,07 dan 3,90. Hal ini dapat dikarenakan bahan yang digunakan sudah kering (<10%) dan pengaruh dari penggunaan suhu tinggi pada saat pengempaan. Kerapatan papan yang dihasilkan lebih rendah dari kerapatan yang diharapkan. Rendahnya nilai kerapatan ini dapat dikarenakan ketebalan papan yaitu 1,2-1,3 cm melebihi target ketebalan yaitu 1 cm. Hal ini dapat dikarenakan papan mengembang kembali setelah proses pengempaan selama masa pengkondisian dikarenakan sifat bahan terutama TKKS, atau karena penaburan bahan yang tidak merata selama pengempaan.

Nilai keteguhan lentur dan keteguhan patah di bawah standar. Hal ini dapat dikarenakan kurangnya perekat yang digunakan, serta tidak meratanya campuran perekat dan partikel bahan serat TKKS dan serbuk kayu akasia. Menurut Junaidi, Kasim, & Budiman (2015), jenis serat dan konsentrasi perekat sangat signifikan berpengaruh terhadap kekuatan lentur dan kekuatan patah papan. Papan dari TKKS yang tercampur antara serat dan kelopak TKKS akan mempunyai MOE dan MOR yang rendah karena nisbah pemadatan rendah. Maloney (1993) juga menyatakan bahwa jenis dan kandungan bahan perekat yang digunakan, serta daya ikat dan ukuran partikel berpengaruh sangat nyata terhadap nilai MOE papan. Kekuatan lentur yang rendah dapat juga dipengaruhi oleh arah serat yang tidak seragam karena terjadinya *void* akibat menggunakan metode *hand lay-up* (Suban & Farid, 2015). Semakin acak arah serat maka sifat mekanik pada salah satu arah akan semakin lemah.

#### 3.2. Sifat Akustik Papan

Hasil pengujian sifat akustik disajikan pada Gambar 2. Berdasarkan hasil penelitian nilai koefisien bunyi berkisar antara 0,21 sampai 0,64. Hasil ini memenuhi standar ISO 11654 yang menyebutkan bahwa material dikategorikan sebagai penyerap suara yang baik ketika nilai  $\alpha > 0,15$  (ISO, 1997). Hasil  $\alpha$  terendah pada papan B dan D pada frekuensi 125 Hz, sedangkan nilai  $\alpha$  tertinggi pada papan H frekuensi 500 Hz dan papan F frekuensi 1.000

Hz. Nilai  $\alpha$  papan secara umum mengalami kenaikan pada rentang frekuensi 125 - 2.000 Hz, kemudian berkurang pada frekuensi 4.000 Hz.

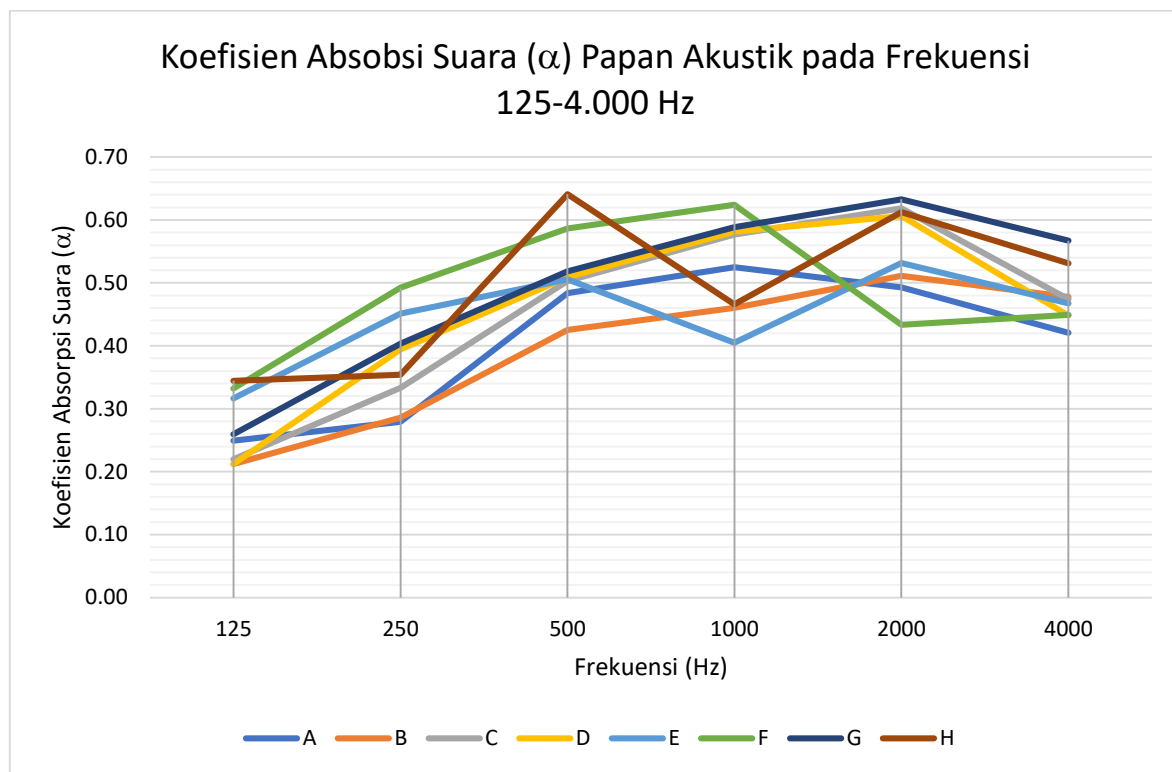
Berdasarkan hasil uji *one way* anova, kerapatan dan susunan lapisan papan tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai koefisien absorpsi bunyi. Papan yang berasal dari serbuk akasia mempunyai  $\alpha$  yang lebih tinggi daripada yang terbuat dari serat TKKS. Hal ini dapat dikarenakan nilai porositas dari papan berbeda. Salah satu faktor yang mempengaruhi nilai  $\alpha$  adalah porositas. Gelombang bunyi mengalami resonansi ketika sampai pada suatu material. Semakin besar porositas suatu bahan maka semakin besar pula resonansi yang terjadi sehingga energi bunyi yang dipantulkan semakin sedikit. Bunyi yang dipantulkan akan mempunyai amplitudo gelombang bunyi besar, sehingga koefisien absorpsi bunyi rendah (Yuliantika & Elvaswer, 2018).

Pada bahan yang sama, papan dengan densitas lebih tinggi mempunyai  $\alpha$  yang lebih tinggi dibandingkan papan dengan densitas lebih rendah. Hal ini karena papan dengan densitas yang tinggi mempunyai *flow resistivity* yang lebih tinggi sehingga absorpsi bunyinya juga lebih tinggi (Alrahman, Raja, Rahman, & Ibrahim, 2014). Secara umum, papan yang disusun berlapis (E, F, G, dan H) mempunyai nilai koefisien absorpsi suara yang lebih tinggi daripada papan satu lapis (A, B, C, dan D). Hasil ini sesuai dengan penelitian Zulkifli, Nor, Tahir, Ismail, & Nuawi (2008) yang menyatakan bahwa papan yang dibuat dari beberapa lapis bahan mempunyai  $\alpha$  yang lebih tinggi daripada yang tidak. Penambahan lapisan papan yang berlubang juga dapat menjadi alternatif untuk meningkatkan kemampuan menyerap suara. Penambahan lubang menambah porositas material sehingga menambah penyerapan gelombang bunyi dengan frekuensi rendah (Fouladi, Jailani, Nor, & Leman, 2010).

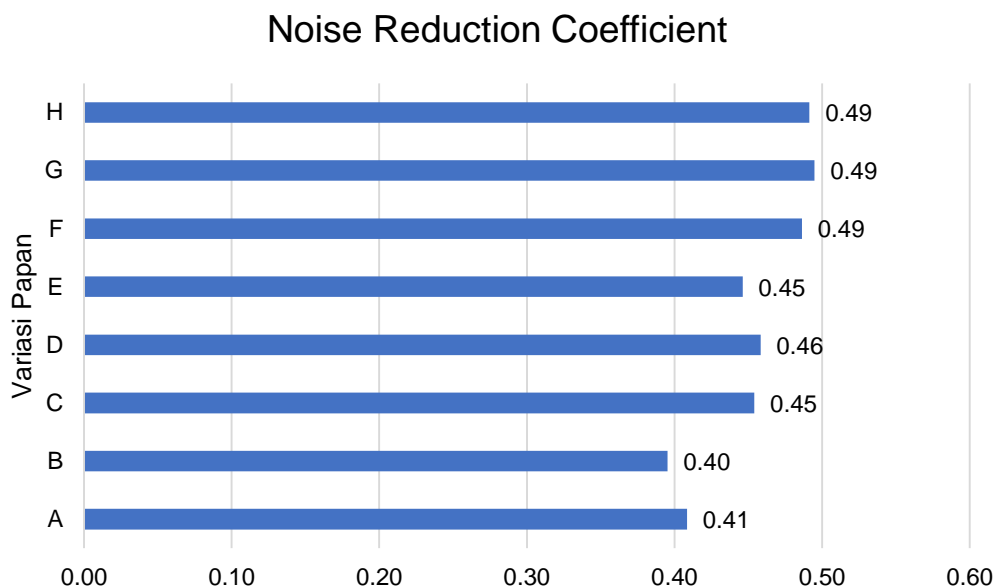
Nilai  $\alpha$  suatu absorben yang bervariasi pada setiap material berfungsi sebagai pedoman dalam memilih material sesuai kebutuhan dari penggunaan absorben. Papan akustik yang diperoleh mempunyai koefisien serapan bunyi yang tinggi ( $\alpha > 0,2$ ). Bahan ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan interior yang bersifat absorben untuk membantu memperbaiki kualitas akustik berkarakter *speech*, sedangkan bahan yang mempunyai  $\alpha$  rendah ( $<0,2$ ) lebih cocok untuk meningkatkan kualitas akustik berkarakter *music* (Doelle, 1972). Kualitas ruangan berkarakter *speech* yang dapat diperbaiki dengan absorben seperti ketajaman *speech (clarity)* dan dengung yang pas. Posisi dan luasan bahan absorben sangat berpengaruh dalam peningkatan kualitas akustik sebuah ruangan (Indrani et al., 2007).

Tabel 2. Sifat Fisik dan Mekanika Papan Partikel

Sampel	Kadar Air (%)	Kerapatan (g/cm <sup>3</sup> )	MOE (kgf/cm <sup>2</sup> )	MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )	Kuat Geser (kgf/cm <sup>2</sup> )
TKKS 0,4	3,50	0,40	4732,80	9,90	1,97
TKKS 0,6	3,07	0,61	2847,68	25,41	3,73
Akasia 0,4	3,86	0,38	3312,84	6,41	3,20
Akasia 0,6	3,90	0,60	2471,84	20,71	12,98
Standar Mutu SNI 03-2105-2006	≤14	0,4-0,9	≥2,04x10 <sup>4</sup>	≥82	



Gambar 2. Koefisien absorpsi suara ( $\alpha$ ) papan akustik



Gambar 3. Grafik *Noise Reduction Coefficient*

Berdasarkan Gambar 3, papan hasil penelitian mempunyai nilai  $NRC > 0,4$ . *Noise Reduction Coefficient* (NRC) adalah bilangan yang menunjukkan kemampuan sebuah material untuk menyerap suara atau kebisingan dalam rentang frekuensi suara yang dapat didengar oleh manusia terutama pada ruangan tertutup (Huang et al., 2015). Papan dengan  $NRC > 0,4$  merupakan material yang bersifat menyerap, sedangkan  $NRC < 0,2$  bersifat

reflektif atau memantulkan gelombang suara. Contoh material yang bersifat reflektif dengan NRC 0,2 adalah beton, tembok, kaca, dan keramik. Material dengan  $NRC > 0,4$  diantaranya adalah papan panel, fiberglass, selimut berserat, busa dan tirai. Hasil ini mendukung temuan bahwa papan yang dihasilkan bersifat peredam akustik.

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Papan partikel dari tandan kosong kelapa sawit dan akasia berpotensi menjadi bahan peredam suara khususnya peredam suara untuk mengurangi kebisingan pada bangunan atau fasilitas umum. Nilai koefisien absorpsi suara yang diperoleh adalah antara 0,21-0,64 sehingga papan yang dibuat cocok untuk bahan interior bagi ruangan berkarakter *speech* yang akan diperbaiki kualitas akustiknya. Papan yang dihasilkan sudah memenuhi standar ISO 16554 sebagai material penyerap suara. Tidak ada pengaruh signifikan antara kerapatan dan variasi lapisan papan terhadap koefisien absorpsi suara. Penelitian ini berpotensi untuk dikembangkan di masa depan sebagai alternatif produk interior peredam suara.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada Departemen Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan Balai Riset dan Standardisasi Industri Banjarbaru yang telah menyediakan fasilitas sehingga penelitian ini dapat diselesaikan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Alrahman, L. A., Raja, R. I., Rahman, R. A., & Ibrahim, Z. (2014). Comparison of Acoustic Characteristics of Date Palm Fibre and Oil Palm Fibre. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 7(8), 1656–1661.
- Badan Pusat Statistik. (2018). *Statistik Produksi Kehutanan 2017*. Jakarta.
- Dewanti, D. P. (2018). Potensi Selulosa dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Bahan Baku Bioplastik Ramah Lingkungan Cellulose. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(1), 81–88.
- Dirjen Perkebunan. (2016). *Statistik Perkebunan Indonesia Kelapa Sawit 2015-2017*. (D. D. Hendaryati & Y. Arianto, Eds.). Jakarta, Indonesia: Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian.
- Doelle, L. L. (1972). *Environmental Acoustic*. New York: McGraw-Hill Publishing Company.
- Fatima, S., & Mohanty, A. R. (2011). Acoustical and Fire-retardant Properties of Jute Composite Materials. *Applied Acoustics*, 72(2–3), 108–114. <http://doi.org/10.1016/j.apacoust.2010.10.005>
- Fouladi, M. H., Jailani, M., Nor, M., & Leman, Z. A. (2010). Utilization of Coir Fiber in Multilayer Acoustic Absorption Panel. *Applied Acoustics*, 71(3), 241–249. <http://doi.org/10.1016/j.apacoust.2009.09.003>
- Huang, C. H., Lou, C. W., Chuang, Y. C., Liu, C. F., Yu, Z. C., & Lin, J. H. (2015). Rigid / Flexible Polyurethane Foam Composite Boards with Addition of Functional Fillers : Acoustics Evaluations. *Sains Malaysiana*, 44(12), 1757–1763.
- Indrani, H. C., Ekasiwi, S. N. N., & Asmoro, W. A. (2007). Optimasi Desain Interior untuk Peningkatan Kualitas Akustik Ruang Auditorium Multi-Fungsi (Studi kasus Auditorium Universitas Kristen Petra , Surabaya). *Dimensi Teknik Arsitektur*, 35(2), 117–127.
- ISO. (1997). *ISO 16554: 1997 Acoustics -- Sound Absorbers for Use in Buildings -- Rating of Sound Absorption*. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.
- Junaidi, Kasim, A., & Budiman, D. (2015). Pengaruh Jenis Serat Tandan Kosong Sawit (TKS) Hasil Defiberasi Secara Mekanis dan Kadar Perekat Gambir Terhadap Kualitas

- Papan Komposit. In *Seminar Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi ke-10* (pp. 889–895). Yogyakarta, 24 November 2015: Sekolah Tinggi Teknologi Nasional.
- Karlinasari, L., Hermawan, D., Maddu, A., Martiandi, B., & Hadi, Y. S. (2012). Development of Particleboard from Tropical Fast-Growing Species for Acoustic Panel. *Journal of Tropical Forest Science*, 24(1), 64–69.
- Koizumi, T., Tsujiuchi, N., & Adachi, A. (2002). The Development of Sound Absorbing Materials Using Natural Bamboo Fibers. *High Performance Structures and Composites*, 157–166. <http://doi.org/10.2495/HPS020161>
- Kristanto, L., Sugiharto, H., Atmojo, A. D., & Loekito, L. B. D. (2011). Studi Reduksi Bunyi pada Material Insulasi Atap Zincalume. *Journal of Architecture and Built Environment*, 38(2), 101–110.
- Maloney, T. M. (1993). *Modern Particleboard and Dry-Process Fiberboard Manufacturing*. USA: Miller Freeman Inc San Francisco.
- Suban, S. L., & Farid, M. (2015). Pengaruh Panjang Serat terhadap Nilai Koefisien Absorpsi Suara dan Sifat Mekanik Komposit Serat Ampas Tebu dengan Matriks. *Jurnal Teknik ITS*, 4(1), 101–105.
- Wirman, S. P., Fitri, Y., & Apriza, W. (2016). Karakterisasi Komposit Serat Sabut Kelapa Sawit dengan Perekat PVAC sebagai Absorber. *Journal Online of Physics*, 1(2), 10–15.
- Yuliantika, S., & Elvaswer. (2018). Impedansi Akustik dari Limbah Serat Kayu Meranti Merah (*Shorea pinanga*) dengan Menggunakan Metode Tabung. *Jurnal Ilmu Fisika*, 10(1), 28–37.
- Zulkifli, R., Nor, M. J. M., Tahir, M. F. M., Ismail, A. R., & Nuawi, M. Z. (2008). Acoustic Properties of Multi-Layer Coir Fibres Sound Absorption Panel. *Journal of Applied Sciences*, 8(20), 3709–3714.