

Studi dan Evaluasi Kayu sebagai Bahan Dasar *Quadratic Residue Diffuser* Akustik

Aditya Imam Wicaksono¹, Fitria Hidayanti¹, V. Vekky R. Repi¹, Hari Hadi Santoso²

¹Program Studi Teknik Fisika, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Nasional Jakarta

²Pusat Penelitian Kalibrasi Instrumentasi Metrologi LIPI Serpong

Korespondensi: vekky_repi@yahoo.com

ABSTRAK. Penelitian ini membahas tentang pengujian *diffuser* dengan menggunakan kayu-kayu yang berbeda (kayu tripleks meranti, kayu jati, dan kayu kamper). Tujuan pengujian ini adalah untuk memudahkan insinyur akustik memilih kayu yang akan digunakan sebagai *diffuser* dalam perancangan tata suara auditorium. Pengujian dilakukan dengan metode *boundary plane measurement* yang merujuk pada AES-4id-2001. Hasil pengujian diperoleh grafik respon polar dan koefisien difusi dengan frekuensi 800 Hz, 1000 Hz, dan 1250 Hz. Berdasarkan pengujian tersebut, kayu kamper merupakan kayu yang terbaik untuk dijadikan *diffuser*.

Kata Kunci: *Boundary Plane Measurement*, Grafik Respon Polar, Kayu, Koefisien Difusi, *Quadratic Residue Diffuser*.

PENDAHULUAN

Peranan tata suara menjadi hal yang sangat penting pada bagian auditorium supaya informasi sampai kepada pendengar dan pendengar merasa nyaman ketika berada di auditorium. Berdasarkan hal tersebut, insinyur akustik merancang sistem tata suara yang baik dengan menggunakan perangkat sistem suara dan bahan akustik yang dapat memadukan suara-suara yang ada. Ketika perangkat sistem suara sudah baik namun kualitas suara yang didengar oleh pendengar belum baik maka bahan-bahan akustik digunakan untuk memperbaiki kualitas suara tersebut. Salah satu jenis bahan akustik yang digunakan adalah *diffuser*.

Diffuser merupakan sebuah konstruksi yang dapat menyebarkan suara pada arah yang berbeda dan sudah diketahui [1]. *Diffuser* umumnya dibuat dengan berbahan dasar kayu dengan bentuk-bentuk tertentu sesuai dengan jenis *diffuser*nya. Tidak semua material kayu *diffuser* yang digunakan memiliki tingkat penyebaran suara yang seragam dan merata, karena setiap material memiliki tingkat penyerapan suara dan massa jenis yang berbeda [2]. Oleh karena itu, diperlukan pengujian *diffuser* untuk mengetahui kemampuan kayu *diffuser* dengan pendekatan akustik [3]. Pengujian yang digunakan pada penelitian ini adalah pengujian *boundary plane measurement* yang merujuk pada standar Audio Engineering Society nomor AES-4id-2001 tahun 2001[4].

METODE PENELITIAN

Bagian ini menerangkan metode yang digunakan pada penelitian ini. Bagian ini terdiri dari material kayu dan desain yang digunakan pada pembuatan *diffuser*, metode pengukuran dan metode pengolahan data yang disadur dari standar *Audio Engineering Society* nomor AES-4id-2001 tahun 2001.

Material Kayu dan Desain

Kayu yang digunakan dalam penelitian ini adalah kayu tripleks meranti, kayu jati, dan kayu kamper. Spesifikasi jenis kayu dapat dilihat pada tabel 1.

TABEL 1. Spesifikasi Jenis Kayu.

	<i>Diffuser A</i>	<i>Diffuser B</i>	<i>Diffuser C</i>
Nama Umum	Meranti merah terang [5]	Jati[6]	Kamper[7]
Nama Ilmiah	<i>Shorea</i> spp.	<i>Tectona grandis</i>	<i>Cinnamomum champora</i>
Penyebaran Pohon	Asia Tenggara	Asia Tenggara	Asia Tenggara
<i>Specific Gravity</i> (kadar air 12 %)	0.40, 0.48	0.55, 0.66	0.43, 0.52

Pembuatan tiga *diffuser* menggunakan *diffuser* jenis *Quadratic Residue Diffuser*. Konstruksi *Quadratic Residue Diffuser* menggunakan serangkaian kolom dengan lebar kolom yang sama di tiap kolomnya yang dipisahkan oleh pemisah tipis [8]. Kedalaman tiap kolom dihitung dengan satu dari sejumlah urutan untuk memaksimalkan difusi pada bidang transversal terhadap kolom-kolomnya [9]. Pembuatan *diffuser* tersebut melibatkan pengrajin mebel setempat. Penentuan ukuran *diffuser* disesuaikan dengan frekuensi desain dan frekuensi puncak *diffuser*. Frekuensi desain *diffuser* yang dibuat adalah 1000 Hz dan frekuensi puncak *diffuser* adalah 3400 Hz. Kedalaman kolom *Quadratic Residue Diffuser* yang dibuat dapat dilihat pada tabel 2.

TABEL 2. Ukuran Kedalaman Kolom.

Kolom ke-	Bilangan (n)	Faktor Proporsional kedalaman kolom (s_n)	Kedalaman (mm)
1	0	0	0
2	1	1	25
3	2	4	100
4	3	2	50
5	4	2	50
6	5	4	100
7	6	1	25

Metode Pengukuran

Salah satu metode pengujian *diffuser* adalah metode boundary plane measurement. Metode ini disadur dari AES-4id-2001 tentang karakterisasi dan pengukuran keseragaman penyebaran pada permukaan yang dibuat oleh Audio Engineering Society, Inc. (AES) pada tahun 2001 [4]. Dokumen tersebut memberikan panduan untuk meng-karakterisasi keseragaman penyebaran yang dihasilkan oleh *diffuser* terhadap pengukuran atau prediksi penyebaran respon polar. Dalam konteks tersebut, penyebaran suara terhadap permukaan dinilai dengan koefisien difusi tunggal.

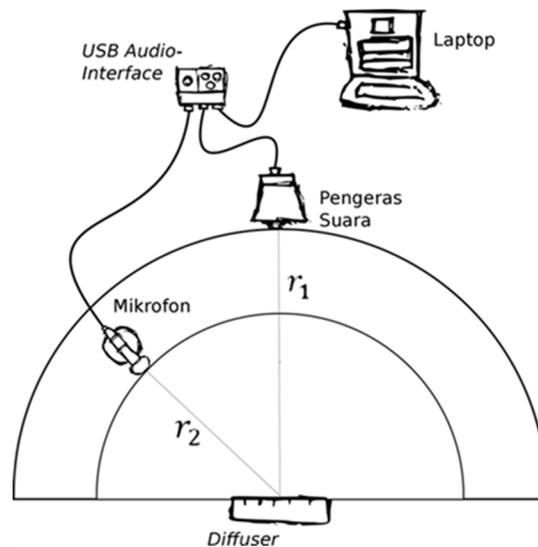
Pengujian ini dilakukan dengan cara menempatkan *diffuser* yang dikelilingi oleh barisan mikrofon. Mikrofon-mikrofon ditempatkan pada posisi-posisi sesuai sudut-sudut pantulan *diffuser* tersebut dengan jarak yang sama antara *diffuser* dan masing-masing mikrofon. Sedangkan penguji suara ditempatkan di luar barisan mikrofon. Suara dengan frekuensi tertentu ‘ditembakkan’ menuju sampel *diffuser*, kemudian *diffuser* memantulkan ke pelbagai arah. Selanjutnya, mikrofon merekam suara pantulan *diffuser* dan suara penguji suara di tiap posisi mikrofon yang sudah diketahui sudut penerimaannya. Gambar 1 merupakan penerapan pengujian yang dilakukan.

Penerapan pengujian menggunakan beberapa peralatan seperti mikrofon, penguji suara, dan perlengkapan pendukung audio lainnya [10]. Penguji suara diletakkan berhadapan langsung dengan *diffuser* dan memberikan suara gelombang sinus dengan frekuensi 800 Hz, 1000 Hz, dan 1250 Hz menuju *diffuser* atau sampel. Pantulan suara *diffuser* akan direkam oleh mikrofon yang sudah ditentukan posisi penempatannya. Satu mikrofon diletakkan pada 19 posisi yang disebar mengelilingi *diffuser* dengan jarak 1.6 m dan dipindahkan ke posisi berikutnya secara bergantian setelah satu posisi mikrofon merekam frekuensi yang diuji [11]. 19 posisi berarti pengukuran dilakukan tiap 10 derajat terhadap *diffuser*. Penguji suara diletakkan berhadapan dengan *diffuser* dengan jarak 1.9 m. Mikrofon yang digunakan adalah mikrofon jenis kondenser dengan model Samson C02 [12]. Sedangkan penguji suara yang digunakan adalah penguji suara monitor dengan model Mackie CR-3 [13].

Metode Perhitungan

Pengolahan pengukuran bertujuan untuk mencari respon polar dan koefisien difusi pada satu *diffuser*. Gambar 2 merupakan gambaran umum pengolahan pengukurannya [4]. Gambar 2 bagian A merupakan proses perekaman pantulan *diffuser* yang dilakukan oleh mikrofon pada

satu posisi sudut. Pada gambar 2 bagian B, hasil perekaman pantulan semua posisi sudut direkam pada perangkat lunak komputer yang ditampilkan dalam grafik rekaman dengan domain waktu. Rekaman mikrofon yang dibedakan antara rekaman pengeras suara dan rekaman pantulan *diffuser*. Pada gambar bagian C, rekaman pantulan *diffuser* pada semua posisi sudut dimurnikan dengan teknik penyelisihan rekaman antara rekaman yang diukur dengan menggunakan *diffuser* dan rekaman yang diukur tanpa menggunakan *diffuser*. Kemudian, pada gambar bagian D, rekaman pantulan *diffuser* yang sudah dimurnikan diubah dari domain waktu menjadi domain frekuensi untuk mencari intensitas pantulan setiap sudut dan dibuat grafik respon polar. Grafik respon polar dibuat dengan pengambilan intensitas pantulan *diffuser* pada semua posisi sudut dan pada satu frekuensi yang diuji.



GAMBAR 1. Model Pengujian Diffuser.

Pada gambar 2 bagian E, grafik koefisien difusi diperoleh berdasarkan grafik respon polar pada semua frekuensi. Intensitas pantulan *diffuser* pada satu frekuensi dan pada satu posisi sudut dihitung koreksi berdasarkan jarak antara *diffuser* dengan mikrofon dan pengeras suara dengan menggunakan persamaan 1 dan 2 [4].

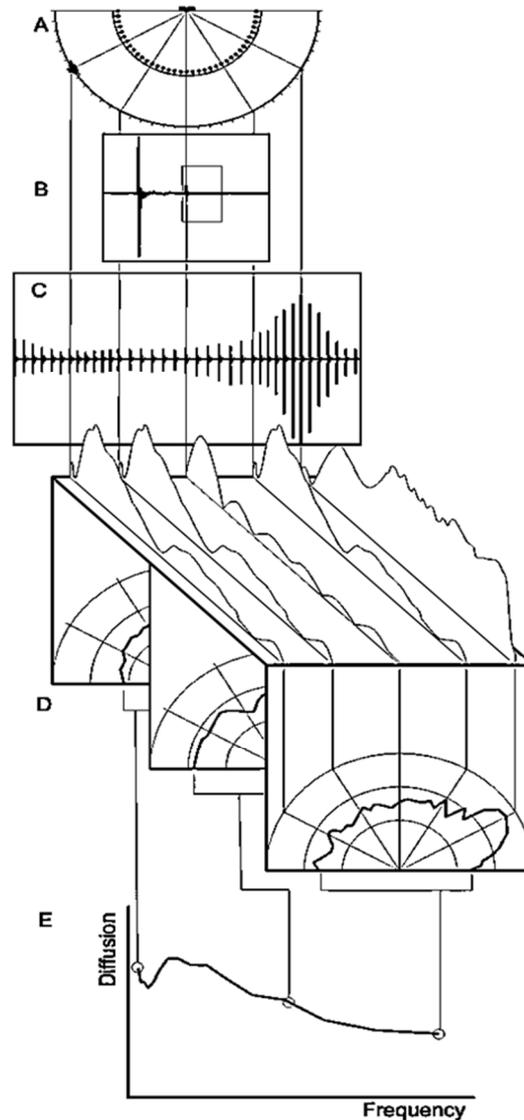
$$L_i = L'_i + \epsilon 10 \log_{10} \left(\frac{r}{6.67} \right) \tag{1}$$

$$r = \frac{2 \times r_1 \times r_2}{(r_1 + r_2)} \tag{2}$$

Dimana, L_i adalah tingkat intensitas suara pantulan yang terkoreksi di posisi ke- i (dalam satuan desibel); L'_i adalah tingkat intensitas suara pantulan yang pengukuran (dan belum dikoreksi) di posisi ke- i (dalam satuan desibel); ϵ adalah konstanta untuk menentukan jenis pengujian yang dilakukan (tak bersatuan). $\epsilon = 1$ jika pengujian dilakukan dengan dua bidang (contoh pengujian dua bidang dapat dilihat pada Gambar 2.2). $\epsilon = 2$ jika pengujian dilakukan dengan tiga bidang (tiga dimensi). r adalah jarak antara mikrofon dan pengeras suara terhadap titik referensi (dalam satuan meter). r_1 adalah jarak antara pengeras suara terhadap titik referensi (dalam satuan meter). r_2 adalah jarak antara mikrofon terhadap titik referensi (dalam satuan meter). i adalah urutan posisi. Koefisien difusi pada satu posisi pengeras suara diperoleh dengan menggunakan persamaan (3) [4].

$$d_\theta = \frac{\left(\sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right)^2 - \sum_{i=1}^n \left(10^{\frac{L_i}{10}} \right)^2}{(n - 1) \sum_{i=1}^n \left(10^{\frac{L_i}{10}} \right)^2} \tag{3}$$

Dimana, L_i adalah tingkat intensitas suara pantulan yang terkoreksi di posisi ke- i (dalam satuan desibel). d_θ adalah koefisien difusi (tak bersatuan). n adalah banyaknya pengukuran atau posisi titik uji (tak bersatuan). i adalah urutan posisi. Nilai koefisien difusi tiap frekuensi dapat digambarkan dalam bentuk grafik terhadap frekuensi. Gambar 2 bagian E merupakan contoh grafik koefisien difusi. Unjuk kerja sebuah *diffuser* dapat dilihat pada grafik koefisien difusi.



GAMBAR 2. Proses Pengolahan Pengukuran dari Perekaman Mikrofon hingga Grafik Koefisien Difusi [4].

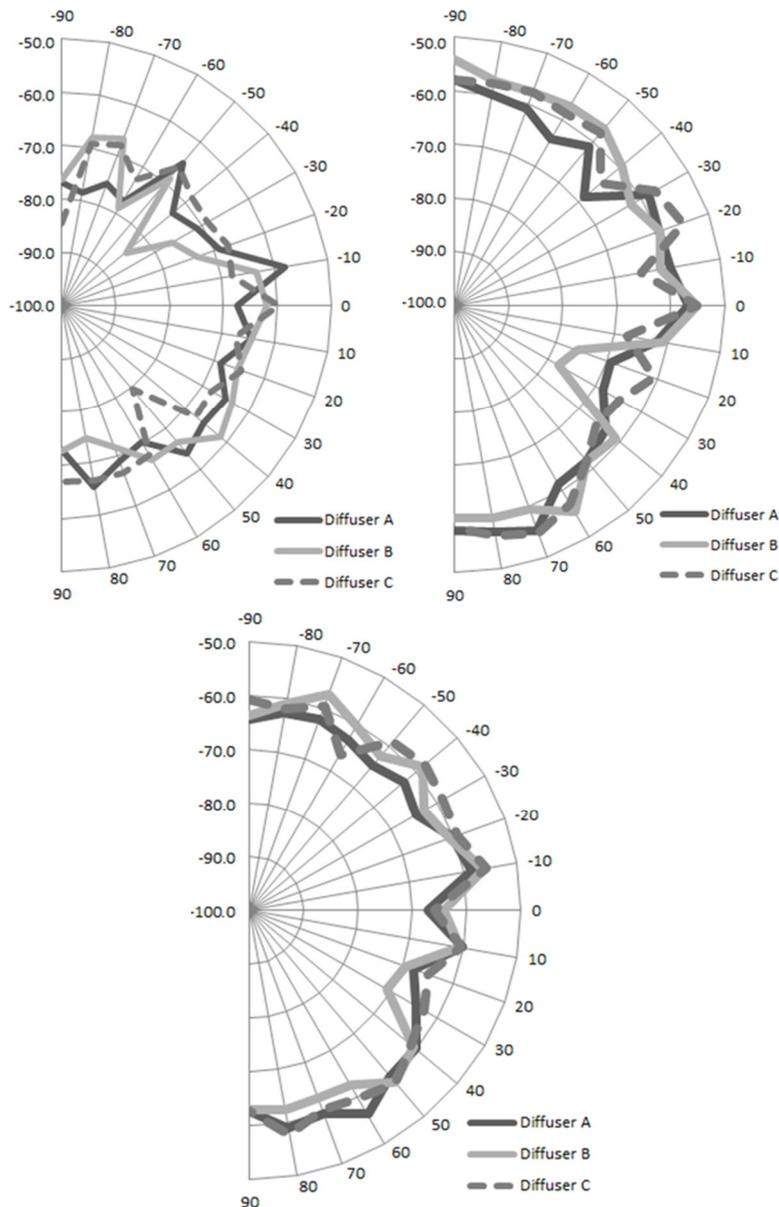
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini membahas hasil pengukuran dengan pendekatan grafik respon polar dan koefisien difusi.

Grafik Respon Polar

Gambar 3 merupakan pembahasan grafik respon polar pada frekuensi 800 Hz, 1000 Hz, dan 1250 Hz pada semua *diffuser* yang diuji. Pada Gambar 3 (a), intensitas pantulan terbesar terletak pada sudut 0 derajat terhadap *diffuser* yang merupakan sudut posisi ‘tembak’ pengeras suara. Hal ini disebabkan karena frekuensi uji 800 Hz merupakan frekuensi di luar frekuensi desain *diffuser*, yakni frekuensi 1000 Hz. Jika frekuensi uji di bawah frekuensi desain *diffuser*, maka *diffuser* berfungsi hanya sebagai permukaan pantul [1].

Jadi dapat disimpulkan bahwa karakteristik permukaan pantul adalah intensitas bunyi pantulan yang terbesar terletak pada sudut pantulnya. Gambar 3 (b) memiliki bentuk pola yang lebih merata ke pelbagai sudut. Hal ini disebabkan karena frekuensi 1000 Hz merupakan rentang frekuensi yang dirancang pada penelitian ini, yakni frekuensi 1000 Hz hingga frekuensi 3400 Hz. Gambar 3 (b) dan 3 (c) juga memiliki bentuk pola yang lebih merata ke pelbagai sudut. Hal ini disebabkan karena frekuensi 1250 Hz merupakan rentang frekuensi yang dirancang pada penelitian ini.



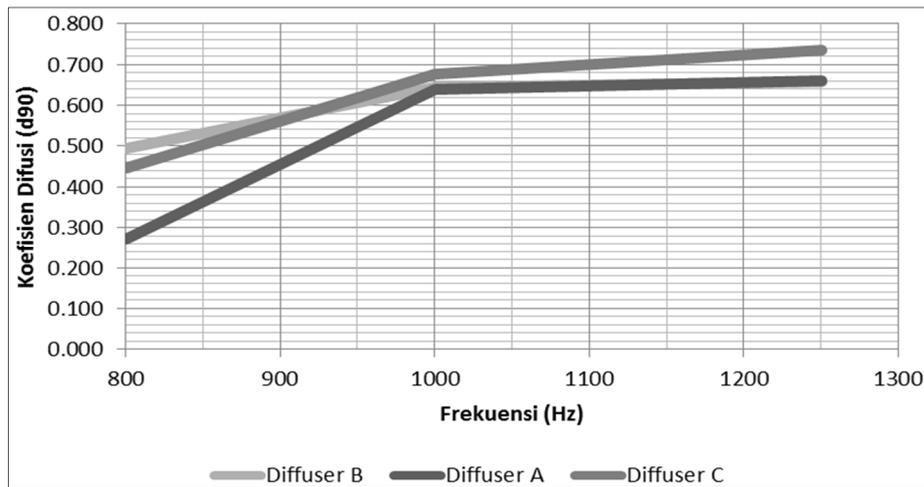
GAMBAR 3. Grafik respon polar frekuensi pada arah jarum jam: (a) 800 Hz, (b) 1000 Hz, dan (c) 1250 Hz

Koefisien Difusi

Berikut ini adalah tabel koefisien difusi yang dapat dilihat pada tabel 3 dan grafik koefisien difusi yang dapat dilihat gambar 4 pada semua jenis *diffuser* yang diuji.

TABEL 3. Koefisien Difusi Hasil Perhitungan.

Kolom ke-	d90		
	Diffuser A	Diffuser B	Diffuser C
800	0.273	0.494	0.447
1000	0.639	0.643	0.677
1250	0.661	0.658	0.736



GAMBAR 4. Grafik Koefisien Difusi Hasil Perhitungan.

Pada gambar 3 dan tabel 3, terlihat perbedaan yang signifikan pada frekuensi 800 Hz, 1000 Hz dan 1250 Hz. Pada frekuensi 800 Hz, semua *diffuser* memiliki koefisien difusi dibawah 0.5. Frekuensi 800 Hz merupakan frekuensi di luar frekuensi desain *diffuser*. Sehingga semua *diffuser* hanya sebagai permukaan pantul.

Di samping itu, pada Gambar 4, terlihat perbedaan yang mencolok antara koefisien difusi pada *diffuser* A dengan B dan C. Koefisien difusi *diffuser* A pada frekuensi 800 Hz lebih rendah daripada koefisien difusi *diffuser* B dan C karena kayu pada *diffuser* B dan C lebih padat daripada *diffuser* A. Hal ini ditandai dengan densitas kayu-kayu yang diuji pada tabel 1. Densitas kayu *diffuser* B dan C lebih besar daripada *diffuser* A. Densitas kayu *diffuser* A lebih kecil sehingga *diffuser* A menyerap suara frekuensi lebih banyak dan pantulan yang diterima atau direkam oleh mikrofon lebih sedikit ketika *diffuser* dianggap sebagai permukaan pantul. Sedangkan densitas *diffuser* B dan C lebih besar sehingga *diffuser* B dan C memantulkan suara frekuensi 800 Hz searah sudut datang.

Pada frekuensi 1000 Hz dan 1250 Hz, koefisien difusi semua *diffuser* di atas 0.5. Hal ini berarti semua *diffuser* dapat memantul dan dapat menyebarkan suara dengan baik. Hal ini disebabkan frekuensi 1000 Hz dan frekuensi 1250 Hz merupakan frekuensi desain *diffuser*. Di samping itu, koefisien difusi *diffuser* C lebih tinggi daripada *diffuser* lain yang diuji. Hal ini menandakan bahwa kayu *diffuser* C (yakni kayu kamper) merupakan kayu yang terbaik untuk dijadikan sebuah *diffuser* pada penelitian ini.

KESIMPULAN

Grafik respon polar memperlihatkan bahwa pada frekuensi uji 800 Hz *diffuser* yang dibuat tidak dapat menyebarkan suara pantulan. Namun *diffuser* dapat menyebarkan suara pantulan pada frekuensi 1000 Hz dan 1250 Hz. Kayu kamper merupakan kayu yang terbaik untuk dijadikan sebuah *diffuser* karena memiliki koefisien difusi tertinggi yakni 0.677 pada frekuensi 1000 Hz dan 0.736 pada frekuensi 1250 Hz.

Penelitian ini masih terdapat hal-hal yang perlu ditinjau untuk pengembangan penelitian jenis ini selanjutnya. Hal-hal tersebut antara lain. Titik sudut pengujian *diffuser* (dalam hal ini jumlah posisi mikrofon terhadap *diffuser*) sebaiknya diperbanyak sehingga koefisien difusi mendekati nilai yang realistis. Hal ini sejalan dengan banyaknya jumlah pengukuran, semakin banyak jumlah pengukuran, maka hasil pengukuran tersebut semakin baik. Jenis kayu yang diuji sebaiknya sesuai dengan kayu yang digunakan oleh insinyur akustik dalam merancang ruangan. Hal ini dilakukan supaya tujuan penelitian jenis ini sesuai dengan kebutuhan insinyur akustik. Pada penelitian ini, tidak dilakukan pengukuran kekasaran permukaan *diffuser* untuk mengetahui pengaruh kekasaran permukaan karena keterbatasan dalam penelitian. Namun, diperlukan pengukuran kekasaran permukaan atau perbanyak sampel *diffuser*, antara *diffuser*

yang diampelas dan *diffuser* yang tidak diampelas. Hal ini dilakukan untuk mengetahui koefisien difusi di antara dua jenis perlakuan tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Laboratorium Akustik dan Vibrasi Pusat Penelitian Metrologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia yang telah memberikan kesempatan penulis untuk menguji *diffuser* di ruangan bebas gema.

REFERENSI

- [1] Naziema Joeman, "*Diffuser performance analysis by measured-based modelling*," Delft University of Technology, Delft, 2005.
- [2] Voichita Bucur, *Acoustics of Wood*, 2nd ed., R. Wimmer T. E. Timell, Ed. Berlin: Springer-Verlag, 2006.
- [3] Mei-Huei Shen, Fang-Ming Lin, and Rong-Ping Lai, "*Investigation on Sound Scattering Performances of Wooden and Bamboo Diffusers*," in International Conference on Multimedia Technology (ICMT), Hangzhou, 2011, pp. 4478-4481.
- [4] Audio Engineering Society, "*AES-4id-2001: AES Information document for room acoustics and sound reinforcement systems – characterisation and measurement of surface scattering uniformity*," 2001.
- [5] The Wood Database. (2016, Januari) Light Red Meranti. [Online]. <http://www.wood-database.com/lumber-identification/hardwoods/light-red-meranti/>
- [6] The Wood Database. (2016, Januari) Teak. [Online]. <http://www.wood-database.com/lumber-identification/hardwoods/teak/>
- [7] The Wood Database. (2016, Januari) Camphor. [Online]. <http://www.wood-database.com/lumber-identification/camphor/>
- [8] M.R. Monazzam, Y.W. Lam, *Applied Acoustics* **69**, 93-109 (2008).
- [9] Fang-Ming Lin, Pei-Yu Hong, Chia-Yen Lee, *Applied Acoustics* **71**, 68-78 (2010).
- [10] M.R. Monazzam, Y.W. Lam, *Applied Acoustics* **66**, 709-730 (2005).
- [11] Trevor J. Cox, Y.W. Lam, *Applied Acoustics* **41**, 237-246 (1994).
- [12] Samson Audio. (2003) Samson C02 Owners Manual. Document.
- [13] LOUD Technologies Inc. (2015) CR3 & CR4 Owners Manual Document.