

Pengaruh Variasi Jenis Bahan terhadap Pola Hamburan pada Difuser MLS (*Maximum Length Sequence*) Dua Dimensi

Keysha Wellviestu Zakri, Melania Suweni Muntini, dan Susilo Indrawati
Jurusan Fisika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
E-mail: melania.muntini@gmail.com

Abstrak— Salah satu hal yang disorot dalam pengkondisian suatu ruang akustik yaitu dengan mempertimbangkan kenyamanan. Hal ini dapat dilakukan dengan memberikan suatu bahan yaitu difuser. Tanpa diketahui koefisien difusi terlebih dahulu, tidaklah mungkin diketahui fungsi difuser yang cocok dalam aplikasinya. Pada laporan ini direpresentasikan hasil penelitian tentang koefisien difusi suatu difuser 2 dimensi berbahan kayu dan bubuk kertas. Koefisien difusi dihitung melalui separasi sinyal akustik antara bunyi yang datang pada difuser dan bunyi yang dihamburkan oleh difuser. Penelitian dilakukan di Ruang Laboratorium Akustik Fisika ITS dengan melakukan pengukuran distribusi SPL pada permukaan dengan dan tanpa difuser. Pemisahan sinyal akustik dapat diperoleh dengan mencari selisih antara SPL dengan dan tanpa difuser melalui transformasi Fourier. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai koefisien difusi kayu dan bubuk kertas 2D memiliki nilai yang sama yaitu $0,312 \pm 0,008$ untuk difuser kayu 2D dan $0,319 \pm 0,007$ untuk difuser bubuk kertas 2D.

Kata kunci : *diffuser, koefisien difusi, separasi sinyal, SPL (Sound Pressure Level)*

I. PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu dan teknologi berkembang sangat cepat, tak terkecuali perkembangan di bidang akustika ruangan dan bangunan. Dalam hal ini khususnya ruang auditorium. Ruang auditorium banyak digunakan untuk keperluan *meeting*, rapat besar, konser, konferensi dan seminar. Sering kali para pengguna ruang auditorium mengeluh mengenai kenyamanan pendengaran. Hal itu menyebabkan pembaharuan teknologi desain dari ruang auditorium itu sendiri sangat dibutuhkan. Karakter suatu ruang auditorium yang bagus dapat dilihat dari bunyi yang dapat didengar dari seluruh ruangan secara merata, dimana ini terjadi akibat ruang auditorium memiliki waktu dengung yang tinggi.

Untuk mendapatkan karakter ruang auditorium yang bagus dapat dilakukan dengan penambahan bahan reflektor pada dinding, lantai dan langit-langit agar ruangan tersebut memiliki waktu dengung yang tinggi. Akan tetapi, penggunaan reflektor juga dapat menimbulkan gema. Sehingga dibutuhkan komponen pendukung lainnya pada ruang auditorium yaitu difuser. Dimana difuser itu sendiri ialah material akustik yang dapat memperbaiki penyimpangan suara yang terjadi oleh adanya gema. Trevor j. Cox dan D'Antonio telah melakukan penelitian tentang difuser MLS (*Maximum Length Sequence*) yang dijelaskan dalam buku dan kumpulan makalah tahun 2009, "*Acoustic Absorber and*

Diffusers (theory, design and application)". Saat ini perkembangan difuser terarah pada susunan difuser dan bahan pembuat difuser. [1]

Untuk melakukan pembaharuan teknologi dalam bidang akustik maka perlu dipahami beberapa materi sebagai berikut :

Perilaku bunyi yang terjadi di dalam suatu ruangan berbeda-beda tergantung frekuensi bunyi yang merambat di dalam suatu ruang dan juga karakter permukaan ruangnya. Bila gelombang bunyi mengenai suatu permukaan seperti dinding, langit-langit atau lantai maka dapat terjadi beberapa peristiwa seperti absorpsi (penyerapan), refleksi (pemantulan), difraksi, dan hamburan.[2]

-*Absorpsi* (penyerapan)

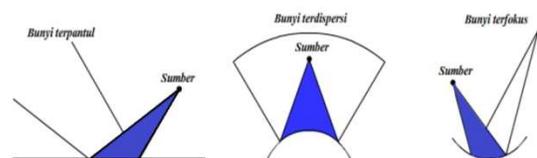
Penyerapan sangat bergantung pada kerapatan material untuk menyerap energi bunyi yang datang pada suatu permukaan. Selain kerapatan, frekuensi bunyi yang tiba juga dapat mempengaruhi terkait nilai absorpsi suatu permukaan atau material. Kemampuan absorpsi material ditentukan oleh koefisien absorpsi, yaitu banyaknya energi bunyi yang diserap dibandingkan keseluruhan energi bunyi yang mengenai permukaan.

-*Refleksi* (pemantulan)

Permukaan yang keras, padat dan rata merupakan material yang memantulkan hampir semua energi bunyi yang jatuh padanya. Gejala pemantulan ini hampir serupa dengan sifat cahaya yang dipantulkan yaitu apabila sinar datang dan pantul terletak dalam bidang datar yang sama maka sudut sinar pantul pada bidang datar adalah sama. Terdapat tiga medan bunyi akibat refleksi terkait dengan bentuk bidang refleksinya, yaitu :

- merata bila bunyi direfleksikan oleh bidang datar
- menyebar bila bunyi direfleksikan oleh bidang cembung
- memusat bila bunyi direfleksikan oleh bidang cekung.

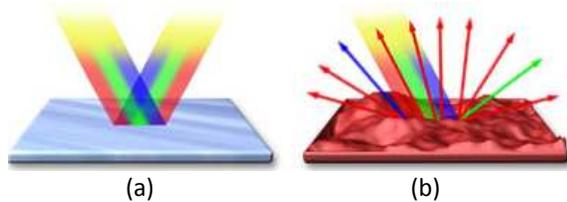
Hal ini dapat dilihat pada gambar 1.1



Gambar 1. Refleksi oleh bentuk permukaan yang berbeda

-Difraksi (hamburan)

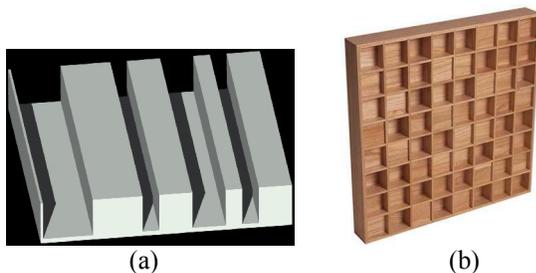
Hamburan merupakan hasil interaksi gelombang datang dengan permukaan yang keras atau tidak rata, sebaliknya pemantulan spekular terjadi apabila bunyi mengenai permukaan yang halus atau rata. Pada pantulan spekular gelombang bunyi datang mengenai suatu permukaan kemudian memantul ke satu arah sesuai dengan hukum Snellius (Gambar 2a), sedangkan pada hamburan gelombang bunyi yang datang mengenai suatu permukaan memantul ke segala arah (Gambar 2b). Hamburan terjadi saat panjang gelombang (λ) bunyi lebih besar daripada permukaan bidang pantul. [3]



Gambar 2. a) Peristiwa refleksi spekular dan b) Peristiwa hamburan.

Difuser

Difuser merupakan material akustik yang digunakan untuk memperbaiki penyimpangan suara dalam ruangan seperti gema. Difuser sebagai alternatif yang sangat baik untuk penyerapan suara karena tidak menghilangkan energi suara, tetapi efektif untuk mengurangi gema dan pemantulan sementara ruangan masih tetap terdengar hidup. Karakter difuser dapat dinilai dari berbagai besaran seperti koefisien difusi (d), koefisien hamburan (s) dan pola hamburan difuser [4]. *Maximum length sequence* 1 dimensi merupakan difuser yang terdiri dari permukaan dengan dua kedalaman yang berbeda yakni dengan kedalaman 0 dan 1. Angka satu (1) menunjukkan sebuah sumur, sedangkan angka nol (0) menunjukkan sebuah tonjolan. *Maximum Length Sequence* (MLS) 2 dimensi memiliki struktur yang sama dengan MLS 1D yaitu berstruktur kaku, dan namun terdiri dari sumur dengan kedalaman berbeda yang dipisahkan oleh dinding tipis [5].



Gambar 3. Gambar potongan diffuser MLS (a) satu dimensi; (b) dua dimensi

Sinyal

Sinyal adalah besaran fisis yang berubah menurut waktu, ruang, atau variabel-variabel bebas lainnya yang berisi informasi mengenai tingkah laku sebuah sistem. Secara matematis, sinyal merupakan fungsi dari satu atau lebih variabel bebas (*independent variable*).

Dalam penelitian, pengolahan menggunakan jenis sinyal diskrit maka transformasi juga dalam bentuk sinyal diskrit

yang dikenal dengan *DFT* (*Discret Fourier Transform*) atau *FFT* (*Fast Fourier Transform*) dapat digunakan untuk mengubah sinyal domain waktu $x(n)$ menjadi domain frekuensi $x(k)$. Persamaan *DFT* dituliskan:

$$x(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j(\frac{2\pi}{N}k)n} \tag{1.1}$$

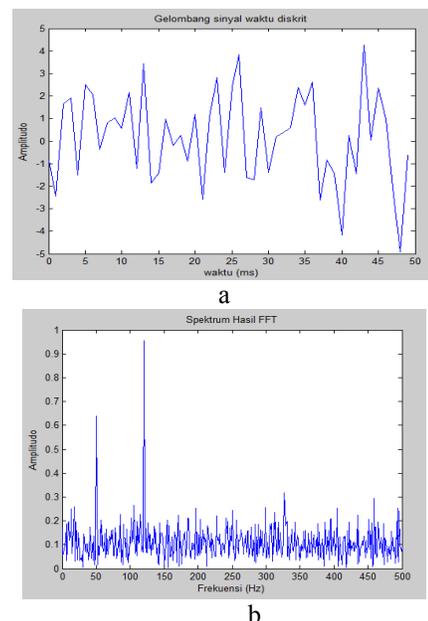
Invers *DFT* (*IDFT*) digunakan untuk mendapatkan kembali representasi sinyal diskrit dari domain frekuensi $x(k)$ ke dalam domain waktu $x(n)$. Secara matematis transformasi sinyal diskrit dari domain frekuensi ke domain waktu, dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$\begin{aligned} x(n) &= \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x(k) e^{j2\pi(\frac{n}{N})k} \\ &= \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \end{aligned} \tag{1.2}$$

dengan :

- $x(k)$ = data dalam sinyal domain frekuensi
- $x(n)$ = data dalam sinyal domain waktu
- n = data ke (1, 2, 3 ...)
- N = banyaknya data

Sinyal dalam domain waktu (Gambar 4a) kurang informatif karena tidak bisa mengetahui besarnya amplitudo/tekanan tiap waktu, maka perlu dilakukan transformasi Fourier pada persamaan 1.2 seperti yang diperlihatkan pada gambar 4b. Transformasi tersebut mengubah sinyal akustik menjadi bentuk *spectrum* frekuensi. Sehingga perubahan frekuensi tertentu terlihat lebih jelas [6].



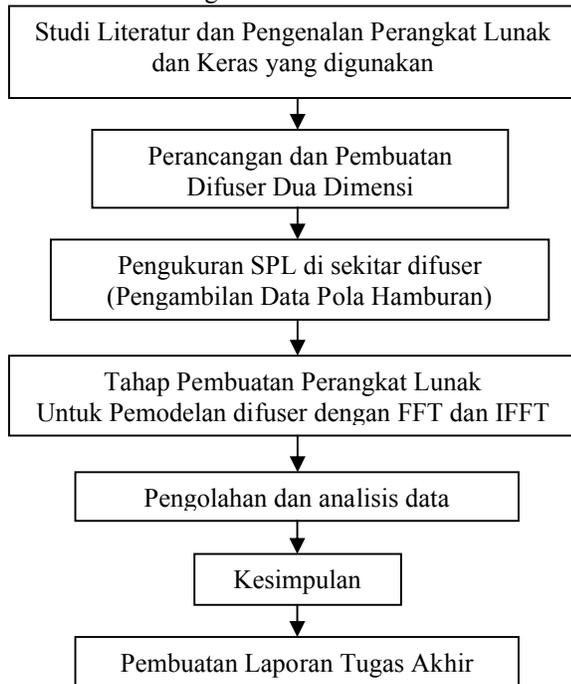
Gambar 4. Sinyal a) dalam domain waktu b) dalam domain frekuensi

II. METODE

Pada percobaan ini alat - alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *Personal Computer* berisi *software TrueRTA* yang berfungsi sebagai generator bunyi, *tone*, *white noise* dan *pink noise* dan *YMEC* (*Yoshimasa Electronic*)

berfungsi sebagai pengolah data SPL, SLM (*Sound Level Meter*), *amplifier*, speaker, perangkat lunak Matlab R2007b, tripod, stan mikrofon.

Flow Chart Sistem Pengambilan Data



Gambar 5. Diagram alir sistem pengambilan data

Dari hasil data pengukuran yang diperoleh, kemudian dapat dilakukan perhitungan besarnya koefisien difusi digunakan persamaan:

$$d_{\theta} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n 10^{L_i/10}\right)^2 - \sum_{i=1}^n \left(10^{L_i/10}\right)^2}{(n-1) \sum_{i=1}^n \left(10^{L_i/10}\right)^2} \quad (2.1)$$

dengan :

L_i = tekanan bunyi pantul difuser pada titik ke i (dB)

n = jumlah *receiver* (pengambilan data SPL dalam beberapa sudut ukur)

θ = sudut antara garis normal bidang difuser dengan sumbu speaker (data diambil 0°)



Gambar 6. Ruang uji penelitian

Data yang diperoleh disini adalah data *SPL* (dB), dengan rumusan:

$$L_i = L_d - L_{rd} \quad (2.2)$$

$$L_d = 10 \text{ Log} \left(\frac{P_d^2}{P_{ac}^2} \right) \quad (2.3)$$

$$L_{rd} = 10 \text{ Log} \left(\frac{P_{rd}^2}{P_{ac}^2} \right) \quad (2.4)$$

Dengan:

L_i = tekanan bunyi pantul difuser pada titik ke i (dB)

L_d = tingkat tekanan bunyi SPL dengan difuser (dB)

L_{rd} = tingkat tekanan bunyi SPL tanpa difuser (dB)

P_d^2 = tekanan kuadrat dengan difuser (pa)

P_{rd}^2 = tekanan kuadrat tanpa difuser (pa)

P_{ac}^2 = tekanan acuan ($2 \cdot 10^{-5}$ Pa)

dimana P^2 adalah antilog dari L

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengukuran SPL

Dalam pengukuran SPL suatu ruangan, sangat penting terlebih dahulu mengukur besarnya tingkat bising sekitar (*background noise*), hal ini bertujuan untuk menghindari hasil pengukuran akibat bising sekitar. Adapun data tingkat bising sekitar yang diperoleh ketika pengukuran yaitu dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1.
Data tingkat bising sekitar (*background noise*)

Frekuensi (Hz)	Tingkat bising sekitar (dB)
125	42,9 - 37,9
250	37,8 - 30,3
500	24,7 - 20,8
1000	20,1 - 16,7
2000	14,6 - 12,3
4000	13,6 - 12,2

Setelah melakukan pengukuran di ruang uji, didapatkan data SPL pada masing-masing titik ukur ketika pengukuran dengan difuser 2D dan tanpa difuser. Hasil pengukuran tingkat tekanan bunyi tanpa difuser dapat dilihat pada tabel 2. Hasil pengukuran tingkat tekanan bunyi dengan difuser dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 2.
Pengukuran SPL tanpa difuser (speaker) pada frekuensi 250 Hz dan sudut 0°

t (s)	Bunyi Datang	Bunyi Datang + Pantul	t (s)	Bunyi Datang	Bunyi Datang + Pantul
	SPLd (dB)	SPLdp (dB)		SPLd (dB)	SPLdp (dB)
1	89,56	96,09	17	89,9	96,7
2	89,46	96,27	18	89,1	96,41
3	89,29	96,01	19	89,98	96,13
4	89,79	96,33	20	89,97	96,9
5	89,42	96,18	21	89,85	96,91
6	89,59	96,2	22	89,95	96,48
7	89,22	96,69	23	89,35	96,37
8	89,19	96,35	24	89,18	96,87
9	89,91	96,44	25	89,4	96,34
10	89,19	96,56	26	89,11	96,04
11	89,39	96,99	27	89,79	96,46
12	89,49	96,94	28	89,47	96,02
13	89,13	96,39	29	89,95	96,27

14	89,18	96,77	30	89,34	96,11
15	89,28	96,38	31	89,59	96,23
16	89,07	96,75	32	89,6	96,08

B. Hasil perhitungan tekanan hamburan bunyi

Perhitungan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah menghitung bunyi yang dipantulkan oleh difuser 2D. Dimana tekanan bunyi yang ditangkap mikrofon saat pengukuran menggunakan difuser 2D diasumsikan sebagai bunyi pantul dan bunyi datang, sedangkan untuk pengukuran tanpa menggunakan difuser diasumsikan hanya sebagai bunyi datang sehingga selisih antara nilai dari tanpa dan menggunakan difuser 2D bisa diartikan sebagai nilai bunyi pantul dari difuser 2D (bunyi yang dihamburkan).

Proses perhitungan koefisien difusi d dimulai dari pengolahan data SPL. Data yang digunakan sebagai contoh yaitu data hasil pengukuran di ruang *semianechoic* Laboratorium Akustik Fisika ITS untuk titik ukur mikrofon 70 cm dari difuser 2D berbahan kayu dengan sudut 0^0 . Data tersebut dapat dilihat pada tabel 4.

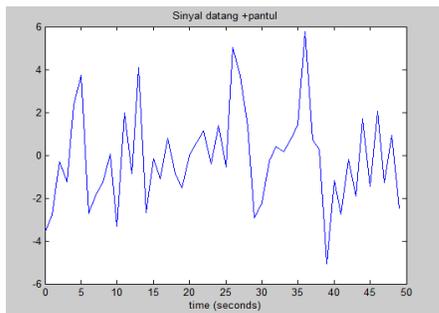
Tabel 3.

SPL bunyi datang (SPL_d) pada jarak 70 cm dari difuser kayu 2D (pada titik ukur 0^0) di ruang *semianechoic* Laboratorium Akustik Fisika ITS

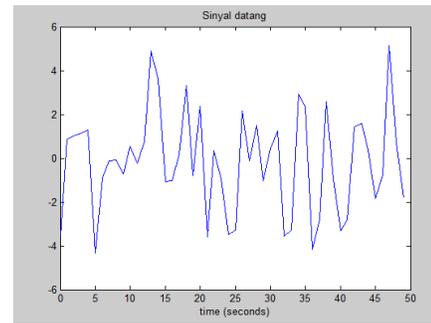
t (s)	Bunyi Datang	t (s)	Bunyi Datang
	SPL_d (dB)		SPL_d (dB)
1	89,56	17	89,9
2	89,46	18	89,1
3	89,29	19	89,98
4	89,79	20	89,97
5	89,42	21	89,85
6	89,59	22	89,95
7	89,22	23	89,35
8	89,19	24	89,18
9	89,91	25	89,4
10	89,19	26	89,11
11	89,39	27	89,79
12	89,49	28	89,47
13	89,13	29	89,95
14	89,18	30	89,34
15	89,28	31	89,59
16	89,07	32	89,6

C. Separasi sinyal

Dari tabel 4 selanjutnya digambar kurva sinyal bunyi datang + pantul dan bunyi datang dalam domain waktu (Lihat gambar 7)



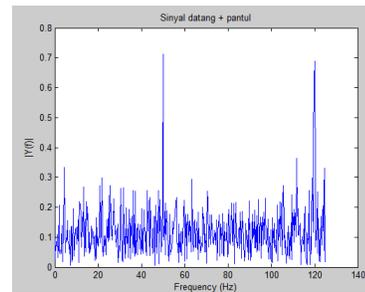
(a)



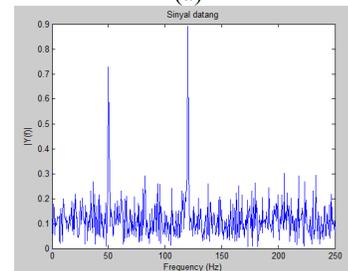
(b)

Gambar 7. Kurva sinyal dalam domain waktu: (a) bunyi datang + pantul; (b) bunyi datang, di ruang *semianechoic* Fisika Fmipa ITS dengan jarak 70 cm dari difuser kayu 2D.

Setelah didapatkan kurva pada gambar 7 dapat dilihat bahwa kurva sinyal dalam domain waktu bunyi datang dan bunyi datang + pantul belum dapat dianalisa sehingga langkah selanjutnya yaitu mengubah kurva bunyi datang + pantul dan bunyi datang dari domain waktu ke domain frekuensi (*FFT*) (Lihat gambar 8). Hal ini dilakukan agar mendapatkan bunyi pantul.



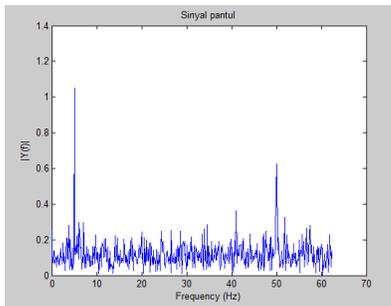
(a)



(b)

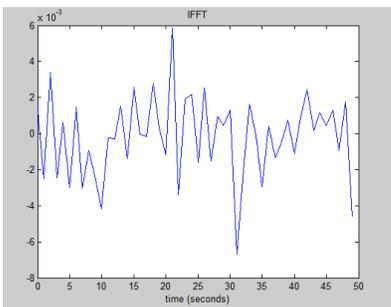
Gambar 8. Kurva sinyal dalam domain frekuensi (FFT): (a) bunyi datang + pantul; (b) bunyi datang, di ruang *semianechoic* Fisika FMIPA ITS dengan jarak 70 cm dari difuser kayu 2D.

Setelah didapatkan kurva hasil *windowing* dalam domain frekuensi, maka dapat dilakukan pemisahan sinyal dengan cara mengurangi hasil pada kurva sinyal datang+pantul dengan sinyal datang sehingga didapatkan kurva sinyal pantul saja seperti pada gambar 10.



Gambar 10. Kurva sinyal hasil pemisahan bunyi pantul dalam domain frekuensi di ruang *semianechoic* Fisika Fmipa ITS dengan jarak 70 cm dari difuser kayu 2D.

Sinyal bunyi pantul pada gambar 10 masih dalam domain frekuensi. Untuk mendapatkan nilai tekanan yang terjadi saat bunyi pantul maka perlu diubah kembali ke dalam domain waktu (IFFT), dan hasilnya dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. Kurva sinyal hasil pemisahan bunyi pantul dalam domain waktu di ruang *semianechoic* Fisika Fmipa ITS dengan jarak 70 cm dari difuser kayu 2D.

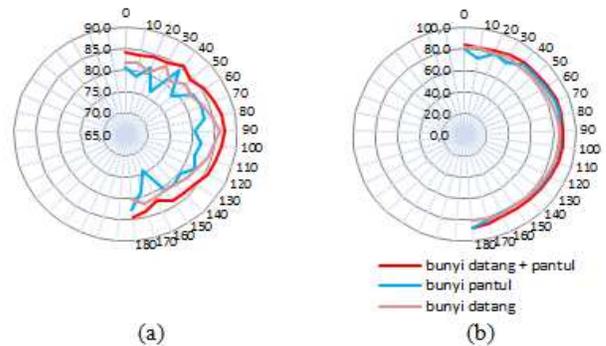
Sinyal bunyi pantul yang didapatkan pada gambar 11 masih dinyatakan dalam besaran P^2 sehingga perlu diubah dalam bentuk L_i . Salah satu karakter difuser ditunjukkan oleh besarnya koefisien difusinya. Dengan menggunakan metode separasi sinyal telah ditunjukkan langkah memperoleh besarnya SPL bunyi yang dipantulkan (L_i). Dengan menggunakan persamaan 2.1 – persamaan 2.4 didapatkan hasil perhitungan besarnya d_0 difuser kayu 2D dapat diperoleh. Hasil semua perhitungan koefisien difusi difuser kayu 2D dan difuser bubuk kertas 2D pada jarak pengukuran 70 cm dari difuser yang dilakukan di ruang *semianechoic* Laboratorium Akustik Fisika ITS

Tabel 4.
Hasil perhitungan koefisien difusi

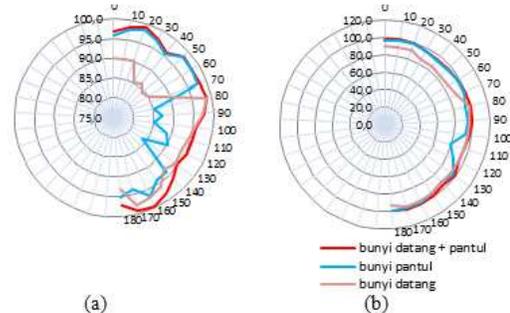
Koefisien Difusi	
Difuser Kayu 2D	Difuser Bubuk Kertas 2D
$0,312 \pm 0,008$	$0,319 \pm 0,007$

Berdasarkan hasil koefisien difusi yang diperoleh di atas, dapat disimpulkan bahwa difuser bubuk kertas 2D sama dengan difuser kayu 2D yaitu 0,3 artinya koefisien difusi tidak dipengaruhi oleh jenis bahan difuser yang digunakan. lebih menghamburkan bunyi. Dengan selisih koefisien difuser hanya 0,007 mengartikan bahwa dengan bahan yang berbeda dan bentuk yang sama, nilai koefisien difuser tidak terpengaruh besar oleh bahan difuser.

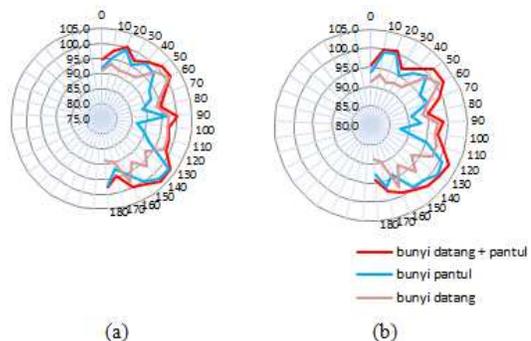
D.Pola hamburan difuser bubuk kertas 2d dan difuser kayu 2d



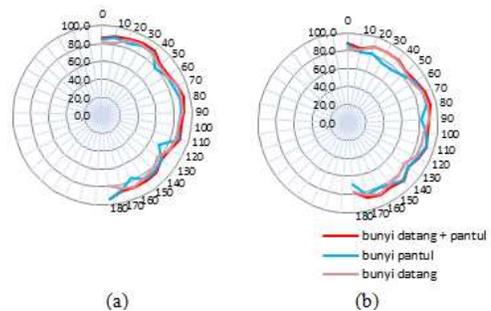
Gambar 11. Grafik polar (a) difuser kayu 2D; (b) difuser bubuk kertas 2D; yang diperoleh di Ruang Laboratoriun Akustik Fisika ITS pada jarak mikrofon 70 cm dari difuser dengan frekuensi 125 Hz.



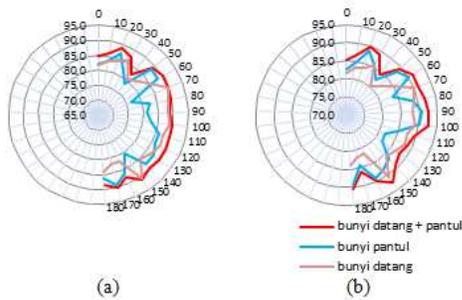
Gambar 12. Grafik polar (a) difuser kayu 2D; (b) difuser bubuk kertas 2D; yang diperoleh di Ruang Laboratoriun Akustik Fisika ITS pada jarak mikrofon 70 cm dari difuser dengan frekuensi 250 Hz.



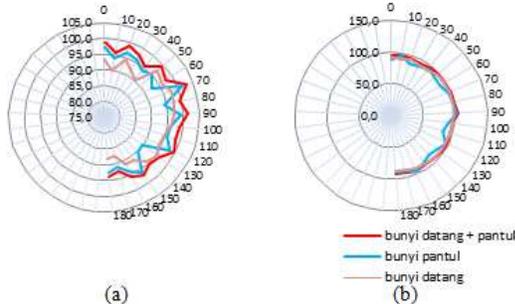
Gambar 13. Grafik polar (a) difuser kayu 2D; (b) difuser bubuk kertas 2D; yang diperoleh di Ruang Laboratoriun Akustik Fisika ITS pada jarak mikrofon 70 cm dari difuser dengan frekuensi 500 Hz.



Gambar 14. Grafik polar (a) difuser kayu 2D; (b) difuser bubuk kertas 2D; yang diperoleh di Ruang Laboratoriun Akustik Fisika ITS pada jarak mikrofon 70 cm dari difuser dengan frekuensi 1000 Hz.



Gambar 15. Grafik polar (a) difuser kayu 2D; (b) difuser bubuk kertas 2D; yang diperoleh di Ruang Laboratorium Akustik Fisika ITS pada jarak mikrofon 70 cm dari difuser dengan frekuensi 2000 Hz.



Gambar 16. Grafik polar (a) difuser kayu 2D; (b) difuser bubuk kertas 2D; yang diperoleh di Ruang Laboratorium Akustik Fisika ITS pada jarak mikrofon 70 cm dari difuser dengan frekuensi 4000 Hz.

Pada grafik polar yang ditunjukkan pada gambar 11 – 16 menunjukkan bentuk fluktuasi pola hamburan antara frekuensi 125, 250, 500, 1000, 2000 dan 4000 Hz. Pada grafik tersebut menunjukkan nilai SPL yang lebih besar dari pada difuser bubuk kertas 2D dengan pola hamburan yang hampir sama. Hal ini dapat disebabkan karena nilai koefisien difusi difuser bubuk kertas 2D ($0,319 \pm 0,007$) sama dengan difuser kayu 2D ($0,312 \pm 0,008$) yaitu bernilai 0,3.

Dapat dilihat pola persebaran bunyi yang terjadi tidak merata pada seluruh frekuensi. Untuk difuser bubuk kertas 2D hasil baik yaitu pada frekuensi 125, 250 dan 4000 Hz. Sedangkan untuk frekuensi tengah bunyi hamburan kurang merata. Hal ini dapat terjadi karena dipengaruhi oleh karakteristik jenis bahan difuser yang digunakan. Dari bubuk kertas yang digunakan, rongga yang dimiliki pada difuser ini lebih banyak dari pada yang dimiliki oleh kayu. Ini juga menentukan tipe difuser bubuk kertas 2D dan kayu 2D dapat digunakan untuk suatu ruangan dengan kriteria yang berbeda.

Dari penelitian yang dilakukan, dapat diketahui bahwa variasi bahan yang digunakan untuk difuser tidak mempengaruhi besarnya nilai koefisien difusi, melainkan dapat mengetahui bahan tersebut bisa digunakan dengan ruang berkriteria tertentu. Seperti halnya difuser 2D bahan bubuk kertas dengan kriteria berupa daya absorber yang lebih besar dari pada daya pantulan dapat digunakan sebagai peredam sedangkan untuk difuser 2D bahan kayu dengan kriteria daya pantul yang lebih besar dapat digunakan sebagai pemantul bunyi untuk suatu ruangan dengan kriteria tertentu.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil percobaan dengan judul “Pengaruh Variasi Jenis Bahan terhadap Pola Hamburan Difuser MLS (*Maximum Length Sequence*) Dua Dimensi” maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Besarnya koefisien diffuser kayu dan bubuk kertas 2D memiliki nilai yang sama. Yaitu $0,312 \pm 0,008$ untuk diffuser kayu 2D dan $0,319 \pm 0,007$ untuk diffuser bubuk kertas 2D
2. Besarnya koefisien difusi hanya bergantung pada bentuk dimensinya, namun tidak bergantung dengan jenis bahan.
3. Pola hamburan yang terjadi pada difuser kayu dan bubuk kertas sama pada frekuensi 500, 1000 dan 2000 Hz. Tetapi pada frekuensi 125, 250 dan 4000 Hz pola hamburan difuser bubuk kertas 2D lebih merata dari pada difuser kayu 2D.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Dr. Melania Suweni Muntini, MT. dan Ibu Susilo Indrawati, M.Si. selaku dosen pembimbing dan semua pihak yang terlibat dalam penelitian tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D’Antonio P, TJ Cox, 2004, “*Acoustic absorbers and difuser : theory, design and application*”, Spoon Press : London
- [2] Kurniawan F., 2013, Tugas Akhir : “Pengaruh Variasi Jenis Bahan Terhadap Pola Hamburan Pada Difuser MLS (*Maximum Length Sequences*) dan QRD (*Quadratic Residue Diffuser*)”, ITS-Surabaya
- [3] Indrawati S., 2011, “Karakterisasi Difuser dengan Menggunakan Model Separasi Sinyal Akustik”, ITS-Surabaya
- [4] Everest Alton F, Ken. C Pohlmann, 2009, “*Master Handbook of Acoustic*”, McGraw-Hill : 257-259
- [5] Werner Hans, S., 1981, “*More on the diffraction theory of Schroeder diffusors*”, J. Acoust. Soc. Am. 70,633
- [6] Proakis John G, Manolakis, 2007, “*Digital Sinyal Processing*”, edisi 4, Prentice Hall, New Jersey : 34-35.