

Pengaruh Sisipan Resonator Jamak Terhadap Serapan Dan Respon Spasial Pada *Primitive Roots Diffuser* (PRD)

Fahrudin Ahmad*, Harjana, Suparmi, Iwan Yahya†

Program Studi Ilmu Fisika

Program Pascasarjana- Universitas Sebelas Maret (UNS)

Jl. Ir. Sutami 36A Ketingan, Surakarta 57126

*E-mail: fahrudinahmadfis@gmail.com

Diterima (12 Maret 2014), direvisi (24 Maret 2014)

Abstract. The influence of insertion a quarter-wavelength resonator on the sound absorption coefficient and spatial response of primitive roots diffuser has been done both by experimentally and computer simulation. Laboratory work has been done by using reverberation time methode, while AFMG Reflex has been utilized for simulation purposes. The results shows that quarter-wavelength resonator insertion bring accumulative increment of the sound absorption coefficient on the high frequency range above 600Hz. In addition, a significant omnidirectional spatial response also occur when the quarter-wavelength resonator is inserted into standar QRD. Those phenomenon not occured on the lower frequency band due to the resonator depth that very small compared to the wavelength of the waves at low frequency band.

Keywords. PRD, Skyline, reverberation time, respon spasial

Intisari. Telah dilakukan analisis pengaruh sisipan rangkaian resonator seperempat panjang gelombang terhadap perubahan kinerja serapan dan respon spasial *primitive roots diffuser*. Pengujian serapan elemen diffuser dilaksanakan dengan menggunakan metode *reverberation time*, sementara simulasi respon spasial dikerjakan dengan menggunakan perangkat lunak AFMG Reflex pada dua kondisi berbeda. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sisipan rangkaian resonator seperempat panjang gelombang jamak pada rancangan standar QRD dapat memicu peningkatan koefisien serapan yang bersifat akumulatif dan berdampak pada peningkatan respon spasial omnidireksional pada bintang frekuensi tinggi di atas 600Hz. Sifat yang demikian menunjukkan bahwa QRD standar dengan sisipan rangkaian resonator seperempat panjang gelombang memiliki potensi yang sangat baik untuk aplikasi pada ruangan.

Kata Kunci. PRD, Skyline, waktu dengung, respon spasial.

PENDAHULUAN

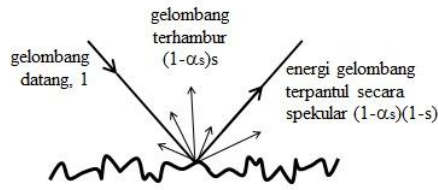
Ruang seminar pada umumnya membutuhkan desain ruang akustik yang memiliki waktu dengung yang cukup tinggi.

Hal ini bisa dilakukan dengan

menambahkan material akustik seperti material reflektor. Akan tetapi penggunaan materi-al reflektor ini dapat menyebabkan terjadinya gema. Untuk mengatasi hal ini, maka digunakan material akustik berupa difuser. Difuser merupakan material akustik yang keras dan memiliki permukaan yang tidak rata serta memiliki fungsi untuk

*Corresponding author:

E-mail: fahrudinahmadfis@gmail.com



Gambar 1. Peristiwa terhamburnya gelombang

menghamburkan bunyi. Penggunaan difuser dapat meningkatkan waktu dengung tanpa menyebabkan gema dan distribusi SPL yang merata karena diffuser tidak mengurangi energi bunyi yang datang.

Pemakaian *diffuser* untuk maksud peningkatan kualitas akustik ruangan telah berlangsung dalam waktu relatif lama khususnya untuk pengendalian bunyi di frekuensi rendah. Prinsip kerja *diffuser* berkaitan dengan reduksi fraksi energi gelombang yang dipantulkan secara spekular akibat adanya sebagian energi bunyi yang dihamburkan oleh permukaan benda. Tiga aspek yang harus diperhatikan ketika membuat *diffuser* yaitu koefisien absorpsi, koefisien difusi dan koefisien hamburan (T.J. Cox dan J. Acoust, 2005).

Koefisien hamburan adalah perbandingan antara energi yang terpantul secara acak dan terpantul secara total dengan kata lain terhambur serta spekular, nilai koefisien hamburan berkisar antara 0 dan 1 (Widakdo dan Prajitno, 2011).

Gelombang datang pada permukaan kasar akan terhambur dan terpantul spekular, seperti pada gambar 1.

Persamaan koefisien hamburan didapatkan dari persamaan sebagai berikut:

$$S = \frac{E_{scat}}{E_{pantul\ total}}$$

$$= \frac{E_{pantul\ Total} - E_{Spek}}{E_{pantul\ Total}}$$

$$= 1 - \frac{E_{spek}}{E_{pantul\ total}} \quad (1)$$

dengan E_{spek} dan $E_{pantul\ total}$ merupakan energi bunyi yang terpantul secara spekular, diperoleh:

$$E_{spek} = (1 - \alpha_s)(1 - s) \equiv (1 - \alpha_{spek}) \quad (2)$$

Dan

$$E_{pantul\ total} = 1 - \alpha_s \quad (3)$$

dalam hal ini (S) merupakan koefisien hamburan, α_s adalah koefisien serapan dan α_{spek} adalah koefisien serapan spekular.

Paper ini menyajikan hasil dari modifikasi desain yang berbeda yakni pengaruh sisipan resonator jamak seperempat panjang gelombang terhadap pengujian waktu dengung dengan kinerja serapan bunyi elemen diffuser. Pilihan pada pemakaian resonator jamak didasarkan pertimbangan fungsional dari rancangan yang dikembangkan (T.J. Cox and P.D. Antonio, 2004).

Diffuser merupakan material akustik yang digunakan untuk memperbaiki penyimpangan suara dalam ruangan seperti gema. Di bandingkan dengan menggunakan dinding pemantul yang menyebabkan sebagian besar energi dipantulkan pada sudut yang sama dengan sudut datang, *diffuser* akan menyebabkan energi bunyi akan terpancar ke berbagai arah, sehingga membuat ruangan lebih difusif (Hans, 1981).

Penggunaan QRD bertujuan untuk menyebarkan gelombang suara dengan menggunakan permukaan yang luas dan penyerapan yang ekstra. Koefisien serap QRD dalam berbagai bentuk dan kombinasi diukur dalam *Reverberation Room* (ruang gema). Variasi penting dalam penyerapan bunyi dapat diamati ketika bentuk dari

QRD berubah terutama pada bentang frekuensi rendah pada bentang frekuensi di bawah frekuensi desain QRD. *Diffuser* ini didesain untuk menyerap kebisingan pada rentang frekuensi rendah. Metode yang telah digunakan untuk menjelaskan dan memprediksi penyerapan unit QRD adalah berdasarkan pada tekanan bunyi konstan pada bidang *diffuser* dan rata-rata suara yang masuk pada permukaan (Jianbin et al, 2006).

Bunyi yang mengenai permukaan *diffuser* akan terpantul dari dasar sumur dan akhirnya terpantul kembali ke ruang. Hal ini dapat dianggap bahwa tidak ada energi yang hilang pada *diffuser*, karena semua bunyi yang datang akan dipantulkan kembali ke ruang. Semua gelombang bunyi yang terpantul ini memiliki jumlah energi yang sama tetapi fasenya berbeda. Hal ini dikarenakan perbedaan jarak yang ditempuh tiap gelombang bunyi mengenai bagian-bagian dari *diffuser* yang berbeda-beda. Dengan demikian agar hamburan dapat terjadi maka pemilihan kedalaman sumur menjadi sesuatu yang penting (Cox dan D'Antonio, 2004).

Diffuser QRD merupakan *diffuser* yang berstruktur kaku, terdiri dari kedalaman berbeda dan dipisahkan oleh dinding tipis. *Quadratic Residue Diffuser* ini juga mempunyai 2 tipe yaitu satu dimensi dan dua dimensi. *Diffuser* satu dimensi menghamburkan bunyi hanya pada bidang yang tegak lurus dengan sumur sedangkan dua dimensi menghamburkan bunyi datang ke berbagai arah (*omnidirectional*) arah (Cox and D'Antonio, 2004).

Tabel 1. Kedalaman *Quadratic Residue Diffuser*

4	6	3	2	3	6	4	4	6	3	2
6	1	5	4	5	1	6	6	1	5	4
3	5	2	1	2	5	3	3	5	2	1
2	4	1	0	1	4	2	2	4	1	0
3	5	2	1	2	5	3	3	5	2	1
6	1	5	4	5	1	6	6	1	5	4
4	6	3	2	3	6	4	4	6	3	2
4	6	3	2	3	6	4	4	6	3	2

Pada *Quadratic Residue Diffuser* (QRD) cara menentukan kedalaman difuser dengan menggunakan Tabel (1).

Sedangkan untuk menentukan panjang elemen *diffuser*:

$$S_n = n^2 \bmod N \quad (4)$$

dengan $n = 0, 1, 2, 3, \dots, N-1$ dan N adalah banyaknya sumur (bilangan prima). dimana "mod" menunjukkan modulo yaitu sedikitnya sisa yang tidak negatif dan N adalah pembangkit bilangan yang merupakan bilangan pokok dan juga menunjukkan jumlah sumur dalam satu periode. *Schroeder diffusers* bekerja pada kelipatan bilangan bulat dari desain frekuensi. Desain frekuensi normal diatur pada batas frekuensi rendah.

Kedalaman sumur *diffuser* sangat berpengaruh terhadap hamburan gelombang bunyi. Penentuan kedalaman sumur *diffuser* dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$dn = \frac{S_n \lambda_o}{2N} \quad (5)$$

dengan dn yaitu kedalaman per elemen sumur *diffuser*, λ_o yaitu panjang gelombang bunyi.

Selain itu, lebar sumur *diffuser* (w) juga berpengaruh terhadap frekuensi gelombang bunyi yang akan dihamburkan. Untuk menentukan lebar sumur *diffuser* digunakan persamaan berikut:

$$w = \frac{1}{2} \lambda_{min} \quad (6)$$

dengan λ_{min} adalah panjang gelombang minimum.

Jika dikaitkan dengan panjang gelombang (λ), maka dapat diperoleh persamaan :

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (7)$$

dengan v adalah kecepatan bunyi di udara dan f adalah frekuensi desain.

Ragam *diffuser* telah berkembang pesat. Modifikasi permukaan umumnya menjadi teknik yang dipilih untuk tujuan optimasi kinerja serapan (I. Yahya dan Harjana, 2013).

Pendekatan lain untuk tujuan modifikasi orientasi hamburan telah pula berkaembang. Diantaranya adalah dam-pak penempatan sejumlah silinder di depan *diffuser* dan variasi konfigurasi *diffuser* jamak terhadap efek difusi dan hamburan yang terjadi (M.A. Pogson., et al., 2010).

Hal baru yang dilakukan dalam penelitian ini adalah memberikan sisipan resonator pada permukaan *diffuser*. Hal ini merujuk pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh A. Sadamoto dan Y. Murakami, bahwa *multi-Helmholtz resonator* memberikan efek yang baik bagi pengurangan bising dan dapat meningkatkan *bandwith* penyerapan.

Setiap ruangan membutuhkan waktu dengung berbeda-beda tergantung dari penggunaannya. Waktu dengung yang terlalu pendek akan menyebabkan ruangan mati, sebaliknya waktu dengung yang panjang akan memberikan suasana hidup pada ruangan (Prasasto, 2007)

Waktu dengung (Reverberation Time) dapat dihitung menggunakan persamaan *sabine*:

$$RT = \frac{0,16V}{A} \quad (8)$$

Dimana:

RT : waktu dengung (s)

V : volume ruang (m^3)

A : penyerapan ruang total (sabin)

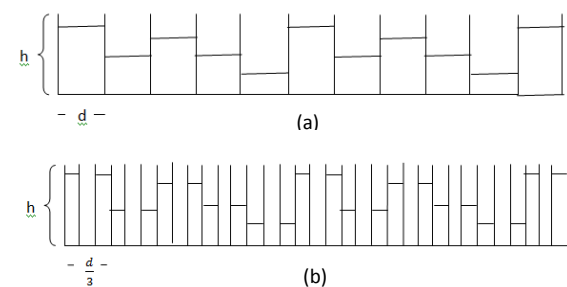
Pembahasan paper ini didasarkan pada respon struktur rancangan QRD termodifikasi. Kinerja serapan elemen *diffuser* dianalisis menggunakan metode *reverberation time*, sementara itu simulasi

perhitungan koefisien hamburan dan difusi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak AFMG Reflex.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, model elemen *diffuser* disajikan dalam Gambar 2. Dalam hal ini elemen pada QRD standar dimodifikasi dengan cara menyisipkan resonator pada permukaannya. Dengan demikian, konfigurasi dasar QRD dengan satu elemen berubah menjadi QRD termodifikasi dengan tiga elemen dimana tiap elemen, terkecuali pada elemen yang mempunyai posisi maksimal {0}. Selanjutnya, Gambar 2.b menjelaskan bahwa sisipan resonator jamak pada tiap elemen kecuali elemen yang bernilai maksimal, sehingga N pada QRD berubah menjadi N:30.

Elemen *diffuser* dibuat dari bahan *Styrofoam* dengan ketebalan 3 cm. Konfigurasi resonator jamak yang dikembangkan dari *diffuser* standar yang membentuk *diffuser* termodifikasi dengan elemen berukuran 8 cm x 8 cm berbentuk persegi dengan ukuran panjang dan lebar bantalan papan *diffuser* 40 cm dan 64 cm. Diameter lubang resonator 3 cm, sementara sumur *diffuser*nya sendiri memiliki jari-jari 4 cm.



Gambar 2. Pemodelan Struktur *diffuser* (a) konfigurasi standar QRD N:11 tanpa sisipan resonator, (b) *Diffuser* dengan sisipan resonator jamak dengan permukaan termodifikasi.

Pemodelan yang digunakan dalam diffuser sejenis dengan $N = 11$ sehingga diperoleh urutan kedalaman sumur diffuser adalah { 46323644632 }.

Gambar (2b) diatas adalah modifikasi QRD, dimana untuk menentukan panjang dari elemen *diffuser* (QRD) ini dapat mengikuti persamaan (1) diatas.

Sedangkan untuk menentukan kedalaman sumur *diffuser* modifikasi, digunakan persamaan (5) diatas dengan mengkalikan matriks [1,0,1,] sehingga dari persamaan (5) diatas didapatkan persamaan baru:

$$dn = \frac{S_n \lambda_0}{2N} [1,0,1] \quad (9)$$

dengan dn adalah kedalaman per elemen sumur *diffuser*, λ_0 panjang gelombang dan nol adalah maximum depth pada konfigurasi QRD.

Pengkalian matriks [1,0,1] merupakan persamaan baru untuk menghitung kedalaman per elemen sumur diffuser untuk QRD modifikasi pada penelitian ini.

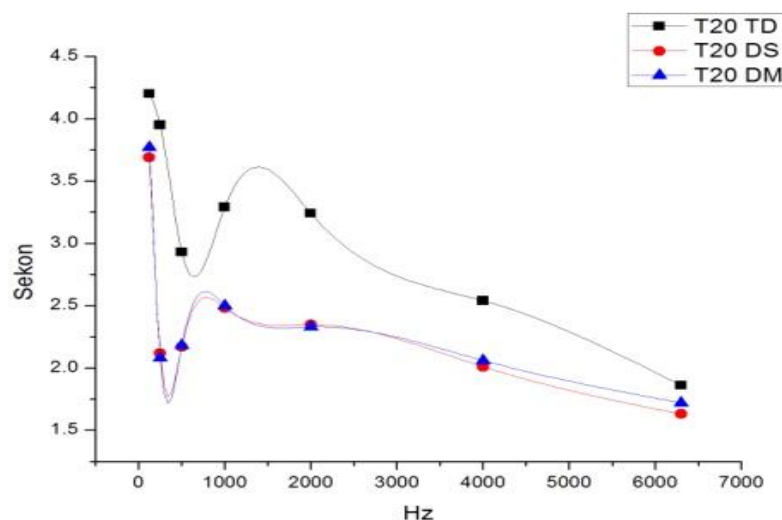
Model sintetik QRD standar dan QRD yang dimodifikasi dengan sisipan elemen resonator jamak dibangun menggunakan perangkat lunak AFMG Reflex. Sama halnya dengan analisis terhadap koefisien serap.Hasilnya disajikan pada Gambar 3.

Dengan menggunakan model tersebut kemudian dilakukan analisis terhadap respon spasial rancangan pada orientasi sudut sebesar 0° dan 90° terhadap sumber bunyi pada tiga frekuensi berbeda masing-masing 500 Hz, 1 kHz, dan 2 kHz.

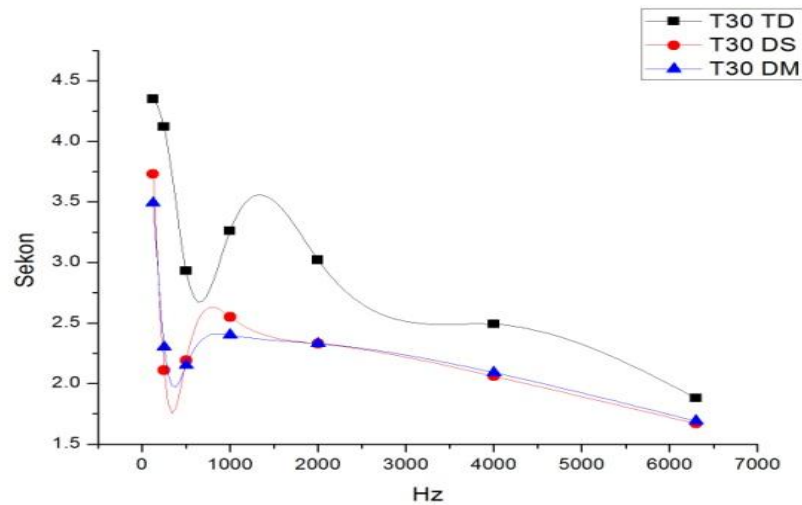
HASIL DAN PEMBAHASAN

Reverberation time (Waktu dengung) terhadap koefisien Serapan

Nilai koefisien serapan elemen *diffuser* disajikan pada Grafik dibawah ini. Dalam hal ini terdapat kondisi pengujian yang berbeda berkaitan dengan orientasi sudut dan modifikasi permukaan *diffuser*.



Gambar (3) grafik hubungan T_{20} pada pengujian pada ruangan tanpa diffuser, diffuser standart, dan diffuser modifikasi pada orientasi 0° .



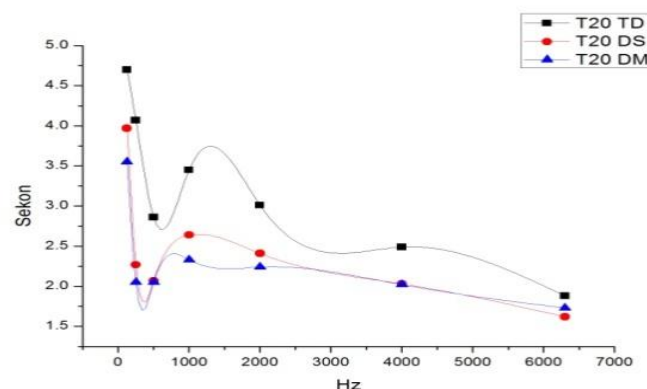
Gambar (4) grafik hubungan T_{30} pada pengujian pada ruangan tanpa diffuser, diffuser standart, dan diffuser modifikasi pada orientasi 0° .

Pada grafik (3) di atas adalah grafik hubungan antara waktu dengung (T_{20}) terhadap frekuensi dengan variasi pengujian *diffuser* pada orientasi 0° .

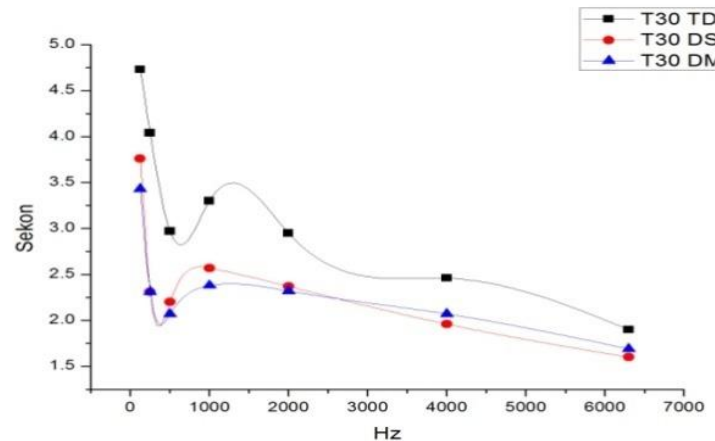
Berdasarkan hasil eksperimen, nilai waktu dengung (T_{20}) pada ruangan tanpa *diffuser* adalah 2,93 sekon pada bentang frekuensi 500-1000 Hz. Pada *diffuser* standar pada bentang frekuensi 250-500 Hz besarnya waktu dengung adalah 2,12 sekon, dan untuk *diffuser* modifikasi nilai waktu dengung 2,08 sekon pada bentang frekuensi 250-500 Hz.

Sedangkan pada Grafik (4) di atas adalah grafik hubungan antara Waktu dengung T_{30} terhadap frekuensi dengan variasi pengujian *diffuser* pada orientasi 0° .

Pada grafik diatas, besarnya nilai waktu dengung (T_{30}) pada ruangan tanpa *diffuser* 2,93 sekon pada bentang frekuensi 500-1000 Hz. Pada *diffuser* standar pada bentang frekuensi 250-500 Hz besarnya waktu dengung 2,11 sekon, dan untuk *diffuser* modifikasi nilai waktu dengung 2,15 sekon pada bentang frekuensi 250-500 Hz.



Gambar (5) grafik hubungan T_{20} pengujian pada ruangan tanpa *diffuser*, *diffuser* standart, dan *diffuser* modifikasi pada orientasi 90° .



Gambar (6) grafik hubungan T_{30} pada pengujian pada ruangan tanpa *diffuser*, *diffuser* standart, dan *diffuser* modifikasi pada orientasi 90° .

Pada grafik (5) di atas adalah grafik hubungan antara waktu dengung (T_{20}) terhadap frekuensi dengan variasi pengujian *diffuser* pada orientasi 90° .

Dari grafik diatas, nilai waktu dengung (T_{20}) pada ruangan tanpa *diffuser* 3 sekon pada bentang frekuensi 250-1000 Hz. Pada *diffuser* standar pada bentang frekuensi 250-500 Hz besarnya waktu dengung 1,97 sekon, dan untuk *diffuser* modifikasi nilai waktu dengung 2,17 sekon pada bentang frekuensi 250-500 Hz.

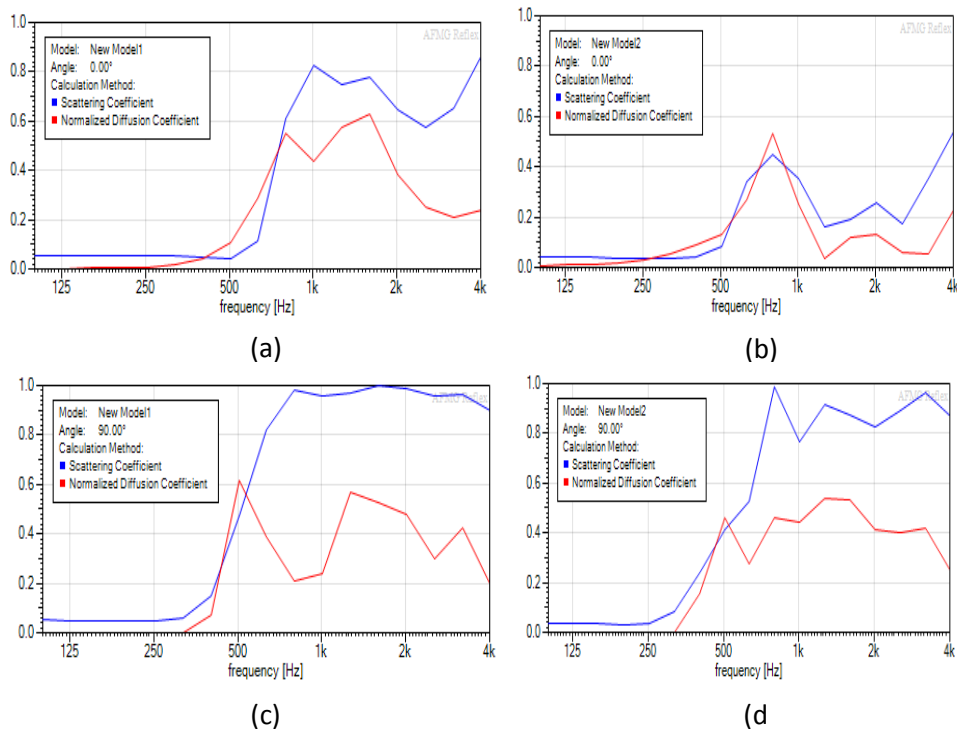
Pada grafik (6) di atas adalah grafik hubungan antara waktu dengung (T_{30}) terhadap frekuensi dengan variasi pengujian *diffuser* pada orientasi 90° .

Grafik diatas menunjukkan bahwa besarnya nilai waktu dengung (T_{30}) pada ruangan tanpa *diffuser* 3,11 sekon pada bentang frekuensi 500-1000 Hz. Pada *diffuser* standar pada bentang frekuensi

250-1000 Hz besarnya waktu dengung 2,14 sekon, dan untuk *diffuser* modifikasi nilai waktu dengung 2,17 sekon pada bentang frekuensi 250-500 Hz.

Plot koefisien *scattering* dan normal difusi terhadap frekuensi

Peningkatan serapan di bentang frekuensi tinggi terpicu oleh dua hal berbeda. Pada keadaan *diffuser* standart kenaikan serapan disumbangkan oleh penigkatan luas bidang serapan sebesar dua kali lipat dibandingkan dengan keadaan *diffuser* modifikasi. Sementara itu mekanisme berbeda terjadi pada saat resonator jamak yang terpasang memiliki respon sebagai resonator seperempat panjang gelombang yang menyebabkan peningkatan serapan yang bersifat akumulatif bersama mekanisme redaman viskous pada bentang frekuensi tinggi.



Gambar (7). Grafik hubungan antara nilai koefisien *scattering* dan koefisien difusi normal terhadap frekuensi dari perangkat lunak AFMG Reflex

Dari hasil pemodelan *diffuser* diperoleh grafik hubungan frekuensi dengan koefisien *scattering* dan koefisien difusi normal secara otomatis. Pada gambar 7.a yakni nilai puncak koefisien difusi normal dari *Diffuser* standart dengan sudut 0° sebesar 0,387 di frekuensi 2 kHz sedangkan untuk koefisien *scattering* yakni 0,646 di frekuensi 2 kHz. Puncak dari nilai koefisien difusi normal dan *scattering* untuk sudut 0° pada *diffuser* modifikasi yang disajikan pada gambar 7.b sebesar 0,082 pada frekuensi 500 Hz dan 0,132 pada frekuensi 2 kHz, dan 0,538 pada frekuensi 4 kHz. Gambar 7.c menyajikan hasil nilai puncak koefisien difusi normal dengan sudut 90° pada *diffuser* standart yaitu 0,480 pada frekuensi 2 kHz sedangkan nilai koefisien *scattering* sebesar 0,988 pada frekuensi 2 kHz. Pada gambar 7.d menyajikan nilai puncak koefisien difusi normal dengan sudut 90° pada *diffuser* modifikasi sebesar 0,417 di frekuensi 2kHz dan nilai koefisien

scattering sebesar 0,829 di frekuensi 2 kHz dan 0,869 di frekuensi 4 kHz.

Pada gambar (7) terlihat secara keseluruhan kinerja difusi normal dan koefisien *scattering* dari hasil respon spasial *diffuser* dengan frekuensi 500 Hz, 1kHz, dan 2kHz. Bahwa kinerja difusi normal pada sudut 90° dengan hasil respon spasial pada frekuensi 2kHz lebih tinggi dibandingkan sudut 0° yakni sebesar 0,417 pada frekuensi 2000 Hz. Kinerja nilai koefisien *scattering* sebesar 0,829 pada frekuensi 2000 Hz dengan sudut 90° . Kinerja koefisien difusi normal dan *scattering* pada elemen *diffuser* modifikasi lebih baik pada frekuensi tinggi dikarenakan lebar dari sumur. Apabila lebar sumur sempit maka *diffuser* berdifusi pada frekuensi tinggi. Sebaliknya, jika sumur lebar maka pada frekuensi tinggi sampel akan merefleksikan gelombang datang. Peningkatan nilai koefisien hamburan di bentang frekuensi tinggi memberikan

penjelasan yang menguatkan penjelasan tentang mekanisme pemicu bertambahnya nilai koefisien serapan pada frekuensi tinggi diatas 600 Hz sebagaimana yang diperoleh dalam pengujian menggunakan *reverberation time*.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium terhadap elemen *diffuser* yang dikembangkan, dapat disimpulkan bahwa teknik sisipan resonator jamak dapat memberikan peningkatan kinerja serapan yang bersifat *akumulatif* dan signifikan serta pada saat yang bersamaan dapat memunculkan respon spasial *omni-directional* yang baik pada bentang frekuensi rendah. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa rancangan *diffuser* dengan sisipan resonator jamak memiliki potensi yang baik untuk aplikasi pada kondisi dimana terdapat bising yang diakibatkan oleh mesin, peralatan industri maupun peralatan elektronik yang dapat menimbulkan kebisingan.

Berdasarkan hasil penelitian modifikasi penempatan resonator jamak pada konstruksi *diffuser* mempengaruhi nilai waktu dengung pada frekuensi tertentu. Pada frekuensi rendah *diffuser* modifikasi mempunyai nilai koefisien serapan bunyi lebih baik daripada *diffuser* standar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim kerja IARG Universitas Sebelas Maret Surakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- A.Sadamoto.,Y. Murakami, (2003). International Journal of Rotating Machinery, 9, 239-246.
- AFMG Reflex, (2011). New Tools for the Design and Application of Diffuser.
- Hans, W.S. J. Acoust. Soc. Am., (1981). More on the diffraction theory of Schroeder diffusers, 70, 633.
- I. Yahya and Harjana, (2013). New sound absorption improvement strategy for QRD element, Proceeding of 20th International Conference on Sound and Vibration, ICSV20, Bangkok.
- M.A. Pogson., et al., (2010). J. Acoust. Soc. Am., 128 (3), 1149-1154.
- T.J. Cox, (1995). J. Acoust. Soc. Am., 97 (5), 2928-2941.
- T.J. Coc and P.D. Antonio, (Spon Press, 2004). Acoustics Absorbers and Diffusers, Theory, Design and Application.
- Widakdo, H., dan Prajitno G, (2011). Pengaruh lebar difuser terhadap pola hamburan dengan tipe diffuser 0101010101. Jurnal, Jurusan Fisika FMIPA ITS.
- Y. Jianbin., S. Yong, and Wang H, (2006). J. Acoust. Soc. Am., 119, 3546-3548.

