

Insertion Loss Inspection of Airflow Noise by Tuned-Side Branch Resonator Application at Limited Room

I Made Miasa^{1,*}, Sucipto¹ dan Ardi Wiranata¹

¹Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta

*Korespondensi: miasa@ugm.ac.id

Abstract. Air flow inside pipe at certain velocity or flow rate causes air flow noise. Noise generated from air flow increases when the flow passes inside diameter enlargement/reduction or fittings (valves and joints). Air flow noise causes hearing loss and reducing comfort and productivity of worker. This study reduces noise generated by flow inside pipe is done using tuned-side branch resonator (t-SBR). Tuned-side branch resonator is designed at tuning frequency that based upon air flow noise spectrum. Resonator is designed to have compact form thus enabling installation at limited room while effective to reduce dominant noise without disturbing flow velocity. t-SBR performance is assessed by insertion loss (IL) quantity. Air flow on this study is set at 6,7 m/s inside a 3-inch diameter pipe. Noise level measurement is done at 70 cm and 150 cm height variation measured from ground with 5 and 6 measurement points forming 100 cm-radius half-circle located on pipe opening. Measurement at 70 cm-height opening variation is done at semi anechoic room. Noise spectrum measurement shows two dominant peaks at frequency of 266 Hz and 539 Hz. Installation of one 266 Hz tuning frequency t-SBR yields average IL of 3 dB, and installation of one 539 Hz t-SBR yields average IL of 6 dB at 70 cm height variation. Measurement at 150 cm height variation with identical setup yields average IL of 3,5 and 3,8 dB. At the same flow velocity, installation of two t-SBR of two different tuning frequency simultaneously with circling configuration yields IL of 6,4 dB and 5 dB at each of 70 cm and 150 cm measurement. This study concludes that the usage of t-SBR is effective and efficient to reduce noise level at peak frequency of air flow noise without requiring large room for installation.

Abstrak. Aliran udara di dalam pipa dengan kecepatan atau debit tertentu dapat menimbulkan kebisingan (*air flow noise*). Kebisingan dari aliran udara meningkat ketika saluran mengalami perubahan diameter atau aliran melawati hambatan (belokan dan *valve*). Kebisingan dapat menimbulkan gangguan kesehatan pendengaran, konsentrasi pekerja dan kenyamanan. Pada penelitian ini pengurangan kebisingan akibat aliran di dalam pipa dilakukan dengan menggunakan *tuned-Side Branch Resonator (t-SBR)*. *Tuned-side branch resonator* didesain dengan *tuning frequency* berdasarkan *noise spectrum* aliran udara. Resonator didesain dengan bentuk yang *compact* sehingga dapat digunakan pada ruangan terbatas dan efektif menurunkan *dominant noise* tanpa mengganggu kecepatan aliran. Kinerja dari *t-SBR* dikuantifikasi dengan nilai *Insertion Loss (IL)*. Pada penelitian ini udara dialirkan pada pipa berdiameter 3 *inch* dengan kecepatan aliran sebesar 6,7 m/s. Pengukuran tingkat kebisingan dilakukan dengan dua variasi ketinggian yaitu 70 cm dan 150 cm dari lantai dengan masing-masing 5 dan 6 titik pengukuran membentuk pola setengah lingkaran dengan radius 100 cm dari *opening* pipa. Pada penelitian ini ketinggian *opening* pipa dari lantai adalah 70 cm dan pengukuran dilakukan di ruang *semi anechoic*. Pengukuran *noise spectrum* menunjukkan dua *dominant peak* yaitu pada frekuensi 266 Hz dan 539 Hz. Pemasangan satu *t-SBR* dengan *tuning frequency* 266 Hz menghasilkan *IL* rata-rata sebesar 3 dB dan pemasangan satu *t-SBR* dengan *tuning frequency* 539 Hz menghasilkan *IL* rata-rata sebesar 6 dB untuk ketinggian pengukuran 70 cm. Pengukuran pada posisi 150 cm dari lantai untuk *set up* yang sama memberikan masing-masing *IL* sebesar 3,5 dB dan 3,8 dB. Untuk kecepatan aliran yang sama, pemasangan dua buah *t-SBR* dengan dua *tuning frequency* berbeda sekaligus dengan posisi melingkar pada pipa memberikan *IL* sebesar 6,4 dB dan 5 dB untuk masing-masing ketinggian pengukuran 70 cm dan 150 cm. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan *t-SBR* sangat efektif dan efisien untuk menurunkan tingkat kebisingan pada *peak frequency* dari *air flow noise* tanpa memerlukan ruang yang besar untuk pemasangannya.

Kata kunci: air flow noise, noise spectrum, side branch resonator, insertion loss

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Kebisingan yang muncul sebagai dampak samping dari kegiatan industri atau bisnis seharusnya

mendapatkan penanganan yang memadai untuk meminimalkan dampak yang muncul ke lingkungan. Di lapangan, baik di kawasan industri maupun

kawasan bisnis sangat banyak dijumpai peralatan atau mesin yang menghasilkan level kebisingan yang cukup tinggi. Aliran fluida dalam pipa, baik yang berupa gas maupun cairan akan menghasilkan kebisingan yang cukup signifikan mengganggu kenyamanan dan kesehatan manusia. Kegiatan proses produksi di pabrik, penyaluran bahan bakar baik gas maupun cairan dan instalasi *Heating Ventilation and Air Conditioning (HVAC)* sistem di perhotelan atau tempat bisnis adalah contoh dari sumber-sumber kebisingan yang diakibatkan oleh aliran fluida. Pada penelitian ini pemanfaatan *tuned-side branch resonator* akan diajukan sebagai salah satu usaha untuk mengurangi kebisingan yang terbuang ke lingkungan.

Tinjauan pustaka

Beberapa penelitian dan kajian terkait dampak dari kebisingan terhadap manusia dan lingkungan telah dipublikasikan [1,2,3,4]. Penelitian atau riset terkait dengan mekanisme terjadinya kebisingan dalam pipa dan langkah-langkah penanggulangan terhadap kebisingan yang muncul, khususnya yang terkait dengan kebisingan dari aliran fluida di dalam pipa telah juga dilakukan. Meissner dan Czechowiz melakukan kajian bagaimana *closed branch* bisa memberikan efek *cancellation* terhadap gelombang suara yang muncul pada sistem perpipaan [5]. Lebih jauh, Meissner juga melakukan penelitian terkait dengan *acoustic modes* yang terjadi akibat aliran dalam pipa yang dilengkapi dengan 2 *side-branch resonator* tertutup [6]. Kajian terkait dampak dari aliran dan geometri terhadap radiasi kebisingan dari *exhaust pipes* telah dilaporkan oleh Hornikx dkk [7]. Penelitian lainnya terkait dengan pemodelan dari *side branch resonator* dengan *Green function* dilaporkan oleh Perrey-Debain dkk [8]. Xu dkk dalam penelitiannya melakukan kajian tentang karakteristik akustik dari *dual Helmholtz resonator* atau *resonator* seri 2 tingkat [9]. Usaha untuk mengurangi kebisingan dari aliran dalam pipa telah dilakukan juga oleh Howard dan Craig dengan menggunakan *quarter wave tube* dengan bentuk, dan orientasi *orifice* yang berbeda-beda [10].

Landasan Teori

Kebisingan pada sistem perpipaan

Pada banyak kasus, kebisingan yang muncul dari sistem perpipaan melebihi kebisingan yang muncul dari sistem permesinan. Kebisingan pada sistem perpipaan meningkat dengan kecepatan aliran fluida di dalamnya. Kebisingan pada pipa bisa terjadi karena berbagai faktor. Beberapa faktor tersebut adalah [11]:

1. *Change in Pipe diameter*

Perubahan diameter pipa yang tiba-tiba mengakibatkan adanya *impedance mismatch* yang mengakibatkan terjadinya kebisingan. Aliran udara berkecepatan tinggi melewati perubahan ukuran pipa yang mendadak dari kecil ke besar atau sebaliknya menghasilkan turbulensi aliran dan turbulensi ini berperan terhadap timbulnya kebisingan. Salah satu cara untuk mengatasi masalah ini adalah dengan membuat *smooth transition* dari satu ukuran pipa ke ukuran pipa yang lain.

2. *Bends and restrictions*

Adanya belokan-belokan tajam dan hambatan pada aliran pipa mengakibatkan adanya turbulensi tambahan yang pada akhirnya akan menghasilkan kebisingan.

3. *Von Karman vortices*

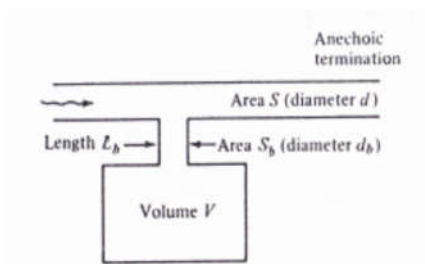
Pada saat udara atau fluida melewati sebuah hambatan berbentuk silinder maka akan terbentuk *vortices* yang mengubah arah aliran bolak balik yang selanjutnya menimbulkan getaran dan kebisingan.

Side branch resonator

Side branch resonator adalah salah satu metode untuk mengurangi kebisingan yang masuk dalam kategori *reactive elements*, di samping *expansion chamber*. Keunggulan dari sistem ini adalah target frekuensi yang mau diredam bisa dicapai dengan proses *tuning* pada saat mendesain resonator. Analisis yang umum dilakukan terkait dengan pemanfaatan *side branch resonator* adalah mengasumsikan gelombang adalah *plane wave*, level suara kurang dari 120 dB, tidak ada *flow velocity* dan gradien temperatur. Beberapa kajian eksperimental dan teoritis memberikan panduan praktis dalam memprediksi unjuk kerja dari *reactive elements*, yaitu [12]:

1. *Incident sound level* sampai 150 dB dan *flow velocity* sampai 0.1 Mach mempunyai dampak yang kecil terhadap performa dari sebuah *expansion chamber*
2. *Incident sound level* sampai 150 dB mempunyai dampak yang kecil terhadap performa dari *side branch resonator*, tetapi adanya *flow velocity* cenderung untuk mengurangi peak performa dan menggeser *peak frequency*.

Gambar 1 di bawah ini menunjukkan bentuk umum sebuah *side branch resonator* beserta rumusan yang digunakan untuk menghitung resonansi frekuensinya [12].



Gambar 1. Side branch resonator [12]

Resonansi frekuensi dari *single side branch resonator* adalah

$$f_r = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{C_0}{V}} \quad \text{[Hz]} \quad (1)$$

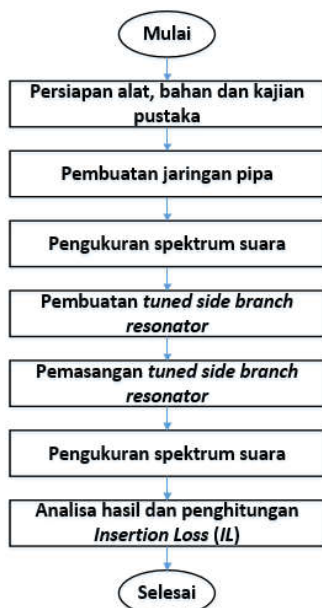
dengan $C_0 = S_b/L'_b$ dan L'_b adalah *effective length of neck* ($\approx L_b + 0.82d_b$).

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan urutan sebagai berikut:

- Pembuatan rangkaian pipa dengan aliran udara
- Pengukuran spektrum dan *sound pressure* dari *air-flow noise*
- Pembuatan *side-branch resonator* dengan *tuning frequency* sesuai dengan *dominant peak* pada spektrum kebisingan
- Pemasangan *t-SBR* dengan ukuran sesuai dengan spektrum kebisingan yang terukur.
- Pengukuran *sound pressure level (SPL)* pada berbagai posisi seperti pada Gambar 4.
- Analisa hasil dan penghitungan *Insertion Loss*, yaitu beda *SPL* sebelum dan setelah *t-SBR* dipasang.

Selengkapnya diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 2.

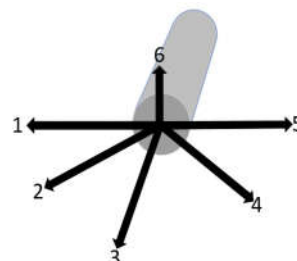


Gambar 2. Diagram alir penelitian

Sementara itu, *layout* pengujian bisa dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Layout pengujian



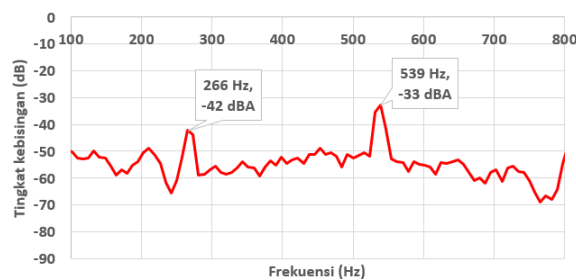
Gambar 4. Posisi pengukuran

Hasil dan Pembahasan

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, maka didapatkan hasil seperti ditunjukkan pada Gambar 5,6,7,8. Data yang ditampilkan adalah hasil pengukuran pada posisi 2 gambar 4.

1. Spektrum kebisingan awal

Gambar 5 menampilkan spektrum kebisingan dari aliran udara di dalam pipa dengan kecepatan 6,7 m/s tanpa ada *t-SBR* yang terpasang. Terlihat dua *peak* pada frekuensi 266 Hz dan 539 Hz.



Gambar 5. Spektrum tanpa *t-SBR*, $v = 6,7$ m/s

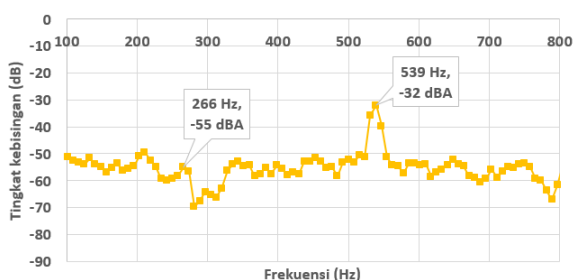
2. Spektrum akibat 266 Hz *t-SBR*

Gambar 6 menampilkan spektrum kebisingan setelah satu buah *t-SBR* dengan tuning frekuensi 266 Hz dipasang pada permukaan keliling pipa. Terlihat jelas penurunan kebisingan sebesar hampir 13 dB terutama pada frekuensi 266 Hz. Terlihat juga tingkat kebisingan pada frekuensi peak kedua (539 Hz) tidak mengalami penurunan level kebisingan.

3. Spektrum akibat 539 Hz *t-SBR*

Gambar 7 menampilkan spektrum akibat pemasangan satu buah *t-SBR* dengan tuning frekuensi 539 Hz. Penurunan level kebisingan pada *peak* frekuensi 539 Hz sebesar 15 dB berhasil didapatkan. Penurunan pada *peak* frekuensi 266 Hz sebesar

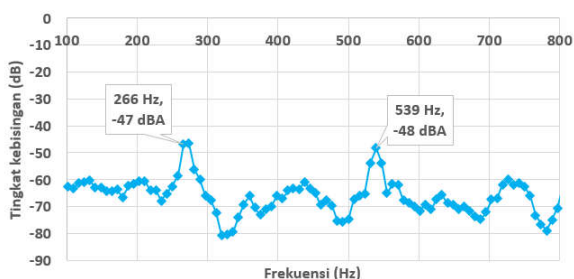
5 dB juga berhasil didapat. Ini menunjukkan adanya dampak dari pemasangan *t-SBR* dengan *tuning* frekuensi yang lebih tinggi terhadap tingkat kebisingan di area frekuensi rendahnya.



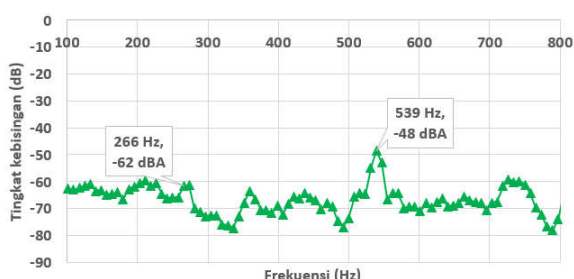
Gambar 6. Spektrum akibat 266 Hz *t-SBR*

4. Spektrum akibat dual *t-SBR*

Spektrum kebisingan akibat pemasangan dua buah *t-SBR* sekaligus dengan *tuning* frekuensi masing-masing 266 Hz dan 539 Hz ditunjukkan pada Gambar 8. Terlihat penurunan tingkat kebisingan yang sangat signifikan dihasilkan dari pemasangan dua buah *resonator* sekaligus. Masing-masing *peak* mengalami penurunan sebesar 20 dB dan 15 dB. Hal ini sangat jelas menunjukkan efektivitas dari kombinasi dua *t-SBR* untuk meredam *air flow noise*.



Gambar 7. Spektrum akibat 539 Hz *t-SBR*



Gambar 8. Spektrum akibat dual *t-SBR*

5. Insertion Loss

Data yang ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah adalah nilai *IL* rata-rata yang diukur pada berbagai posisi seperti pada Gambar 4. Pengukuran dilakukan pada 2 ketinggian yaitu pada 70 cm dan 150 cm serta berjarak 100 cm dari *opening* pipa. Tabel 1 menampilkan nilai *IL* sebagai fungsi jumlah *resonator* dan posisi pengukuran.

Tabel 1. *Insertion loss* untuk berbagai *setting*

Terpasang 1 resonator 266 Hz	Kecepatan aliran	$v = 6,7$ m/s
	IL (dB) di 70 cm	3
IL (dB) di 150 cm	3,5	
Terpasang 1 resonator 539 Hz	Kecepatan aliran	$v = 6,7$ m/s
	IL (dB) di 70 cm	6
IL (dB) di 150 cm	3,8	
Terpasang 2 resonator: 266 Hz & 539 Hz	Kecepatan aliran	$v = 6,7$ m/s
	IL (dB) di 70 cm	6,4
IL (dB) di 150 cm	5	

Pemasangan 1 buah *t-SBR* dengan frekuensi 266 Hz memberikan *IL* rata-rata sebesar 3 dB untuk ketinggian pengukuran 70 cm dan 3,5 dB pada ketinggian pengukuran 150 cm. Sementara itu pemasangan 1 buah *t-SBR* dengan *tuning* frekuensi 539 Hz memberikan *IL* rata-rata sebesar 6 dB untuk ketinggian pengukuran 70 cm dan 3,8 dB pada ketinggian 150 cm. Pemasangan 2 buah *t-SBR* sekaligus dengan 2 *tuning* frekuensi yang berbeda yaitu 266 Hz dan 539 Hz memberikan *IL* rata-rata sebesar 6,4 dB pada ketinggian 70 cm dan 5 dB pada ketinggian 150 cm.

Kesimpulan

Dari penelitian ini, untuk berbagai konfigurasi pengukuran, dapat diambil kesimpulan bahwa *tuned-Side Branch Resonator (t-SBR)* memberikan penurunan tingkat kebisingan yang sangat signifikan terutama pada *peak frequency* dari spektrum *airflow noise*. Pemasangan 2 buah *t-SBR* dengan *tune frequency* sesuai frekuensi target memberikan hasil yang lebih baik.

Referensi

- [1] Morel J., Marquis-Favre C., dan Gille, L-A., 2016. Noise annoyance assessment of various urban road vehicle pass-by noises in isolation and combined with industrial noise: A laboratory study, *Applied Acoustics*, Vol. 101, pp. 47–57
- [2] Baliatsas C., van Kamp I., van Poll R. and Yzermans J., 2016. Health effects from low-frequency and infrasound in the general population: Is it the time to listen? A systematic review of observational studies, *Science of the Total Environment*, Vol. 557–558, pp. 163–169.
- [3] Nassiri P., Monazzam M.R., Asghari M., Zakerian S.A., Deghan S.F., Folladi B. and Azam K., 2015. The interactive effect of industrial noise type, level and frequency characteristics on occupational skills,

Performance Enhancement & Health, Vol. 3, pp. 61–65

- [4] Pierrette M., Marquis-Favre C., Morel J., Rioux L., Vallet M., Violoon S. and Moch A., 2012. Noise annoyance from industrial and road traffic combined noises: A survey and a total annoyance model comparison, *Journal of Environmental Psychology*, Vol 32, pp. 178–186.
- [5] Meissner M.W. and Czechowicz M.R., 1995. Experimental Investigation of Flow-Induced Acoustic Oscillations in a Piping System with Closed Branches, *Applied Acoustics*, Vol. 45, pp. 359–375.
- [6] Meissner Miroslaw, 2002. Acoustic modes induced by flow in a pipe with two closed side branches, *Applied Acoustics*, Vol. 63, 1071–1083.
- [7] Hornikx M., De Roeck W., Toulorge T. and Desmet W., 2015. Flow and geometrical effects on radiated noise from exhaust pipes computed by the Fourier pseudospectral time-domain method, *Computers & Fluids*, Vol. 116, pp. 176–191.
- [8] Perrey-Debain E., Marechal R. and Ville J.M., 2014. Side-branch resonators modeling with Greens function methods, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 333, pp. 4458–4472
- [9] Xu M.B., Selamet A and Kim H., 2010. Dual Helmholtz resonator, *Applied Acoustics*, Vol. 71, pp. 822–829.
- [10] Howard C.O. and Craig R.A., 2014. Noise reduction using a quarter wave tube with different orifice geometries, *Applied Acoustics*, Vol. 76, pp. 180–186
- [11] G.M. Diehl, 1973. *Machinery Acoustics*, A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, New Jersey.
- [12] Harold W. Lord, William S., Gatley dan Harold A. Evensen, 1980. *Noise Control For Engineers*, McGraw-Hill, USA.