

Analisis Eksperimental Kebisingan dan Tekanan Balik pada Three-Pass Perforated Muffler

Muhammad Yandi Pratama¹, Suprayitno^{1*}, Prihanto Trihutomo¹, Sudirman Rizki Ariyanto²

¹Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang

²Pendidikan Vokasional Teknologi Otomotif, Universitas Bhinneka PGRI Tulungagung
Jl. Sumber Sari, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur, Indonesia

*Corresponding author: suprayitno@um.ac.id

Abstract

Motor vehicle noise has a negative impact on comfort and the environment. The muffler plays a crucial role in reducing exhaust noise, thus requiring effective noise control. This research aims to analyze the characteristics of noise and backpressure in the three-pass perforated muffler, an essential component of the vehicle exhaust system. The design of the three-pass perforated muffler utilizes acoustic principles with specially designed three-channel perforated walls, aiming to attenuate noise and control exhaust backpressure. The research employs acoustic measurement methods and pressure sensors. A prototype of the three-pass perforated muffler is tested under various operational scenarios, including engine speed variations. The collected data is quantitatively analyzed to assess noise and backpressure. The comprehensive evaluation measures the muffler's performance in reducing noise and backpressure. The findings indicate that the noise level generated by the three-pass perforated muffler remains below the permissible limit of 88 dB according to the Ministry of Environment and Forestry regulation on Motor Vehicle Noise Standards. The backpressure generated also falls below the allowed threshold, as per the VERT Association. These findings hold potential for the development of more effective solutions in controlling motor vehicle noise, ultimately enhancing the driving experience with increased comfort.

Keywords: Backpressure, exhaust system, experimental analysis, muffler, noise, three-pass perforated.

Abstrak

Kebisingan kendaraan bermotor berdampak negatif terhadap kenyamanan dan lingkungan. Muffler berperan penting dalam mengurangi kebisingan gas buang, sehingga memerlukan pengendalian kebisingan yang efektif. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik kebisingan dan tekanan balik pada three-pass perforated muffler, komponen penting dalam sistem knalpot kendaraan. Desain three-pass perforated muffler menggunakan prinsip akustik dengan tiga saluran dinding berlubang yang dirancang khusus, bertujuan meredam kebisingan dan mengendalikan tekanan balik gas buang. Penelitian ini menggunakan metode pengukuran akustik dan sensor tekanan. Prototipe muffler three-pass perforated diuji dalam berbagai skenario operasional, termasuk variasi putaran mesin. Data yang telah dikumpulkan dianalisis secara kuantitatif untuk analisis kebisingan dan tekanan balik. Evaluasi komprehensif dilakukan untuk mengukur kinerja muffler dalam mengurangi kebisingan dan tekanan balik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat kebisingan yang dihasilkan *three pass perforated muffler* masih berada di bawah ambang batas kebisingan yang diperbolehkan oleh Permen LHK tentang Baku Mutu Kebisingan Kendaraan bermotor yakni sebesar 88 dB. Tekanan balik yang dihasilkan juga masih berada di bawah ambang batas yang diperbolehkan, mengacu pada Asosiasi VERT. Temuan ini memiliki potensi pada pengembangan solusi yang lebih efektif dalam mengendalikan kebisingan kendaraan bermotor yang lebih baik dan memberikan pengalaman berkendara yang lebih nyaman.

Kata kunci: Tekanan balik, sistem pembuangan, analisis eksperimental, knalpot, kebisingan, *three-pass perforated*.

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi dan kebutuhan akan pengendalian kebisingan dalam industri otomotif telah mendorong penelitian yang intensif untuk meningkatkan kinerja peredam suara [1], [2]. Salah satu

jenis peredam suara yang banyak digunakan adalah *three-pass perforated muffler* [3], [4], yang memiliki struktur internal dengan saluran tiga lintasan yang dilengkapi dengan perforasi untuk meredam kebisingan dan



mengurangi tekanan balik pada sistem knalpot dan saluran buang. Namun, untuk mengoptimalkan performa peredam suara ini, diperlukan pemahaman yang lebih mendalam tentang faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja akustik dan tekanan balik pada peredam suara tipe ini.

Beberapa penelitian sebelumnya telah memberikan wawasan yang berharga terkait dengan peredam suara dan kinerja akustiknya. Penelitian serupa dilakukan oleh Huang et al. [3] tentang pengaruh perforasi dan pengisian material penyerap suara terhadap performa peredam suara tipe *three-pass perforated muffler*. Penelitian ini memberikan pemahaman tentang faktor-faktor yang mempengaruhi peredaman suara pada *muffler* tipe ini. Dengan tipe *muffler* yang berbeda, Fan & Ji [5] mempelajari kinerja redaman suara pada peredam suara tipe *two-pass perforated hybrid mufflers* dengan aliran rata-rata. Penelitian ini memberikan wawasan tentang desain peredam suara yang menggabungkan perforasi dan material penyerap suara dengan aliran rata-rata, dan dapat memberikan pemahaman tambahan tentang faktor-faktor yang mempengaruhi performa akustik *muffler*. Penelitian lainnya, yakni Zhuo [6] memberikan pemahaman tentang pengaruh faktor kondisi aliran terhadap karakteristik suara dalam peredam suara. Sedangkan Zhao & Li [2] melakukan penelitian dengan mempertimbangkan pengaruh kopling struktural pada performa peredam suara.

Rodrigues et al. [7] menganalisis kinerja akustik *Helmholtz resonators* yang digunakan sebagai peredam suara pada kendaraan. Penelitian ini memberikan pemahaman tentang penggunaan resonator untuk mengoptimalkan kinerja dalam meredam kebisingan pada kendaraan bermotor. Beberapa cara lain juga telah dilakukan untuk mengoptimalkan desain peredam suara. Grudanov et al. [8] memberikan wawasan tentang strategi desain yang berbasis pada konsep teori angka. Li et al., [9] menggunakan metode optimasi struktural lokal berdasarkan analisis ortogonal untuk peredam suara

terhadap getaran. Kemudian, Liu et al. [10] menggunakan optimasi struktural pada peredam suara berdasarkan perhitungan numerik. Guhan et al. [11] melakukan optimasi volume peredam suara pada kendaraan ringan menggunakan simulasi CFD.

Desain peredam suara yang efektif dalam meredam kebisingan diperlukan untuk mematuhi standar kebisingan yang ditetapkan. Selain itu, kebisingan menjadi salah satu bahaya lingkungan, memberikan dampak negatif terhadap kesehatan manusia [12]. Banyak negara memiliki regulasi yang mengatur tingkat kebisingan yang diperbolehkan untuk kendaraan bermotor [13]. Seperti pada penelitian Mohammadi et al., [14] yang menganalisis efisiensi peredam suara reaktif dalam memenuhi persyaratan regulasi kebisingan. Untuk di Indonesia, regulasi kebisingan kendaraan bermotor mengikuti Permen LHK tentang Baku Mutu Kebisingan Kendaraan Bermotor [15] Sedangkan untuk tekanan balik pada saluran gas buang kendaraan dapat mengurangi performa mesin dengan menghambat aliran gas buang, sehingga harus diminimalkan [9], [16]. Ketika tekanan balik meningkat, kerugian daya mesin juga meningkat secara linear [17].

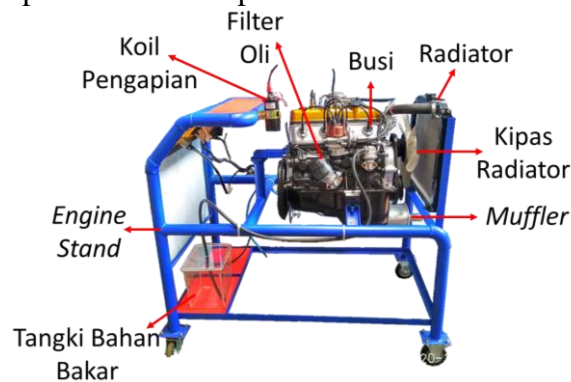
Dengan menghubungkan penelitian-penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis eksperimental terhadap kebisingan dan tekanan balik pada *three-pass perforated muffler*. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja peredam suara dan teknik pengendalian kebisingan pada kendaraan bermotor, dapat dilakukan pengembangan peredam suara yang lebih efektif dan sesuai dengan persyaratan baku mutu kebisingan. Dengan demikian, penelitian ini memiliki relevansi langsung dengan implementasi Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia tentang Baku Mutu Kebisingan Kendaraan Bermotor dan berpotensi memberikan kontribusi dalam pengendalian kebisingan kendaraan bermotor yang lebih baik.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian eksperimental adalah pendekatan yang digunakan dalam penelitian ilmiah untuk mengumpulkan data secara langsung melalui percobaan atau pengamatan yang dikendalikan [18]. Dalam metode penelitian ini, peneliti merancang dan melakukan percobaan pengujian kebisingan dan tekanan balik pada *three-pass perforated muffler*. Adapun tahap-tahapnya disajikan pada sub-sub bagian di bawah ini.

2.1 Penyiapan Muffler.

Muffler yang digunakan dalam eksperimen dipersiapkan dan dipasang pada sistem knalpot atau saluran buang yang relevan. Kemudian, memastikan *muffler* dalam kondisi yang baik dan sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Mesin yang digunakan adalah *engine trainer* Toyota Kijang 5K seperti pada Gambar 1, dengan spesifikasi mesin pada Tabel 1.



Gambar 1. *Engine trainer* toyota kijang 5k

Tabel 1. Spesifikasi *engine trainer* toyota kijang 5k

No.	Deskripsi	Spesifikasi
1	Tipe mesin	Toyota 5K 1486 cc
2	Katup	8 Katup OHV
3	Silinder	4 Silinder
5	Daya maks	92 Ps;6000 rpm
6	Torsi maks	12 Kgm;4400 rpm
7	Bahan bakar	Bensin

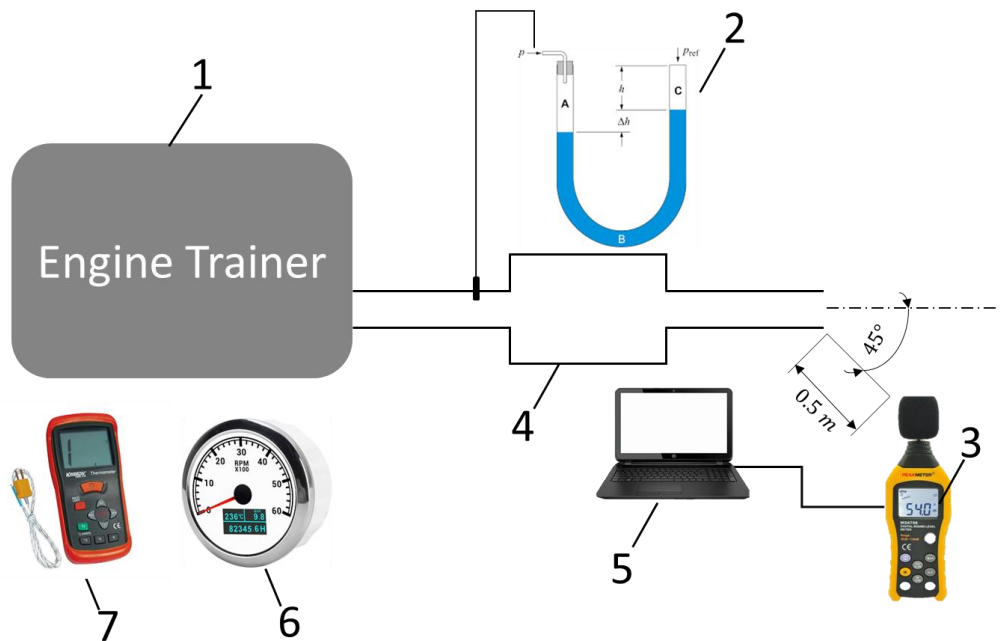
2.2 Pengukuran Kebisingan dan Tekanan Balik

Sistem pengukuran kebisingan yang dipersiapkan, seperti mikrofon yang dapat

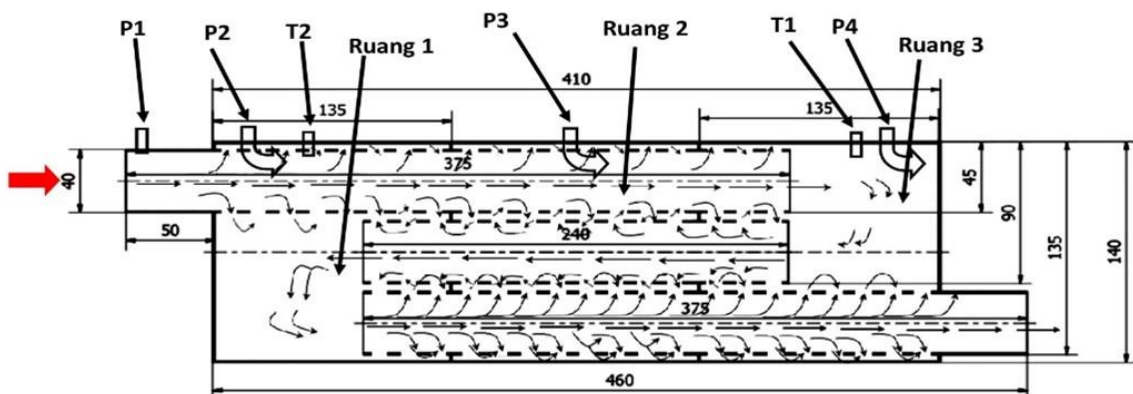
merekam kebisingan. Penempatan mikrofon diletakkan pada jarak 0,5 m dengan sudut 45° dari ujung *muffler*. Pengukuran dilakukan pada berbagai kondisi operasional putaran mesin yang berbeda [19]. Skema pengukuran kebisingan pada penelitian ini mengikuti standar pengujian ISO/FDIS 5130-UNECE sebagai metode yang dicantumkan di Permen LHK tentang Baku Matu Kebisingan Kendaraan bermotor [15] Sedangkan, tekanan balik pada *muffler* diukur menggunakan sensor tekanan yang sesuai. Sensor tekanan ditempatkan dengan cermat di titik yang relevan pada *muffler* untuk mengukur tekanan balik yang terjadi [20]. Skema pengukuran disajikan pada Gambar 2.

Seperti yang disajikan pada Gambar 2, nomer-nomer tersebut mengartikan: 1) *engine trainer*; 2) *manometer*; 3) *sound level meter*; 4) *muffler*; 5) laptop; 6) *tachometer*; 7) *digital thermometer*. *Engine trainer*, yang merepresentasikan mesin kendaraan bermotor. *Manometer* adalah alat yang mengukur tekanan fluida dengan memanfaatkan perubahan ketinggian kolom cairan [21]. Dalam penelitian ini digunakan untuk mengukur tekanan balik gas buang yang dihasilkan di dalam *muffler*. *Sound level meter* yang terhubung dengan laptop digunakan sebagai alat ukur kebisingan [22]. *Muffler* tipe *three pass perforated* sebagai objek penelitian eksperimental. *Tachometer* adalah alat untuk mengukur putaran mesin [23]. *Digital thermometer* digunakan untuk mengukur suhu kerja mesin [24].

Seperti yang disajikan pada Gambar 3. Secara detail, peletakan sensor tekanan balik terletak pada beberapa titik dengan simbol P1 pada bagian saluran masuk awal, P2 pada posisi yang lebih masuk ke dalam saluran. P3 pada bagian tengah saluran masuk awal *muffler*, dan P4 pada ruang ekspansi belakang *muffler* [20]. Simbol arah panah berwarna merah adalah representasi arah gas buang mesin yang masuk ke dalam *muffler*.



Gambar 2. Skema pengukuran eksperimental 1. mesin bensin, sebagai representasi mesin kendaraan bermotor; 2. manometer, untuk mengukur tekanan; 3. sound level meter, untuk mengukur kebisingan; 4. three-pass perforated muffler; 5. laptop, untuk merekam data kebisingan; 6. tachometer, untuk mengukur putaran mesin; 7. digital thermometer, untuk mengukur suhu mesin



Gambar 3. Letak sensor tekanan balik

2.3 Pengumpulan Data

Data kebisingan dan tekanan balik yang diukur direkam dengan teliti dan secara sistematis. Data yang dikumpulkan mencakup variasi putaran mesin (rpm/revolution per minute), tingkat kebisingan (dB), dan tekanan balik gas buang (kPa).

2.4 Analisis Data

Data yang telah dikumpulkan dianalisis secara kuantitatif untuk analisis kebisingan dan tekanan balik. Statistik deskriptif dan metode analisis lainnya

digunakan untuk mengidentifikasi pola dan tren dalam data. Statistik deskriptif mengacu pada studi tentang mendeskripsikan sejumlah kumpulan data-data penelitian [26].

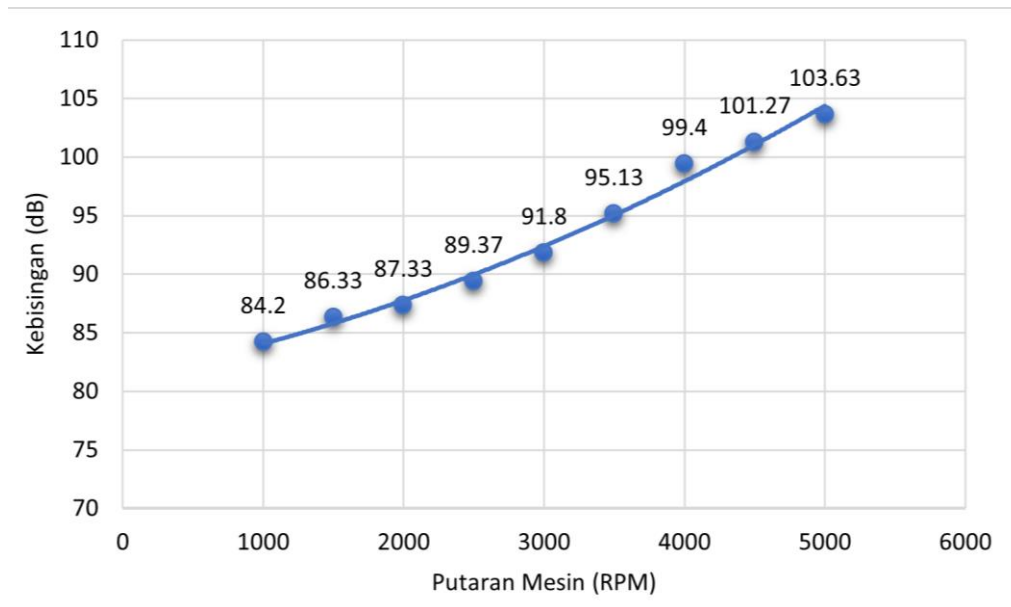
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Kebisingan

Hasil dari kebisingan yang dihasilkan three pass perforated muffler disajikan pada Gambar 4. Dari gambar tersebut diketahui bahwa intensitas kebisingan meningkat seiring dengan

putaran mesin. Mesin pembakaran dalam menghasilkan gas buang bertekanan yang dikeluarkan pada langkah buang menuju saluran knalpot [27]. Seiring dengan meningkatnya putaran mesin, semakin banyak gas buang bertekanan yang

dikeluarkan melalui saluran buang. Gas buang bertekanan yang berfluktuasi ini menjadi sumber kebisingan utama. Seringkali sumber kebisingan adalah permukaan yang bergetar atau aliran fluida yang tidak stabil seperti gas atau uap [28].



Gambar 4. Grafik tingkat kebisingan

Tabel 2. Perbandingan data kebisingan dengan penelitian relevan

Putaran mesin (RPM)	Three-pass	Anggraini & Warju [20]		
		Two-pass	Baffle	Louvre
1000	84.2	86.2	85.7	85.2
1500	86.33	88.63	87.77	87.37
2000	87.33	90.27	90.23	89.2
2500	89.37	93.67	92.4	91.3
3000	91.8	94.9	94.2	93.27
3500	95.13	97.6	96.9	95.5
4000	99.4	100.37	99.8	99.23
4500	101.27	102.77	101.6	101.33
5000	103.63	103.7	103.7	103

Dari data yang tercantum pada Gambar 4 grafik tingkat kebisingan, pada 1000 RPM tingkat kebisingan yang dihasilkan sebesar 84,2 dB. Kemudian sebesar 86,33 dan 87,33 dB pada 1500 dan 2000 RPM. Angka dari tingkat kebisingan tersebut masih berada di bawah ambang batas kebisingan yang boleh dikeluarkan langsung dari kendaraan bermotor yakni

sebesar 88 dB mengikuti Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia [15].

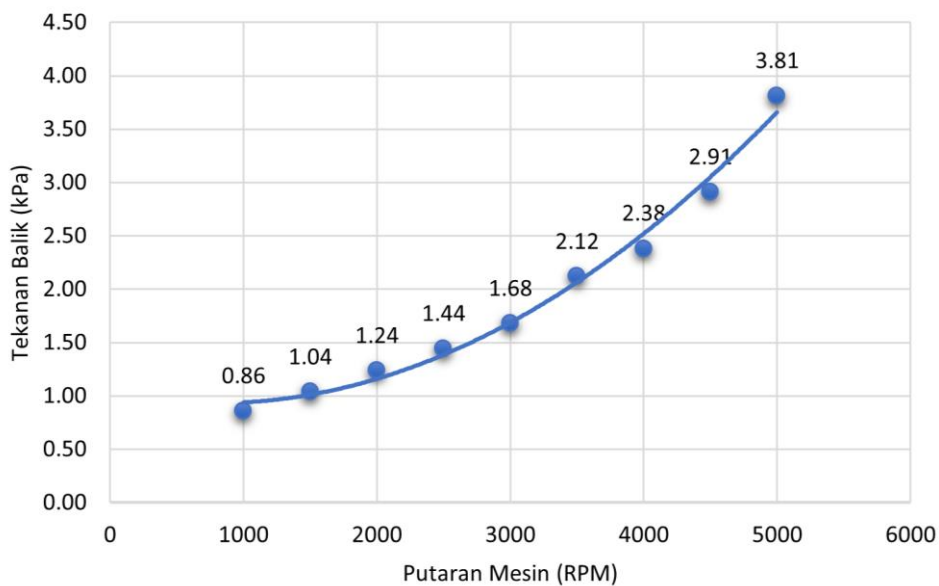
Jika dibandingkan dengan penelitian Anggraini & Warju [20], kemampuan reduksi kebisingan *three pass perforated muffler* lebih baik daripada jenis *two pass perforated*, *baffle*, dan *louvre muffler*. Lebih besarnya perforasi pada *three pass perforated* dapat menjadi penyebabnya. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2. Mohammad et al., [29] dalam penelitiannya mengatakan bahwa untuk mengurangi kebisingan saluran gas buang parameter perforasi adalah parameter paling sering digunakan sebagai acuan. Selain itu ukuran juga dapat menjadi parameter acuan. Dimana, semakin besar ukuran *muffler* semakin besar juga kemampuannya dalam mereduksi kebisingan [11]. Kemudian, perbedaan jumlah ruang ekspansi juga dapat menjadi pengaruh kemampuan sebuah *muffler*. Cara meningkatkan jumlah ruang ekspansi di dalam *muffler* menjadi salah satu cara untuk melemahkan atau mereduksi kebisingan, gelombang suara di dalam ruang

ekspansi akan dipantulkan satu sama lain agar terjadinya pembatalan suara atau *noise canceling* sehingga dengan banyaknya ruang ekspansi, suara akan semakin banyak tereduksi [30].

3.2. Analisis Tekanan Balik

Tekanan balik yang dihasilkan pada *three-pass perforated muffler* disajikan pada Tabel 3. Kemudian dibuatkan dalam bentuk grafik yang disajikan pada Gambar 5. Data yang disajikan pada grafik adalah jumlah dari tekanan balik pada masing-masing sensor. Tekanan balik memiliki tren yang meningkat seiring dengan putaran mesin sama halnya seperti yang terjadi pada tingkat kebisingan. Tekanan balik adalah

perbedaan antara tekanan rata-rata gas buang dan tekanan ambien atau tekanan atmosfer [31]. Tekanan balik diharapkan kecil karena memiliki dampak negatif terhadap performa mesin [16]. Sebesar 1 inci tekanan balik yang dihasilkan di dalam saluran buang dapat menghilangkan maksimum 1% daya mesin [31]. Batas besaran tekanan balik menurut Association VERT (*Verification of Emission Reduction Technologies*), untuk mesin dengan ukuran daya sebesar 50-500 kW adalah maksimal 20 kPa [31]. Jika mengikuti regulasi dari VERT, maka tekanan balik yang dihasilkan *three pass perforated muffler* masih berada di bawah ambang batas yang diperbolehkan, yakni tertinggi pada 3,81 kPa di 5000 RPM.



Gambar 5. Grafik tekanan balik

Putaran Mesin (RPM)	Tekanan Balik (kPa)				Total (kPa)
	P1	P2	P3	P4	
1000	0.09	0.22	0.34	0.22	0.86
1500	0.13	0.25	0.38	0.28	1.04
2000	0.16	0.31	0.42	0.35	1.24
2500	0.19	0.37	0.48	0.40	1.44
3000	0.22	0.44	0.54	0.48	1.68
3500	0.29	0.58	0.65	0.61	2.12
4000	0.31	0.63	0.73	0.72	2.38
4500	0.38	0.78	0.91	0.85	2.91
5000	0.45	0.98	1.32	1.06	3.81

Jika dibandingkan dengan penelitian Anggraini & Warju [20], *three-pass perforated muffler* menghasilkan tekanan balik yang lebih kecil pada putaran menengah ke atas. Jumlah lubang yang lebih banyak dibandingkan *two pass perforated muffler* dapat menjadi faktor kecilnya tekanan balik yang dihasilkan. Ini sejalan dengan penelitian Huang et al. & Guhan et al. [3], [11] yang mana menyatakan peningkatan jumlah lubang atau perforasi pada saluran di dalam *muffler* dapat menurunkan tekanan balik. Kemudian, jika dibandingkan dengan jenis *lovre*, *muffler* ini menghasilkan tekanan balik yang lebih besar. Hal ini dapat dikarenakan pengaruh

penghalang atau *baffle* di dalam *muffler*. Jumlah *baffle* pada tipe *louvre* hanya satu, dibandingkan dengan *three pass perforated* yang memiliki jumlah 3 *baffle* mengikuti aliran gas buangnya. Dalam penelitian Elsayed et al., [32] disimpulkan bahwa penambahan jumlah *baffle* di dalam *muffler* secara linier meningkatkan tekanan balik.

4. Kesimpulan

Berdasarkan studi eksperimental terhadap kebisingan dan tekanan balik yang dihasilkan *three pass perforated muffler*. Menarik untuk diketahui bahwa tingkat kebisingan khususnya pada putaran mesin 1000-2000 RPM yakni sebesar 84,2-87,3 dB, masih berada di bawah ambang batas kebisingan yang diperbolehkan oleh pemerintah yakni sebesar 88 dB, mengikuti Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. Sama halnya dengan tekanan balik yang dihasilkan *three pass perforated muffler* sebesar 3,81 kPa pada 5000 RPM masih berada di bawah batas yang diperbolehkan, jika mengacu pada standar asosiasi VERT sebesar 20 kPa. Hasil eksperimen ini memberikan wawasan mendalam tentang analisis tingkat kebisingan dan tekanan balik pada *three pass perforated muffler*, yang secara langsung berkaitan dengan standar pengendalian kebisingan dan tekanan balik. Temuan ini memiliki potensi besar untuk mengarah pada pengembangan solusi yang lebih efektif dalam mengendalikan kebisingan kendaraan bermotor yang lebih baik dan memberikan pengalaman berkendara yang lebih nyaman.

Referensi

[1] B. Mohamad, J. Karoly, A. Zelentsov, and S. Amroune, "A Comparison Between Hybrid Method Technique and Transfer Matrix Method for Design Optimization of Vehicle Muffler," *FME Trans.*, vol. 49, no. 2, pp. 494–500, 2021, doi: 10.5937/fme2102494M.

- [2] B. Zhao and H. Li, "Analysis of the Influencing Factors of the Acoustic Performance of the Muffler Considering Acoustic-structural Coupling," *Arch. Acoust.*, vol. 47, no. 4, pp. 479–490, 2022, doi: 10.24425/aoa.2022.142900.
- [3] H. Huang, Z. Ji, and Z. Li, "Influence of perforation and sound-absorbing material filling on acoustic attenuation performance of three-pass perforated mufflers," *Adv. Mech. Eng.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–11, 2018, doi: 10.1177/1687814017748012.
- [4] Y. Fan and Z. Ji, "Three-pass mufflers with perforated inlet/outlet tubes," *Appl. Acoust.*, vol. 156, pp. 217–228, 2019, doi: 10.1016/j.apacoust.2019.07.018.
- [5] Y. Fan and Z. Ji, "Acoustic Attenuation Performance of Two-Pass Perforated Hybrid Mufflers with Mean Flow," *Int. J. Acoust. Vib.*, vol. 26, no. 4, pp. 306–315, 2021, doi: 10.20855/ijav.2021.26.41804.
- [6] R. Zhou, "Analysis of the Sound Field Characteristics of a Muffler at Different Flow Conditions," *J. Appl. Fluid Mech.*, vol. 16, no. 1, Jan. 2023, doi: 10.47176/jafm.16.01.1295.
- [7] L. Martins, G. Guimarães, and C. Fragassa, "Acoustical performance of Helmholtz resonators used as vehicular silencers," *FME Trans.*, vol. 46, no. 4, pp. 497–502, 2018, doi: 10.5937/fmet1804497R.
- [8] V. Y. Grudanov, G. I. Belokhvostov, and L. T. Tkacheva, "Scientific and Practical Approaches to Improving Noise Muffler Designs of Piston Internal Combustion Engines Based on Theory of Numbers," *Sci. Tech.*, vol. 20, no. 5, pp. 434–444, Oct. 2021, doi: 10.21122/2227-1031-2021-20-5-434-444.
- [9] R. Li, Y. Zhou, Y. Xue, and S. Han, "Local Structural Optimization Method Based on Orthogonal Analysis for a Resistant Muffler," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 40560–

- 40569, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3063768.
- [10] H. Liu, J. Lin, R. Hua, and L. Dong, "Structural Optimization of a Muffler for a Marine Pumping System Based on Numerical Calculation," *J. Mar. Sci. adn Eng.*, vol. 10, no. 7, 2022.
- [11] C. P. O. A. Guhan, G. Arthanareeswaran, K. N. Varadarajan, and S. Krishnan, "Exhaust System Muffler Volume Optimization of Light Commercial Vehicle Using CFD Simulation," *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 2, pp. 8471–8479, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2017.11.543.
- [12] D. Singh, N. Kumari, and P. Sharma, "A Review of Adverse Effects of Road Traffic Noise on Human Health," *Fluct. Noise Lett.*, vol. 17, no. 01, p. 1830001, Mar. 2018, doi: 10.1142/S021947751830001X.
- [13] Z. Haron *et al.*, "Review on Traffic Noise Problem in Malaysia," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 220, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/220/1/012015.
- [14] M. Mohammadi and S. E. Razavi, "Investigation of the Efficiency of Various Reactive Mufflers by Noise Reduction and Transmission Loss Analyses," *J. Theor. Appl. Vib. Acoust.*, vol. 4, no. 2, pp. 1–8, 2018.
- [15] Pemerintah Indonesia, *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia tentang Baku Mutu Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru dan Kendaraan bermotor yang Sedang diproduksi Kategori M, Kategori N, dan Kategori L*. Indonesia, 2019, pp. 1–25.
- [16] S. Thirumurugaveerakumar, "Design and optimization of muffler back pressure," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2270, no. November, 2020, doi: 10.1063/5.0019700.
- [17] Z. Ma, K. Zhang, H. Xiang, J. Gu, M. Yang, and K. Deng, "Experimental study on influence of high exhaust backpressure on diesel engine performance via energy and exergy analysis," *Energy*, vol. 263, p. 125788, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.ENERGY.2022.125788.
- [18] P. D. Leedy and J. E. Ormrod, *Practical Research: Planning and Design*, 12th Editi., vol. 17, no. 3. London: Pearson Education, 2019. doi: 10.1097/00004356-199409000-00009.
- [19] J. Fu, W. Chen, Y. Tang, W. Yuan, G. Li, and Y. Li, "Modification of exhaust muffler of a diesel engine based on finite element method acoustic analysis," *Adv. Mech. Eng.*, vol. 7, no. 4, pp. 1–11, 2015, doi: 10.1177/1687814015575954.
- [20] B. Anggraini and W. Warju, "Kemampuan Muffler Tipe Baffle Dan Louvre Terhadap Reduksi Kebisingan Pada Mesin Toyota Kijang Tipe 5K," *J. Pendidik. Tek. Mesin Unesa*, vol. 09, no. 01, pp. 111–118, 2019.
- [21] Y. Nakayama, "Fluid Statics," in *Introduction to Fluid Mechanics*, Elsevier, 2018, pp. 25–50. doi: 10.1016/B978-0-08-102437-9.00003-6.
- [22] S. R. Ariyanto, W. R. Cahyadi, B. S. Hadi, W. Warju, and M. Y. Pratama, "Noise Effect Using Transition Metal Catalytic Converter Chrome-Coated Copper on Fous Stroke Motorcycles," *J. Media Mesin*, vol. 23, no. 2, pp. 114–121, 2022.
- [23] W. Warju, S. R. Ariyanto, A. S. Nugraha, and M. Y. Pratama, "The Effectiveness of the Brass Based Catalytic Converter to Reduce Exhaust Gas Emissions from Four-stroke Motorcycle Engines," *Int. Jt. Conf. Sci. Eng. 2021 (IJCSE 2021)*, vol. 209, no. Ijcse, pp. 417–422, 2021.
- [24] W. Warju, N. S. Drastiawati, S. R. Ariyanto, and M. Nurtanto, "The Effect of Titanium Dioxide (TiO₂) Based Metallic Catalytic Converter

- on the Four-Stroke Motorcycle Engine Performance,” 2020.
- [25] W. W. Pulkrabek, *Engineering fundamentals of the internal combustion engine / Willard W. Pulkrabek*. New York City: Pearson Education, 2003.
- [26] V. Kotu and B. Despande, *Data Science*. Elsevier, 2019. doi: 10.1016/C2017-0-02113-4.
- [27] J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, 2nd ed. Cambridge: McGraw-Hill, 1988.
- [28] D. A. Bies, C. H. Hansen, and C. Q. Howard, *Engineering Noise Control*, Fifth edit. CRC Press Taylor & Francis Group, 2018. [Online]. Available: http://books.google.com.sg/books?id=LU8U3mka-DUC&pg=PA665&dq=loss+factor+for+materials+table&hl=en&sa=X&ei=dcSIT_mALJCurAfS6MTgAQ&redir_esc=y#v=onepage&q=loss factor for materials table&f=false%5Cnhttp://books.google.com.sg/books?id=LU8U3mka-DUC&pg=PA665&
- [29] M. Mohammad, M. M. A. Buang, A. A. Dahlan, M. H. Khairuddin, and M. F. M. Said, “Simulation of automotive exhaust muffler for tail pipe noise reduction,” *J. Teknol.*, vol. 79, no. 7–4, pp. 37–45, 2017, doi: 10.11113/jt.v79.12263.
- [30] S. Bilawchuk and K. R. Fyfe, “Comparison and implementation of the various numerical methods used for calculating transmission loss in silencer systems,” *Appl. Acoust.*, vol. 64, no. 9, pp. 903–916, Sep. 2003, doi: 10.1016/S0003-682X(03)00046-X.
- [31] V. Kumar, N. Prasad, M. K. Paswan, P. Kumar, and S. Biswas, “Design Analysis and Pressure Loss Optimization of Automobile Muffler,” in *Intelligent Manufacturing and Energy Sustainability*, 2020, pp. 93–107. doi: 10.1007/978-981-15-1616-0_10.
- [32] A. Elsayed, C. Bastien, S. Jones, J. Christensen, H. Medina, and H. Kassem, “Investigation of baffle configuration effect on the performance of exhaust mufflers,” *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 10, pp. 86–94, 2017, doi: 10.1016/j.csite.2017.03.006.