

PERENCANAAN KNALPOT VALVETRONIC KENDARAAN RODA DUA DENGAN SIMULASI *FINITE ELEMENT ANALYSIS (FEA)* & PENGUJIAN KEBISINGAN

Syaiful Arif¹, Munzir Qadri²

^{1,2} Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang, Kota Serang
Jl. Raya Jakarta Km 5 No.6, Kalodran, Kec. Walantaka, Kota Serang, Banten 42183

E-mail : dosen10017@unpam.ac.id

Masuk : 16 Januari Direvisi : 8 Maret 2025 Disetujui : 20 Maret 2025

Abstrak: Banyak pengendara roda dua di kota-kota besar yang senang mengganti knalpot standard kendaraannya dengan knalpot *racing*. Namun faktanya, umumnya knalpot *racing* memiliki beberapa masalah seperti terbatasnya kinerja pada rentang RPM tertentu, dan kebisingan suara yang cenderung melampaui batas yang diizinkan pemerintah yaitu 80-83 dB. Penelitian ini terfokus pada optimalisasi desain knalpot *racing* valvetronic yang mencakup ketahanan material, bobot, dan turbulensi. Knalpot ini dirancang untuk performa optimal di berbagai rentang RPM namun tetap sesuai dengan regulasi tingkat kebisingan yang diizinkan pemerintah. Pengujian dalam penelitian ini menggunakan perangkat lunak SolidWorks, dan dynamometer. Adapun parameter yang dikaji dalam penelitian ini yaitu tegangan, regangan dan deformasi, Lalu dilakukan simulasi menggunakan metode FEA untuk mendapatkan faktor keamanan dan menganalisa kelayakan model yang dirancang. Hasil dari simulasi kemudian dijadikan dasar dalam mengoptimalkan ketahanan material, bobot, memenuhi regulasi kebisingan, mengurangi turbulensi, serta memberikan performa optimal pada berbagai rentang RPM. Dalam penelitian ini, ditemukan bahwa ukuran inlet, ukuran knalpot, dan lekukan pada desain knalpot sangat mempengaruhi performa dan tingkat kebisingan.

Kata kunci: Knalpot, Valvetronic, Simulasi FEA

Abstract: Many two-wheeled drivers in big cities like to replace their standard exhausts with racing exhausts. However, in fact, racing exhausts generally have several problems such as limited performance at certain RPM ranges, and noise that tends to exceed the government's permitted limits of 80-83 dB. This study focuses on optimizing the design of a valvetronic racing exhaust that includes material resistance, weight, and turbulence. This exhaust is designed for optimal performance at various RPM ranges but still complies with the government's permitted noise level regulations. Testing in this study used software such as SolidWorks, and dynamometers. The parameters studied in this study were stress, strain, and deformation. Then a simulation was carried out using the FEA method to obtain safety factors and analyze the feasibility of the designed model. The results of the simulation are then used as a basis for optimizing material resistance, weight, meeting noise regulations, reducing turbulence, and providing optimal performance at various RPM ranges. In this study, it was found that the inlet size, exhaust size, and curves in the exhaust design greatly affect performance and noise levels.

Keywords: exhaust pipe, valvetronic, FEA simulation

PENDAHULUAN

Pengguna kendaraan roda dua, khususnya di DKI Jakarta, mencapai 17.304.447 pada tahun 2022 yang merupakan angka tertinggi dibandingkan tahun-tahun sebelumnya. Minat para pengendara untuk mengganti knalpot standard dengan knalpot *racing* pun tidak sedikit, dimana knalpot secara umum dikenal sebagai salah satu bagian vital dari sebuah kendaraan bermotor [1]. Setiap kali mesin melakukan pembakaran, gas buang harus dikeluarkan dari mesin [2]. Bagian sistem pembuangan kendaraan ini biasanya terdiri dari pipa, dengan bentuk yang khas pada bagian belakang kendaraan. Sistem ini terdiri dari beberapa bagian, termasuk *Header*, *Silencer*, dan *Resonator* [3].

Knalpot *racing*, khususnya jenis *valvetronic*, memiliki katup pembatas aliran gas buang di dalam sistemnya. Aliran tersebut akan terhambat dan membentuk turbulensi yang tinggi ketika katup pembatas ditutup. Knalpot yang baik memanfaatkan prinsip resonansi untuk mengoptimalkan kinerja mesin [4]. Desain yang mempertimbangkan panjang pipa dan pengaturan resonansi dapat membantu dalam "*scavenging effect*" atau pembersihan ruang bakar, yang meningkatkan efisiensi volumetrik dan performa mesin [5]. Hal ini mengakibatkan aliran gas buang mengalami perubahan arah yang tidak beraturan dan menghasilkan tekanan balik (*back pressure*) yang lebih tinggi. Tingginya *back pressure* yang disebabkan oleh langkah masuk dan buang yang tidak efisien mengakibatkan kerugian tekanan dan mempengaruhi performa mesin [6].

Ukuran dan volume knalpot mempengaruhi tingkat kebisingan. Semakin besar diameter knalpot, semakin tinggi intensitas suara yang dihasilkan. Untuk kendaraan balap atau performa tinggi, desain knalpot juga harus mempertimbangkan aerodinamika. Knalpot yang terintegrasi dengan baik ke dalam desain bodi kendaraan dapat mengurangi hambatan udara, yang membantu dalam meningkatkan efisiensi dan stabilitas kendaraan pada kecepatan tinggi [7]. Volume total dari knalpot, terutama pada ruang peredam suara (*muffler*), sangat penting dalam meredam gelombang suara yang dihasilkan oleh ledakan pembakaran di dalam mesin [8]. Semakin besar volume peredam, semakin banyak ruang untuk gelombang suara untuk mengalami pembiasan, difraksi, dan pelemahan sebelum dilepaskan ke udara luar. Ini akan mengurangi intensitas suara yang keluar dari knalpot [9]. Kecepatan aliran gas buang yang meningkat (terkait dengan peningkatan kecepatan putaran mesin) juga menyebabkan peningkatan intensitas suara [10].

Desain knalpot yang baik dapat mengoptimalkan *back pressure* yang dibutuhkan sehingga dapat meminimalisir kerugian tekanan yang berpengaruh terhadap performa mesin sehingga dapat memberikan performa yang baik [11]. Knalpot yang baik harus memiliki desain yang memungkinkan aliran gas buang berjalan lancar tanpa hambatan yang berarti. Ini meminimalkan *back pressure*, sehingga meningkatkan efisiensi mesin dan tenaga yang dihasilkan. Pada mesin balap, sering kali digunakan knalpot dengan diameter lebih besar untuk mendukung aliran gas buang yang lebih cepat. Sebuah knalpot harus mampu meredam suara mesin tanpa mengorbankan performa [12]. Penggunaan peredam (*muffler*) dengan desain yang tepat sangat penting untuk menyeimbangkan antara performa dan kebisingan. Desain peredam yang baik bisa mengurangi kebisingan tanpa mengurangi aliran gas buang secara signifikan. Ada dua jenis knalpot diantaranya: (1) ruang buang, struktur ruang buang dari knalpot biasa, jenis knalpot ini bagus pada kecepatan rendah; (2) Knalpot bebas aliran (*free flow*), desain knalpot aliran bebas bekerja dengan baik pada mesin RPM tinggi [13].

Selain masalah performa perlu diperhatikan bahwa penggunaan knalpot *racing* pada kendaraan bermotor harus mengikuti peraturan yang berlaku. Terdapat aturan-aturan tertentu yang mengatur batas suara yang diizinkan dan juga jenis knalpot yang boleh digunakan di jalan raya. Pemerintah telah menetapkan aturan kebisingan knalpot sebagaimana telah diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup nomor 7 tahun 2009 bahwa dalam aturan tersebut dijelaskan tingkatan kebisingan untuk motor dengan kapasitas 80 cc hingga 175 cc adalah maksimal 83 dB dan di atas kapasitas 175 cc maksimal 80 dB (dB = Decibel/Satuan keras suara) [14].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem knalpot valvetronic pada kendaraan roda dua guna mengoptimalkan performa serta mereduksi tingkat kebisingan sesuai regulasi yang berlaku. Metode yang digunakan mencakup perancangan desain sistem valvetronic, pemodelan dan analisis struktur menggunakan simulasi Finite Element Analysis (FEA), serta pengujian kebisingan secara eksperimental pada prototipe yang telah dibuat. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah terciptanya knalpot valvetronic yang mampu menyesuaikan aliran gas buang secara dinamis, menghasilkan efisiensi performa mesin yang lebih baik, dan tingkat kebisingan yang dapat dikendalikan secara adaptif sesuai kondisi pengoperasian kendaraan.

METODOLOGI

Dalam penelitian ini, digunakan metode eksperimen yang dapat dijelaskan sebagai pendekatan penelitian yang bertujuan untuk mempelajari pengaruh perlakuan tertentu terhadap variabel lain dalam suatu kondisi yang terkendali. Pada beberapa kendaraan performa tinggi atau balap, knalpot dilengkapi dengan sistem valvetronic. Sistem ini memungkinkan pengaturan katup yang membuka dan menutup untuk mengontrol aliran gas buang. Pada kecepatan rendah, katup dapat menutup untuk menghasilkan suara yang lebih tenang dan meningkatkan efisiensi bahan bakar. Pada kecepatan tinggi atau saat membutuhkan tenaga lebih besar, katup akan terbuka, memungkinkan aliran gas buang yang lebih besar dan meningkatkan kinerja mesin. Metode penelitian ini diterapkan dengan menggunakan beberapa perangkat lunak yaitu autodesk inventor, ansys, dan solidworks. Selain itu, penelitian ini juga dilakukan secara langsung dengan menggunakan alat dynamometer. Kedua hal tersebut dilakukan dalam rangka mencari informasi mengenai kecepatan, tekanan, dan temperatur dalam perancangan pipa knalpot valvetronic. Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Peralatan yang digunakan dalam penelitian

No.	Nama Alat dan Bahan	Jumlah
1	Personal Komputer	1 buah
2	Perangkat lunak <i>Autodesk Inventor</i> dan <i>Ansys</i>	1 buah
3	Desain knalpot	1 buah
4	Data Material	1 buah
5	Dyno (Dynamometer)	1 buah
6	Motor CBR 250cc	1 buah
7	Sensor dan Peralatan	1 buah
8	Komputer	1 buah
9	Peralatan Keselamatan	1 buah

Penelitian ini dimulai dengan studi literatur mengenai sistem knalpot kendaraan, prinsip kerja valvetronic, serta standar kebisingan kendaraan bermotor. Setelah pemahaman dasar diperoleh, dilakukan perancangan model 3D knalpot valvetronic menggunakan perangkat lunak CAD. Desain ini mencakup bagian utama sistem knalpot serta mekanisme katup valvetronic yang berfungsi mengatur aliran gas buang secara manual atau otomatis.

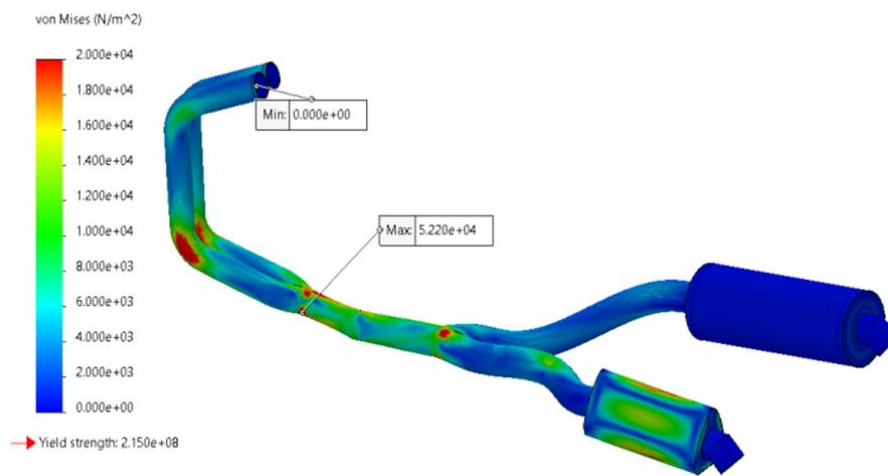
Model yang telah dirancang kemudian dianalisis menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA) untuk mengevaluasi kekuatan struktur. Tahapan FEA meliputi proses meshing pada model 3D, pemberian beban tekanan internal dan temperatur gas buang, serta penentuan batasan (boundary conditions) pada titik sambungan. Hasil simulasi berupa distribusi tegangan Von Mises, regangan, dan deformasi digunakan untuk menilai apakah desain mampu bertahan terhadap kondisi kerja aktual. Setelah simulasi selesai dan desain dinyatakan layak, dilakukan pembuatan prototipe knalpot valvetronic. Prototipe ini kemudian diuji kebisingannya menggunakan alat sound level meter dalam berbagai kondisi operasional mesin, baik saat katup terbuka maupun tertutup.

Data hasil pengujian dibandingkan dengan standar kebisingan kendaraan roda dua yang berlaku di Indonesia. Penelitian ini diharapkan menghasilkan desain knalpot valvetronic yang tidak hanya kuat secara struktural, tetapi juga efektif dalam mereduksi kebisingan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

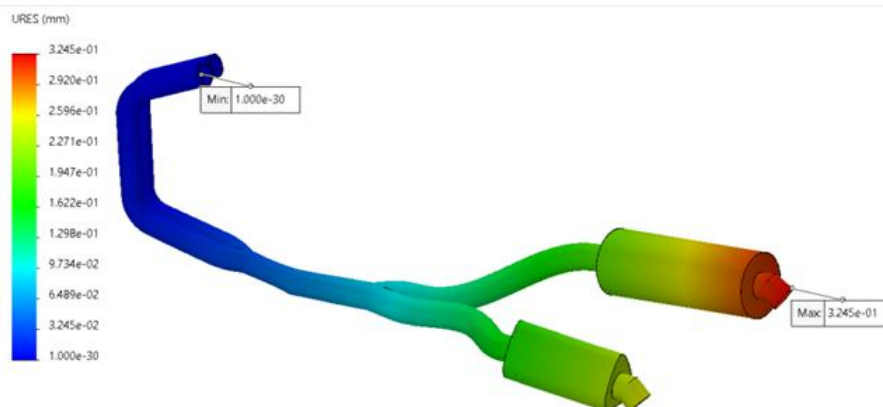
A. Finite Element Analysis

Berdasarkan hasil simulasi tegangan (von Mises stress) pada Gambar 1, diperoleh informasi bahwa terdapat titik lokasi dengan stress paling besar pada sambungan percabangan kedua inlet, dimana tegangan mencapai nilai sebesar $5,220 \times 10^4 \text{ N/m}^2$. Selain itu, melalui simulasi tersebut juga dapat diketahui bahwa tegangan paling rendah terjadi pada titik inlet knalpot, terlihat pada Gambar 1.



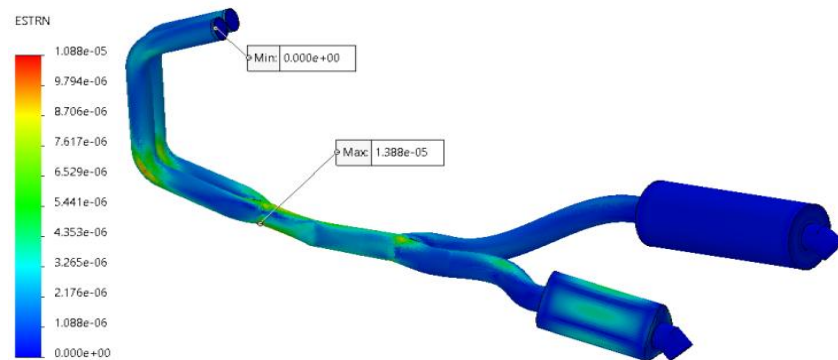
Gambar 1. Hasil simulasi tegangan (von Mises stress)

Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa sambungan percabangan kedua inlet merupakan area kritis yang perlu diperhatikan dalam desain knalpot, karena rentan terhadap tegangan yang tinggi. Sebaliknya, titik inlet knalpot tidak memiliki tegangan, menandakan bahwa area tersebut relatif lebih aman dari segi tegangan dan kekuatan, terlihat pada Gambar 2 berikut.



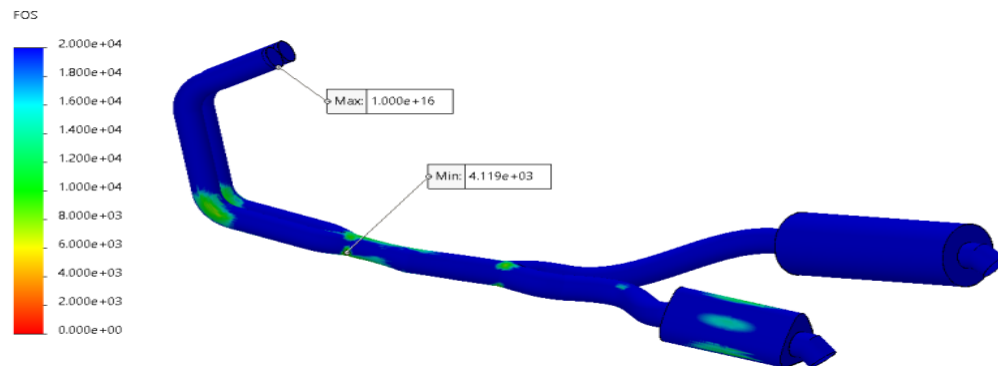
Gambar 2. Hasil simulasi pergeseran struktur (*Displacement*)

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa terdapat pergeseran struktur tertinggi pada bagian muffler atau outlet gas buang, dengan nilai mencapai 0,324 mm. Sedangkan pergeseran struktur terkecil terjadi pada titik inlet exhaust, dengan nilai sebesar 0,001 mm. Hal ini menunjukkan bahwa bagian inlet exhaust memiliki deformasi yang relatif kecil dan lebih stabil dibandingkan dengan bagian muffler, terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil simulasi dari regangan (*strain*)

Hasil analisis regangan atau strain pada Gambar 1 menunjukkan bahwa regangan terbesar terjadi pada sambungan percabangan kedua inlet (ditengah) yaitu sebesar $1,388 \times 10^{-5}$ sedangkan bahwa tegangan paling rendah terjadi pada titik inlet knalpot, terlihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Hasil simulasi dari *factor of safety*

Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan nilainya lebih dari 1, yaitu dengan nilai minimum sebesar 4.119 yaitu pada sambungan percabangan kedua inlet (di tengah). Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan bahan dari exhaust terhadap stress yang diberikan tergolong aman.

B. Pengujian Kebisingan

Gambar 5 menunjukkan bahwa saat katup hanya terbuka dan terfokus pada aliran pipa ke muffler yang lebih panjang ketika motor dalam kondisi idle atau dalam kondisi RPM rendah yang tidak diberikan akselerasi sama sekali maka menghasilkan rata-rata tingkat kebisingan sebesar 58 dB, ketika motor dalam kondisi di gas secara mendadak maka putaran mesin otomatis akan secara cepat meningkat sehingga memberikan kondisi maksimum sebesar 86.4 dB yang dimana melebihi batas regulasi yang ditetapkan oleh pemerintah, yaitu sebesar 83 dB. Pengujian kebisingan (*Noise Testing*) merupakan metode yang digunakan untuk mengukur tingkat kebisingan yang dihasilkan oleh sebuah knalpot, khususnya pada kendaraan bermotor, mesin industri, dan alat berat. Pengujian ini penting untuk memastikan knalpot memenuhi standar kebisingan yang ditetapkan oleh peraturan pemerintah atau

regulasi lingkungan yang berlaku, serta untuk menjaga kenyamanan pengguna dan orang di sekitarnya. Namun jika gas pada motor dilakukan secara normal maka putaran mesin juga akan secara bertahap meningkat dan dalam kondisi ini knalpot tidak akan mencapai kondisi puncak yaitu sebesar 86,4 dB dan dapat disimpulkan bahwa jika motor dikendarai dengan aman maka knalpot pada aliran pipa pertama masih memiliki tingkat kebisingan yang aman dan sesuai dengan regulasi pemerintah, terlihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Nilai kebisingan pada saat katup terbuka (*muffler* berukuran panjang)

Kendaraan atau mesin diam, dan pengukuran dilakukan saat mesin berjalan pada kecepatan rendah hingga sedang (biasanya RPM ditentukan oleh standar). Mikrofon ditempatkan pada jarak tertentu dari knalpot (biasanya 0,5 hingga 1 meter) dan pada sudut tertentu (misalnya 45 derajat dari ujung knalpot). Saat katup hanya terbuka dan fokus pada aliran pipa ke *muffler* yang lebih pendek serta motor dalam keadaan idle atau putaran mesin rendah tanpa akselerasi, tingkat kebisingan rata-rata yang dihasilkan yaitu sebesar 74 dB seperti yang terlihat pada Gambar 6. Jika gas diberikan secara tiba-tiba, putaran mesin akan naik dengan cepat mencapai tingkat kebisingan maksimum 91.1 dB, yang melebihi batas regulasi pemerintah sebesar 83 dB, terlihat pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Nilai kebisingan pada saat katup terbuka (*muffler* berukuran pendek)

Setelah pengujian, hasil kebisingan dievaluasi berdasarkan perbandingan dengan batas kebisingan yang ditetapkan oleh regulasi. Jika melebihi batas, knalpot atau sistem perlu dimodifikasi atau dioptimalkan untuk mengurangi kebisingan. Pada kondisi aliran pipa kedua masih memiliki suara yang melewati batas yang telah ditetapkan oleh regulasi pemerintah yaitu sebesar 83 dB meskipun motor diberikan akselerasi secara bertahap. Hal ini dapat terjadi karena ukuran muffler yang lebih pendek mempengaruhi tingkat kebisingan suara. Oleh karena itu, kondisi aliran pipa kedua ini hanya dapat digunakan dalam situasi dimana regulasi kebisingan tidak menjadi faktor penentu, seperti dalam kompetisi balap yang memperbolehkan tingkat kebisingan yang tinggi, terlihat pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Nilai kebisingan saat katup menutupi kedua pipa aliran

Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa saat katup dalam kondisi menutup kedua aliran pipa dalam kondisi idle decibel suara yang dihasilkan hanya memiliki rata-rata sebesar 50 dB dan ketika dalam kondisi motor diberikan akselerasi secara mendadak tingkat kebisingan yang dihasilkan hanya sebesar 72.8 dB yang dimana tingkat kebisingan tersebut masih dapat dikatakan aman dan sesuai dengan regulasi pemerintah. Pada kondisi ini dimana katup menutup kedua aliran pada knalpot maka tingkat kebisingan knalpot dapat dikurangi secara signifikan.

KESIMPULAN

1. Desain menggunakan material stainless steel AISI 304 masih tergolong aman dan layak untuk digunakan karena memiliki distribusi panas yang merata namun memiliki nilai minimum *factor of safety* sebesar minimum $4.119 > 1$, hasil tersebut didapat berdasarkan hasil uji coba simulasi tegangan, regangan dan pergeseran struktur.
2. Untuk mendapatkan desain knalpot yang lebih baik, sangat disarankan untuk menguji emisi yang dihasilkan oleh knalpot yang telah dirancang, termasuk gas buang dan partikel yang terkandung di dalamnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andika, R. F., & Sudirman, H. (2017). Pengaruh desain knalpot terhadap emisi gas buang dan kebisingan pada kendaraan bermotor. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(2), 45-52.
- [2] Ahmad Saepuddin, Bella Cornelia Tjiptady, Candra Pradhana, Mojibur Rohman, Ratna Fajarwati Meditama, "Pengaruh modifikasi Knalpot Terhadap Performa Dan Suhu Mesin Pada Sepeda Motor Satria F150", *G-Tech : Jurnal Teknologi Terapan*, Volume 7, No. 1, hal. 280-288, 2023.
- [3] Budi, S., & Santoso, T. (2020). Analisis pengaruh variasi panjang pipa knalpot terhadap tingkat kebisingan motor 4-tak. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 12(3), 112-119. <https://doi.org/10.1016/j.jrm.2020.11.013>
- [4] Fauzi, A. H., & Yulianto, D. (2016). Studi perbandingan peredaman suara pada knalpot sepeda motor menggunakan bahan peredam alami dan sintetis. *Jurnal Inovasi Teknik Mesin*, 8(4), 204-211. <https://doi.org/10.23887/jitm.v8i4.204>
- [5] Gunawan, H. M., & Surya, F. (2018). Pengaruh modifikasi knalpot racing terhadap performa mesin dan tingkat kebisingan kendaraan bermotor. *Jurnal Teknologi Otomotif*, 7(1), 78-85. <https://doi.org/10.1234/jto.v7i1.190>
- [6] Iskandar, M., & Subroto, T. (2019). Efektivitas knalpot dengan desain resonansi pada pengurangan polusi suara. *Jurnal Teknologi Mesin Indonesia*, 5(2), 67-74. <https://doi.org/10.1234/jtmi.v5i2.175>
- [7] Kurniawan, A., & Rahmat, S. (2021). Pengujian kebisingan pada knalpot kendaraan menggunakan metode ISO 362 di Indonesia. *Jurnal Teknik Industri*, 10(3), 312-320.
- [8] M. Nasir, Y. Syaida, R. Rifdarmon, and W. Wagino, "Perbandingan Jenis knalpot Standar Dengan Knalpot racing Terhadap back pressure, temperature, Dan Suara Pada Sepeda motor 4 tak," *JTPVI*, 2023.
- [9] Prasetyo, A., & Wicaksono, R. (2015). Desain knalpot motor balap untuk optimasi tenaga dan pengurangan kebisingan. *Jurnal Mesin dan Kinerja Otomotif*, 4(1), 25-33. <https://doi.org/10.26623/jmko.v4i1.123>
- [10] Parmin Lumban Toruan, Pengaruh Diameter Knalpot Sepeda Motor Terhadap Intensitas Bunyi, *Jurnal Penelitian Fisika dan Terapannya (Jupiter)*, 2 (1), 2020.
- [11] Ramadhan, F., & Suryani, E. (2019). Analisis tingkat kebisingan knalpot motor pada berbagai variasi kecepatan. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 14(2), 98-105. <https://doi.org/10.21009/jtmi.v14i2.321>
- [12] Setiawan, R., & Sukmawati, D. (2018). Pengaruh variasi diameter pipa knalpot terhadap tingkat kebisingan sepeda motor 2-tak. *Jurnal Teknologi Mesin Terapan*, 9(2), 154-160.
- [13] Syaief, A. N., Norsujianto, T., Maulana, R. R., & Maknunah, S., Pengaruh Exhaust Manifold Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Pada Suzuki Smash Tahun 2007. *ELEMEN: Jurnal Teknik Mesin*, 1(1), 18-21, 2015.
- [14] Yudhistira, M. A., & Permana, S. (2020). Evaluasi kebisingan knalpot kendaraan roda dua dengan desain peredam multi-chamber. *Jurnal Teknik Otomotif Indonesia*, 15(1), 55-63. <https://doi.org/10.14710/jtoi.v15i1.223>