



Variasi Dimensi *Ellipse Silencer* terhadap Torsi, *Bmep*, Kebisingan Mesin Bensin

Bima Samudra Nurrohman^{1*}, Yuniarto Agus Winoko²

^{1,2} Program Studi Sarjana Terapan Teknik Otomotif Elektronik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang

*Penulis Korespondensi: bimbimsam23@gmail.com¹

Abstract. An exhaust pipe is a tubular device used to channel combustion gases from a vehicle's engine into the environment. In addition to this primary function, the exhaust also serves to reduce the noise level produced by engine combustion. The component of the exhaust system that significantly affects torque, brake mean effective pressure (BMEP), and noise level is the silencer. This study aims to compare the torque, BMEP, and noise levels produced by variations in the length and construction dimensions of elliptical filter designs in the silencer. The silencers used in this research have lengths of 280 mm, 300 mm, and 260 mm, with short ellipse filter diameters of 25 mm and long ellipse filter diameters of 30 mm, 40 mm, and 50 mm. The research employs an experimental quantitative method, and the data were analyzed using one-way Analysis of Variance (ANOVA). The experiment was conducted in a Mechanical Engineering workshop using a Yamaha R15 V3 155cc injection motorcycle (2021), a Super Dyno 50L dyno test, and a sound level meter, from February to April 2024. The engine speeds tested were 1500, 2500, 3500, 4500, 5500, and 6500 rpm. The results show that the variation of ellipse dimensions 25 mm × 50 mm × 260 mm produced a maximum torque of 12.77 N-m at 4500 rpm, a maximum BMEP of 1021 kPa at 4500 rpm, and a noise level of 80.3 dB. The variation 25 mm × 40 mm × 300 mm produced a maximum torque of 12.88 N-m, a BMEP of 1042 kPa, and a noise level of 75.60 dB, while the variation 25 mm × 30 mm × 280 mm produced a maximum torque of 12.67 N-m, a BMEP of 1013 kPa, and a noise level of 75.63 dB.

Keywords: BMEP; Exhaust; Noise Level; Silencer; Torque.

Abstrak. Knalpot merupakan alat berbentuk pipa yang digunakan untuk menyalurkan gas hasil pembakaran mesin kendaraan ke lingkungan, tidak hanya itu knalpot juga memiliki fungsi lain yaitu untuk mengurangi tingkat kebisingan kendaraan yang dihasilkan oleh pembakaran mesin. Komponen pada knalpot yang mempengaruhi torsi, daya, dan tingkat kebisingan adalah pada *silencer*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkomparasikan torsi, *BMEP*, dan tingkat kebisingan yang dihasilkan oleh variasi panjang dan dimensi konstruksi saringan berbentuk *ellipse* pada *silencer* yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu knalpot *custom* dengan panjang *silencer* 280 mm, 300 mm, 260 mm dengan konstruksi saringan diameter pendek *ellipse* 25 mm, dan konstruksi saringan diameter panjang *ellipse* dengan variasi 30 mm, 40 mm, 50 mm. Metode penelitian menggunakan metode eksperimental, dan metode ini termasuk pada penelitian kuantitatif. Untuk mengolah data hasil penelitian menggunakan metode *Analysis of Variance (ANOVA)* dengan jenis *one way ANOVA*. Penelitian ini akan dilakukan di Bengkel Teknik Mesin menggunakan motor Yamaha R15 V3 155cc injeksi tahun 2021 dan menggunakan alat *dyno test* (Super Dyno 50L), dan *sound level meter* yang dimulai pada bulan februari 2024 sampai April 2024, dan juga melakukan beberapa variasi putaran mesin 1500 putaran mesin, 2500 putaran mesin, 3500 putaran mesin, 4500 putaran mesin, 5500 putaran mesin, 6500 putaran mesin. Hasil penelitian oleh variasi panjang dan dimensi ellipse 25mm x 50mm x 260mm menghasilkan torsi maksimal 12,77 N.m pada 4500 putaran mesin, *BMEP* maksimal 1021 kpa pada 4500 putaran mesin, dan tingkat kebisingan 80,3 dB. Untuk variasi panjang dan dimensi *ellipse* (25mm x 40mm x 300mm) menghasilkan torsi maksimal 12,88 N.m pada 4500 putaran mesin, *BMEP* maksimal 1042 kpa pada 4500 putaran mesin, dan tingkat kebisingan 75,60 dB. Untuk variasi panjang dan diameter ellipse (25mm x 30mm x 280mm) menghasilkan torsi maksimal 12,67 N.m pada 4500 putaran mesin, *BMEP* maksimal 1013 kpa pada 4500 putaran mesin, dan tingkat kebisingan 75,63 dB.

Kata kunci : *BMEP*; Kebisingan; Knalpot; *Silencer*; Torsi.

1. PENDAHULUAN

Knalpot adalah komponen yang sering menjadi target para pemilik sepeda motor untuk melakukan modifikasi. Knalpot terdiri dari beberapa bagian yaitu *header*, *silencer*, dan *katalis converter* yang berfungsi sebagai penyaring gas buang. Kontruksi pada knalpot standar

membuat torsi dan daya padasepeda motor jadi kurang maksimal yang diakibatkan oleh sekat yang berada pada *silencer*. Sekat pada *silencer* memberikan fenomena tekanan balik dan sisa gas buang yang masuk ke dalam silinder mengakibatkan campuran udara-bahan bakar menjadi tidak seimbang (Febritasari, Dkk. 2023).

Proses pembakaran pada mesin menciptakan ledakan yang mampu mendorong piston dan menghasilkan gas buang yang disalurkan ke sistem *exhaust*. Pada sistem pembuangan sendiri memiliki prinsip semakin lancar jalur pembuangan maka tenaga yang dihasilkan juga semakin baik, oleh karena itu kontruksi knalpot mulai dari *header*, diameter *inlet*, dan *silencer* akan sangat berpengaruh terhadap performa yang dihasilkan. Namun gas buang yang terlalu lancar juga dapat menyebabkan penurunan performa karena tekanan balik yang tepat dapat membantu memberi pengaruh efek vakum yang dapat membantu mengeluarkan gas buang yang keluar agar tidak terjebak di ruang kerja mesin memanfaatkan tekanan gas buang yang memantul akibat kontruksi knalpot yang tidak terlalu lancar (Putra, Dkk. 2018).

Tidak hanya untuk meningkatkan performa kendaraan modifikasi knalpot juga dilakukan untuk memenuhi kepuasan konsumen dengan cara menikmati suara yang dihasilkan. Namun dalam hal ini juga memiliki dampak negatif bagi tingkat kenyamanan berkendara saat di jalan raya, suara yang dihasilkan oleh knalpot *free flow* cenderung lebih bising apalagi ketika pengendara berjalan pada putaran mesin tinggi. Panjang saluran *header*, kontruksi dan panjang *silencer* memiliki peran penting dalam mengontrol suara atau tingkat kebisingan yang dihasilkan.

Oleh karena itu pada penelitian ini melakukan pengujian pada mesin sepeda motor *sport* 155 cc dengan memvariasikan diameter panjang kontruksi saringan berbentuk *ellipse* pada *silencer* untuk mengetahui torsi, *BMEP*, dan tingkat kebisingan yang dihasilkan. Berdasarkan latar belakang diatas penyusun akan melakukan analisis terhadap “Variasi Panjang dan Dimensi Konstruksi *Ellipse silencer* Terhadap Torsi, *BMEP*, dan Kebisingan Mesin Bensin”.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Motor Bensin

Kozak, Dkk. (2025) menyatakan bahwa motor bensin atau *spark ignition* merupakan salah satu jenis motor pembakaran dalam yang banyak digunakan untuk menggerakkan atau sebagai sumber tenaga dari kendaraan darat. Motor bensin menghasilkan tenaga dari perubahan energi panas yaitu bahan bakar menjadi energi mekanik berupa daya poros pada putaran poros engkol. Energi panas diperoleh dari pembakaran bahan bakar dengan bantuan percikan bunga api yang berasal dari busi untuk menghasilkan gas pembakaran. Menurut Argueyrolles, Dkk. (2025)

berdasarkan siklus kerjanya motor bensin dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu motor bensin dua langkah atau yang lebih sering disebut motor dua tak dan motor bensin empat langkah atau motor empat tak. Motor bensin dua langkah merupakan motor bensin yang memerlukan dua kali langkah torak, untuk menghasilkan satu kali daya. sedangkan motor bensin empat langkah merupakan motor bensin yang memerlukan empat kali langkah torak, dua kali putaran poros engkol untuk menghasilkan satu kali daya (Zacarias, Dkk. 2025). Berdasarkan pernyataan diatas, maka dapat disimpulkan bahwa motor bensin adalah salah satu jenis motor pembakaran dalam (*internal combustion chamber*) yang menghasilkan tenaga dari perubahan energi panas yaitu bahan bakar menjadi energi mekanik berupa daya poros pada putaran poros engkol.

Knalpot

Knalpot adalah salah satu komponen pada kendaraan yang memiliki fungsi cukup penting yaitu sebagai peredam suara yang dihasilkan oleh ruang bakar. Tidak hanya sebagai peredam suara pemilihan knalpot yang tepat dapat meningkatkan kinerja mesin, karena sebenarnya knalpot memiliki prinsip kerja yaitu semakin jalur pembuangan lancar maka tenaga mesin pun akan keluar secara maksimal. Budiyo, Dkk. (2023). Dengan berkembangnya teknologi juga merupakan salah satu alasan mengapa pada jaman ini banyak sekali modifikasi yang dilakukan pada knalpot standar atau juga biasanya kebanyakan orang juga membeli knalpot dari *Aftermarket*.

Siklus Otto

Yuniarto (2018) menyatakan bahwa siklus Otto adalah siklus termodinamika ideal yang digunakan untuk menggambarkan kerja mesin pembakaran dalam dengan pengapian busi (seperti mesin bensin).

Torsi

Torsi berhubungan dengan daya dari motor. Torsi maksimal tidak harus dihasilkan pada saat daya maksimal. Hubungan torsi dengan putaran mesin menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran mesin, maka torsi semakin meningkat sampai mencapai titik maksimum pada putaran tertentu Yuniarto (2018).

BMEP

BMEP atau (*Brake Mean Effective Pressure*) adalah nilai tekanan rata-rata pada ruang bakar untuk mendorong piston melakukan usaha yang terjadi selama proses pembakaran. Menurut penelitian dari (Winoko & Wijaya, 2023) nilai *BMEP* dipengaruhi oleh torsi pada kendaraan, jadi semakin besar torsi yang dihasilkan maka akan semakin besar juga nilai *BMEP* yang dihasilkan.

Kebisingan

Suara pada knalpot disebabkan oleh proses pembakaran yang terjadi pada mesin kendaraan. Pada *silencer* knalpot bawaan pabrik sendiri memiliki desain konstruksi yang berbelok-belok dengan diameter pipa yang diperkecil yang berfungsi sebagai peredam suara, karena pada Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 56 tahun 2019 tentang ambang batas kebisingan kendaraan bermotor, menyatakan bahwa untuk motor berkubikasi kurang dari 80 cc, maksimal bisingnya adalah 77 dB, untuk kubikasi 80 cc-175 cc, maksimal bisingnya adalah 80 dB, sementara untuk motor berkubikasi di atas 175 cc, maksimal bisingnya adalah 83 dB. Berbeda dengan konstruksi knalpot standar knalpot *freeflow* tidak memiliki konstruksi knalpot yang rumit oleh sebab itu suara yang dihasilkan oleh knalpot *freeflow* cenderung lebih keras yang berada dikisaran angka 90-100 dB.

Scavenging

Scavenging berkaitan dengan proses pembersihan gas buang dari ruang bakar mesin pembakaran dalam. Scavenging adalah proses masuknya udara segar ke dalam silinder sekaligus mengeluarkan gas sisa pembakaran agar ruang bakar siap untuk siklus pembakaran berikutnya. *Scavenging* terbagi menjadi dua yaitu *loop scavenging* dan *uniflow scavenging*. *Loop scavenging* dimana *port inlet* dan *outlet exhaust* berada pada sisi yang sama dengan ketinggian berbeda. Udara segar masuk dan mendorong gas buang keluar dengan pola melingkar di dalam silinder. *Uniflow scavenging* dimana udara segar masuk dari port bawah silinder dan mendorong gas buang keluar melalui port exhaust di bagian atas silinder. Aliran udara satu arah ini lebih efisien dalam membersihkan ruang bakar.

Resonansi

Resonansi adalah fenomena di mana suatu benda atau sistem bergetar akibat pengaruh getaran dari benda lain yang memiliki frekuensi yang sama atau kelipatan dari frekuensi sumber getaran tersebut. Dengan kata lain, resonansi terjadi ketika frekuensi alami suatu benda sama dengan frekuensi getaran eksternal yang diberikan, sehingga amplitudo getaran benda tersebut menjadi sangat besar. Prinsip dasar resonansi yaitu pertama resonansi terjadi karena interferensi konstruktif dari dua gelombang yang memiliki frekuensi sama. Kedua benda yang beresonansi akan mengalami getaran maksimum karena energi yang diterima dari sumber getaran eksternal diserap secara efektif. Ketiga frekuensi alami benda adalah frekuensi di mana benda tersebut cenderung bergetar secara alami tanpa pengaruh eksternal.

Turbulensi Gas Buang

Turbulensi gas buang adalah kondisi aliran gas sisa pembakaran yang bergerak tidak teratur dan bercampur secara intensif, berbeda dengan aliran laminar yang bergerak dalam lapisan-lapisan halus. Dalam aliran turbulen, partikel-partikel fluida bergerak dengan pola acak dan terjadi pencampuran serta putaran antar lapisan fluida yang menyebabkan pertukaran momentum secara besar-besaran. Sistem gas buang merupakan output dari proses pembakaran yang mentransfer gas sisa pembakaran dari ruang bakar ke saluran pembuangan. Turbulensi dalam gas buang berperan penting dalam meningkatkan pencampuran udara dan bahan bakar, memperbaiki proses pembakaran, serta mengoptimalkan efisiensi mesin. Turbulensi yang terjadi di saluran gas buang dapat meningkatkan kecepatan dan pencampuran gas sehingga pembakaran menjadi lebih sempurna dan emisi gas buang dapat dikurangi. Oleh karena itu, turbulensi gas buang merupakan fenomena aliran fluida yang tidak teratur dan bercampur intensif yang sangat berperan dalam proses pembakaran mesin. Dengan meningkatkan turbulensi, pencampuran bahan bakar dan udara menjadi lebih baik, pembakaran menjadi lebih sempurna, dan emisi gas buang dapat dikurangi. Oleh karena itu, desain sistem udara dan gas buang yang mampu mengoptimalkan turbulensi sangat penting untuk efisiensi mesin dan pengurangan polusi.

Back Pressure Gas Buang

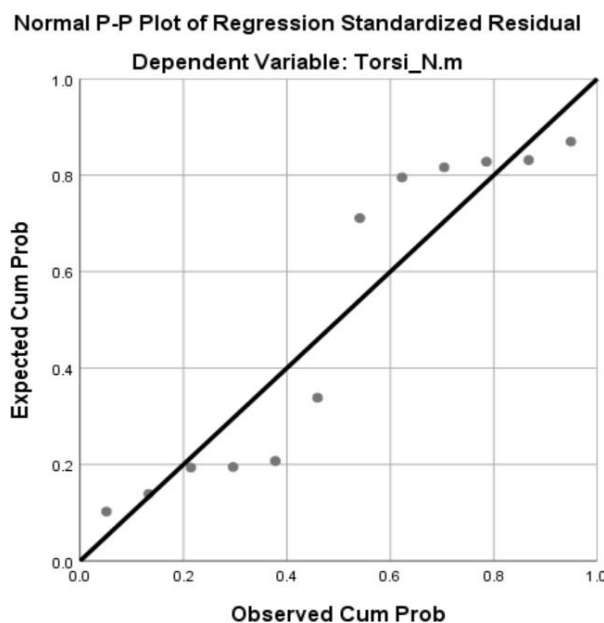
Back pressure adalah tekanan yang muncul akibat hambatan yang dialami gas buang selama proses pembuangan dari ruang bakar ke sistem pembuangan. Tekanan ini merupakan pantulan gelombang tekanan gas buang yang telah keluar dari silinder dan kembali ke arah silinder. *Back pressure* terjadi ketika tekanan dalam sistem gas buang lebih tinggi dari tekanan atmosfer, misalnya pada manifold, pipa knalpot, sambungan, *muffler*, atau *catalytic converter*. Pada mesin pembakaran dalam, gas buang harus keluar dari ruang bakar melalui katup buang saat langkah buang. Jika terdapat hambatan pada jalur pembuangan, gas buang akan mengalami tekanan balik yang menghambat keluarnya gas tersebut secara efisien. Tekanan balik ini dapat menyebabkan sebagian gas buang yang sudah terbakar sebagian masuk kembali ke ruang bakar saat terjadi *overlap* katup (periode di mana katup masuk dan katup buang terbuka bersamaan). Hal ini menyebabkan campuran udara- bahan bakar yang masuk bercampur dengan gas buang sisa, sehingga mengurangi efisiensi pembakaran.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental (penelitian kuantitatif). Waktu penelitian ini dilakukan 3 bulan mulai bulan Februari 2024 sampai Mei 2024. Tempat pelaksanaan penelitian ini akan dilakukan di Bengkel Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang. Pengolahan data yang digunakan untuk menganalisa pengaruh variasi panjang *silencer* dan variasi konstruksi diameter panjang *ellipse* pada saringan knalpot terhadap torsi, *BMEP*, dan kebisingan adalah dengan cara kuantitatif metode eksperimen.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan Data Torsi



Gambar 1. Grafik *Distribusi Data* Torsi

Grafik yang ditampilkan Gambar 1 di atas adalah *probability plot* yang digunakan untuk mengevaluasi apakah data torsi mengikuti distribusi normal sumbu horizontal ini menunjukkan nilai torsi yang dihasilkan, sumbu vertikal ini menampilkan persentase kumulatif dari data torsi. Persentase ini menunjukkan dimana nilai-nilai torsi tersebut berada dalam distribusi kumulatif, titik biru pada grafik mewakili satu nilai torsi dari data yang diujikan. Jika data mengikuti distribusi normal, titik-titik ini akan sejajar atau mendekati garis diagonal, garis ini menunjukkan distribusi normal yang ideal. Sebagian besar titik pada *plot* berada dekat dengan garis, menunjukkan bahwa data torsi secara keseluruhan cenderung mengikuti distribusi normal, meskipun ada beberapa penyimpangan kecil di ujung-ujung distribusi. Nilai P sebesar 0,101 lebih besar dari 0,05, menunjukkan bahwa data mengikuti distribusi normal. Secara keseluruhan, *probability plot* ini menunjukkan bahwa data torsi distribusi normal.

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.370	1	.370	17.432	.000
	Residual	.497	10	.050		
	Total	.867	11			

a. Dependent Variable: Torsi_N.m

Gambar 2. ANOVA Torsi

Pada Gambar 2 menunjukkan hasil analisis varian (*ANOVA*) yang digunakan untuk menguji pengaruh faktor tipe *silencer* terhadap variabel dependen, dalam hal ini adalah torsi. Untuk *Sum of Squares* tipe *silencer* memiliki nilai sebesar 0,370 adalah jumlah kuadrat yang disesuaikan yang dijelaskan oleh variasi antara tipe *silencer*, nilai *residual* sebesar 0,497 ini adalah jumlah kuadrat yang disesuaikan yang tidak dapat dijelaskan oleh tipe *silencer*, melainkan oleh variasi acak, nilai total sebesar 0,867 ini adalah total jumlah kuadrat yang disesuaikan, yang merupakan jumlah dari *Sum of Squares* untuk tipe *silencer* dan *residual*.

Untuk *Mean Square* tipe *silencer* memiliki nilai sebesar 0,370 ini adalah rata-rata dari jumlah kuadrat yang disesuaikan untuk faktor tipe *silencer* (SS / DF), nilai *residual* sebesar 0,050 ini adalah rata-rata dari jumlah kuadrat yang disesuaikan untuk *residual*, kemudian nilai *F* sebesar 17,432 ini adalah nilai statistik *F*, yang menunjukkan seberapa besar variasi antara grup (dalam hal ini, tipe *silencer*) dibandingkan dengan variasi dalam grup (*residual*). Nilai *F* yang lebih besar menunjukkan perbedaan yang lebih besar antara grup, kemudian nilai *sig.* sebesar 0,000 ini menunjukkan signifikansi statistik, dari hasil. *sig.* yang sangat rendah (biasanya $< 0,05$) menunjukkan bahwa ada perbedaan yang signifikan secara statistik antara grup, yang berarti bahwa variasi torsi secara signifikan dipengaruhi oleh jenis tipe *silencer*.

Secara keseluruhan hasil *ANOVA* ini menunjukkan bahwa variasi torsi yang dihasilkan oleh kendaraan secara signifikan dipengaruhi oleh perbedaan tipe *silencer*. Dengan *F* sebesar 17,432 dan *sig.* sebesar 0,000 (yang sangat rendah), kita dapat menyimpulkan bahwa ada perbedaan yang sangat signifikan antara tipe *silencer* yang diuji. Hal ini berarti bahwa tipe *silencer* memiliki pengaruh besar terhadap torsi kendaraan dalam konteks eksperimen ini.

Model Summary^b

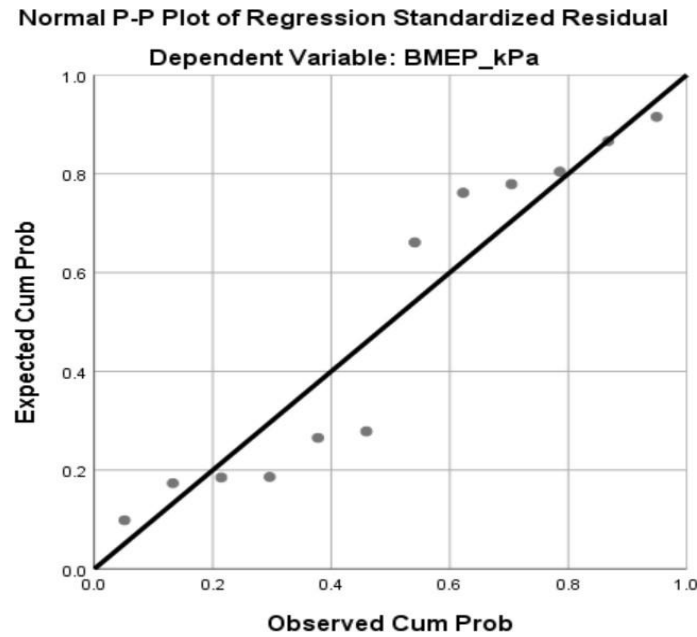
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.653 ^a	.634	.690	64.22305

a. Predictors: (Constant), Variasi_Silincer
 b. Dependent Variable: Torsi_N.m

Gambar 3. Model Summary Torsi

Pada Gambar 3 menampilkan ringkasan model regresi (*Model Summary*) dari analisis regresi atau model statistik. Yang meliputi nilai *R* (*Standard Error of the Regression*) menunjukkan *standard error* dari model regresi, yang merupakan ukuran seberapa jauh data sebenarnya menyebar dari garis regresi yang diprediksi. Semakin kecil nilai *S* maka semakin baik model dalam memprediksi data. Dalam hal ini, nilai *S* sebesar 0,653 menunjukkan bahwa rata-rata deviasi residual dari model regresi adalah sekitar 0,653 unit, selanjutnya *R-Square* menunjukkan ukuran proporsi variabilitas dalam variabel dependen (torsi). Dengan nilai *R-square* sebesar 63,4%, ini berarti model mampu menjelaskan 42,6% dari total variabilitas dalam data ini menunjukkan bahwa model memiliki tingkat ketepatan yang sangat tinggi, berikutnya adalah *Adjusted R-Squared* adalah versi modifikasi dari *R-squared* yang telah disesuaikan dengan jumlah prediktor dalam model. Penyesuaian ini menghindari *overfitting* dengan penalti pada model yang memiliki terlalu banyak variabel. Dengan nilai 69%, ini menunjukkan bahwa meskipun model menjelaskan sebagian besar variabilitas, ada sedikit penurunan ketepatan setelah mempertimbangkan jumlah variabel dalam model, dan yang terakhir adalah *Std. Error of the Estimate* mengukur kemampuan prediktif dari model terhadap data baru yang tidak digunakan dalam *fitting* model. Nilai ini memberikan gambaran seberapa baik model akan berkinerja pada data yang belum pernah dilihat sebelumnya. Dengan nilai sebesar 64,223%, ini menunjukkan bahwa model masih cukup baik dalam memprediksi data baru meskipun ada sedikit penurunan dibandingkan dengan *R-squared* biasa.

Kesimpulan dari Model ini memiliki performa yang sangat baik dalam menjelaskan variabilitas data dengan *R-square* 63,4% dan cukup baik dalam menghindari *overfitting* dengan *adjusted R-squared* 69%. Selain itu, model ini juga memiliki kemampuan prediktif yang kuat terhadap data baru dengan *Std. Error of the Estimate* 64,223%.



Pengolahan Data *BMEP*

Gambar 4. Grafik Distribusi Data *BMEP*

Pada grafik yang ditunjukkan Gambar 4 adalah *probability plot* yang digunakan untuk memeriksa apakah data mengikuti distribusi normal. Pada *plot* ini, nilai *BMEP* (*Brake Mean Effective Pressure*) dari 12 sampel data diplot pada sumbu horizontal, sedangkan sumbu vertikal menunjukkan persentase kumulatif data yang diharapkan jika data tersebut berdistribusi normal. Titik-titik data yang terletak di sepanjang garis diagonal menunjukkan bahwa data *BMEP* mendekati distribusi normal. Dari *plot* ini, kita melihat bahwa sebagian besar titik data terletak cukup dekat dengan garis, yang mengindikasikan bahwa distribusi data *BMEP* normal. Ini diperkuat oleh nilai *P-Value* yang lebih besar dari 0,176, menunjukkan bahwa tidak ada bukti kuat untuk menolak hipotesis bahwa data *BMEP* berdistribusi normal.

Secara keseluruhan, plot ini menunjukkan bahwa normalitas untuk data *BMEP* dapat diterima, yang penting dalam analisis statistik lebih lanjut yang mungkin mengandalkan asumsi normalitas tersebut.

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3067.350	1	3067.350	15.981	.000
	Residual	5128.900	10	512.890		
	Total	8196.250	11			

a. Dependent Variable: BMEP_kPa

Gambar 5. ANOVA *BMEP*

Pada Gambar 5 menampilkan hasil Analisis Varian (ANOVA) yang digunakan untuk menguji perbedaan rata-rata di antara beberapa kelompok. Dalam tabel ini, terdapat tiga sumber variasi TipeMuffler atau silencer, Error, dan Total. TipeMuffler memiliki 3 derajat kebebasan (DF), yang menunjukkan adanya 4 kelompok yang dibandingkan, dengan jumlah kuadrat yang disesuaikan Sum of Squares sebesar 3036,350. Ini menunjukkan variasi yang dijelaskan oleh perbedaan antara kelompok. Residual memiliki nilai Sum of Squares sebesar 5128,9, yang menunjukkan variasi yang tidak dijelaskan oleh model. Total jumlah kuadrat adalah 8192,250,9, dengan total derajat kebebasan sebesar 11.

Selanjutnya, nilai mean kuadrat yang disesuaikan Mean Square untuk tipe silencer adalah 3067,35, yang diperoleh dari pembagian antara SS dengan DF, sementara untuk Residual nilai MS adalah 512,89. Nilai F untuk tipe silencer adalah 15,981, yang menunjukkan rasio variabilitas antara kelompok terhadap variabilitas dalam kelompok. Terakhir, nilai sig. yang diperoleh untuk tipe silencer adalah 0,000, yang menunjukkan bahwa perbedaan antara kelompok sangat signifikan secara statistik. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan yang sangat signifikan antara tipe-tipe silencer yang diuji.

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.612 ^a	.742	.731	64.70750

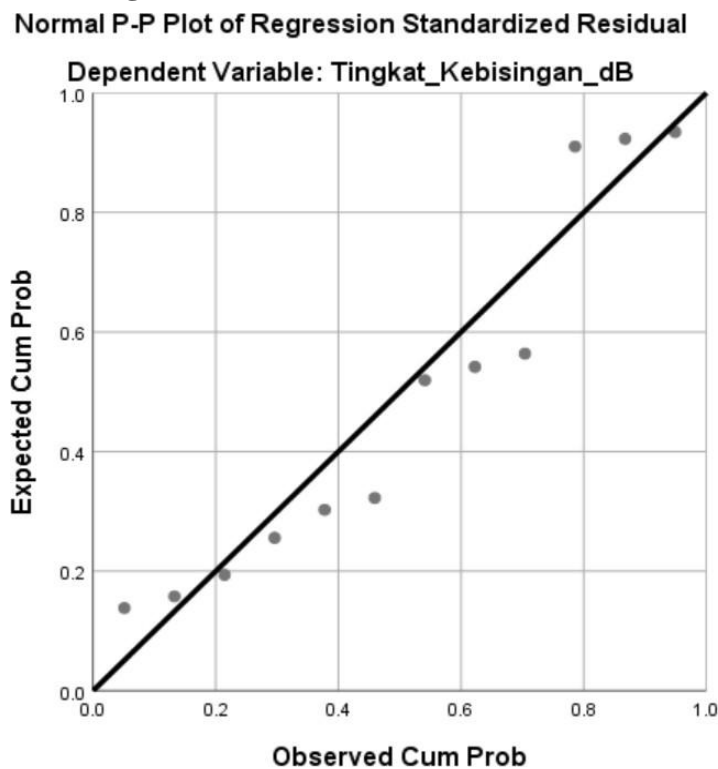
a. Predictors: (Constant), Variasi_Silincer
 b. Dependent Variable: BMEP_kPa

Gambar 6. Model Summary BMEP

Pada Gambar 6 tersebut menampilkan ringkasan model statistik yang mencakup beberapa metrik evaluasi penting. Terdapat empat indikator utama yang digunakan untuk menilai kinerja model yang pertama, nilai R (standar deviasi residual) dengan nilai sebesar 0,612 mengindikasikan deviasi standar dari residual atau kesalahan prediksi model, dimana semakin kecil nilai R, maka semakin baik model tersebut dalam menyesuaikan data, R-square dengan nilai sebesar 74,2% menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan 74,2 variasi dalam data yang diamati, menandakan seberapa baik model memprediksi data yang ada, Adjusted R-squared dengan nilai 73,1% memperbaiki R-square dengan mempertimbangkan jumlah prediktor dalam model, menunjukkan bahwa 73,1% dari variasi data dijelaskan oleh model setelah penyesuaian terhadap kompleksitas model, Std. Error of the Estimate sebesar 64,707% menggambarkan kemampuan model dalam memprediksi data baru atau yang belum diamati, memberikan gambaran tentang seberapa baik model tersebut dapat melakukan generalisasi

terhadap data yang tidak digunakan dalam pembentukan model. Secara keseluruhan, ringkasan model ini menunjukkan bahwa model memiliki kinerja yang sangat baik dengan kemampuan prediksi yang kuat, seperti ditunjukkan oleh tingginya nilai *R-square* dan *Adjusted R-square*, yang berarti sebagian besar variasi dalam data dapat dijelaskan oleh model.

Pengolahan Data Kebisingan



Gambar 7. Grafik Distribusi Data Kebisingan

Grafik yang ditunjukkan pada Gambar 7 menampilkan Plot Probabilitas untuk variabel kebisingan, digunakan untuk mengevaluasi apakah data mengikuti distribusi normal atau tidak. Sumbu horizontal menunjukkan nilai kebisingan sedangkan sumbu vertikal menunjukkan persentase kumulatif data. Poin-poin biru pada plot mewakili data sebenarnya, sementara garis diagonal menunjukkan distribusi normal yang diharapkan. Jika data mengikuti distribusi normal, titik-titik biru berada di sepanjang garis tersebut. Dalam plot ini, sebagian besar poin mendekati garis, meskipun ada beberapa yang menyimpang sedikit. Nilai Kolmogorov-Smirnov (KS) sebesar 0,2 mengukur kesesuaian data terhadap distribusi normal. Nilai P sebesar 0,2, yang lebih dari 0,05, menunjukkan bahwa data normal.

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.261	1	.261	12.048	.000
	Residual	1.276	10	.128		
	Total	1.538	11			

a. Dependent Variable: Tingkat_Kebisingan_dB

Gambar 8. ANOVA Kebisingan

Pada Gambar 8 adalah Tabel analisis variansi (ANOVA) menunjukkan hasil analisis untuk variabel tipe *silencer*. Tabel ini menguraikan sumber variasi, termasuk variabel bebas atau faktor tipe *silencer*, variabilitas yang tidak dijelaskan oleh model, dan total variasi (Total). *Sum of Squares* menunjukkan bahwa variansi yang dijelaskan oleh Tipe *Muffler* adalah 0,261, sedangkan variansi yang tidak dijelaskan oleh model (*Residual*) adalah 1,276. *Mean Square* untuk tipe *silencer* adalah 0,261, diperoleh dengan membagi *SS* dengan *DF*, sementara untuk *Residual*, *MS* adalah 0,1287. Nilai *F* untuk tipe *silencer* adalah 12,048, yang menunjukkan pengaruh signifikan dari Tipe *Mu* tipe *silencer ffler* terhadap variansi total dalam data dibandingkan dengan variansi acak (*Residual*). *Sig.* sebesar 0,000 menegaskan bahwa hasil ini sangat signifikan secara statistik, menunjukkan adanya pengaruh yang sangat kuat dari faktor tipe *silencer* terhadap variabel yang diuji. Secara keseluruhan, hasil ini mengindikasikan bahwa tipe *silencer* memiliki pengaruh signifikan dengan *F* yang sangat tinggi dan *Sig.* yang sangat rendah.

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.412 ^a	67.997	66.087	65.35725

a. Predictors: (Constant), Variasi_Silincer

b. Dependent Variable: Tingkat_Kebisingan_dB

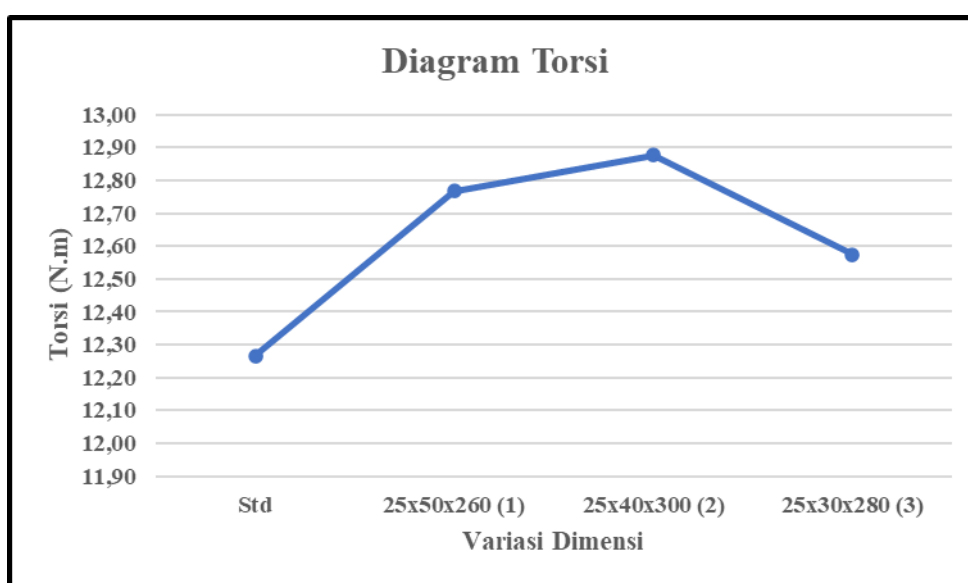
Gambar 9. Model Summary Kebisingan

Pada Gambar 9 diatas menunjukkan ringkasan dari model analisis regresi atau analisis varians ini menunjukkan performa yang sangat baik. Model yang digunakan memiliki standar *error* estimasi yang sangat kecil, dengan nilai sebesar 0,412, yang menandakan bahwa data observasi menyebar sangat rapat di sekitar garis regresi yang diprediksi. Hal ini menunjukkan akurasi tinggi dalam prediksi model, sehingga hasil prediksi sangat mendekati nilai sebenarnya. Selain itu, nilai *R-square* mencapai 67,997%, yang berarti model ini sangat efektif dalam menjelaskan variabilitas data respon. Dengan kata lain, hampir seluruh variasi dalam data dapat dijelaskan oleh variabel independen yang digunakan dalam model. *Adjusted R-square*, yang

sedikit lebih rendah pada 66,087%, tetap sangat tinggi dan menunjukkan bahwa penambahan variabel baru dalam model tidak menyebabkan overfitting, melainkan tetap relevan dan memberikan kontribusi signifikan. Terakhir, nilai *Predicted R-squared* sebesar 65,357% menegaskan kemampuan model dalam memprediksi nilai-nilai baru yang tidak terdapat dalam dataset yang digunakan, menunjukkan kemampuan prediktif yang sangat kuat. Secara keseluruhan, model ini tidak hanya menunjukkan kecocokan yang sangat baik dengan data yang ada, tetapi juga memiliki kemampuan prediktif yang luar biasa, dengan prediksi yang sangat akurat, menjadikannya alat analisis dan prediksi yang sangat efektif.

Pembahasan

Pembahasan Torsi



Gambar 10. Grafik Torsi

Grafik pada Gambar 10 diatas adalah diagram perbandingan yang menggambarkan hubungan antara variasi dimensi *ellipse silencer* dengan nilai torsi dan pada grafik ini diambil dari nilai torsi terbaik yang dihasilkan pada putaran mesin 4500, yang diukur dalam satuan *Newton-meter* (N·m). Pada sumbu horizontal menampilkan berbagai variasi dimensi ukuran seperti standar, variasi 1, variasi 2, dan variasi 3. Variasi dimensi ini menggambarkan ukuran atau konfigurasi fisik dari komponen yang diuji. Di sumbu vertikal, nilai torsi terukur berada dalam kisaran 12,20 N·m hingga 13,00 N·m. Diagram diatas menunjukkan bahwa *ellipse silencer* standar menghasilkan torsi 12,27 N·m, namun ketika menggunakan variasi 1 terjadi peningkatan signifikan dalam nilai torsi hingga mencapai 12,77 N·m, kemudian pada variasi 2 kembali terjadi peningkatan nilai torsi yang mencapai 12,88 N·m, akan tetapi pada variasi 3 nilai torsi mengalami penurunan kembali hingga mencapai 12,57 N·m. Kesimpulannya, diagram ini mengindikasikan bahwa variasi dimensi ellipse silencer dapat menghasilkan nilai

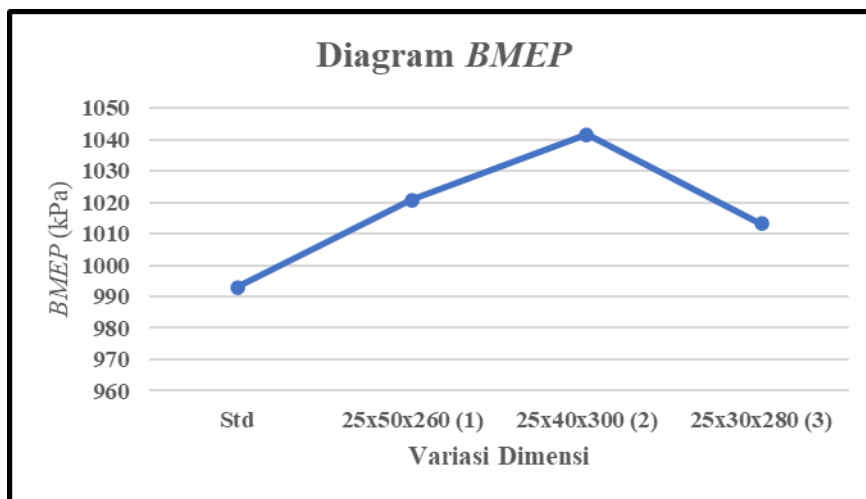
torsi yang lebih besar daripada menggunakan dimensi *ellipse silencer* standar, dengan dimensi *ellipse silencer* optimal untuk menghasilkan torsi maksimum terletak pada variasi 2 dengan menghasilkan nilai torsi 12,88 N·m.

Knalpot variasi 2 menghasilkan torsi yang lebih baik dibandingkan knalpot model standar karena beberapa alasan teknis yang terkait dengan desain dan dinamika aliran gas buang. Desain dimensi ini tampaknya dirancang untuk mengoptimalkan aliran gas buang dari mesin, yang dapat mengurangi tekanan balik (*back pressure*) dan meningkatkan efisiensi pembakaran, sehingga menghasilkan torsi yang lebih tinggi. Selain itu, volume knalpot yang lebih besar dapat membantu meredam tekanan dan memungkinkan gas buang mengalir lebih bebas. Efek resonansi yang lebih baik, yang sesuai dengan frekuensi operasional mesin, juga dapat meningkatkan efisiensi pembuangan gas, yang sering kali berkontribusi pada peningkatan torsi. Pengaturan panjang dan diameter pipa knalpot mungkin lebih cocok untuk meningkatkan efek *scavenging*, di mana gas buang yang keluar dari silinder membantu menarik masuk campuran bahan bakar-udara baru, meningkatkan efisiensi mesin dan menghasilkan torsi yang lebih besar. Selain itu, variasi 2 kemungkinan dirancang untuk mengurangi tekanan balik lebih efektif dibandingkan dengan knalpot standar, yang pada gilirannya meningkatkan performa mesin. Desain ini juga mungkin lebih baik dalam mengatur distribusi panas dan pengendalian suara, yang dapat berdampak positif pada efisiensi termal mesin dan berkontribusi pada peningkatan torsi. Secara keseluruhan, knalpot dengan variasi 2 tampaknya lebih unggul dalam mendukung aliran gas buang dan resonansi, mengurangi tekanan balik, dan mengoptimalkan aliran gas buang, yang semuanya berkontribusi pada peningkatan torsi dibandingkan knalpot model standar (Ping, Dkk. 2025).

Selain itu, knalpot standar dirancang untuk memenuhi standar emisi dan kebisingan, dengan sedikit mempertimbangkan optimasi performa. Knalpot dengan dimensi variasi 2 menawarkan potensi peningkatan torsi karena beberapa alasan yang pertama mengurangi *back pressure*, *back pressure* adalah resistensi terhadap aliran gas buang di dalam knalpot. *Back pressure* yang berlebihan dapat menghambat pembersihan silinder dan mengurangi tenaga mesin. Bentuk elips dan volume yang lebih besar pada silencer dapat membantu mengurangi *back pressure* tanpa mengorbankan peredaman suara. Kedua optimasi gelombang tekanan, dengan menyesuaikan panjang dan bentuk silencer, memungkinkan untuk menyatel gelombang tekanan di dalam knalpot agar sesuai dengan karakteristik mesin, hal ini dapat meningkatkan efisiensi pembersihan silinder dan bahkan membantu mengisi silinder dengan campuran udara-bahan bakar pada putaran mesin sehingga menghasilkan peningkatan torsi. Ketiga aliran gas yang lebih lancar, bentuk elips dan desain internal *silencer* yang baik dapat

membantu mengurangi turbulensi dan menciptakan aliran gas yang lebih lancar. Aliran yang lebih lancar mengurangi energi yang terbuang dan meningkatkan efisiensi knalpot. Oleh karena itu knalpot dengan dimensi variasi 2 berpotensi menghasilkan torsi yang lebih baik dibandingkan knalpot model standar karena kemampuannya untuk mengurangi back pressure, mengoptimalkan gelombang tekanan, dan menciptakan aliran gas yang lebih lancar.

Pembahasan BMEP



Gambar 11. Grafik BMEP

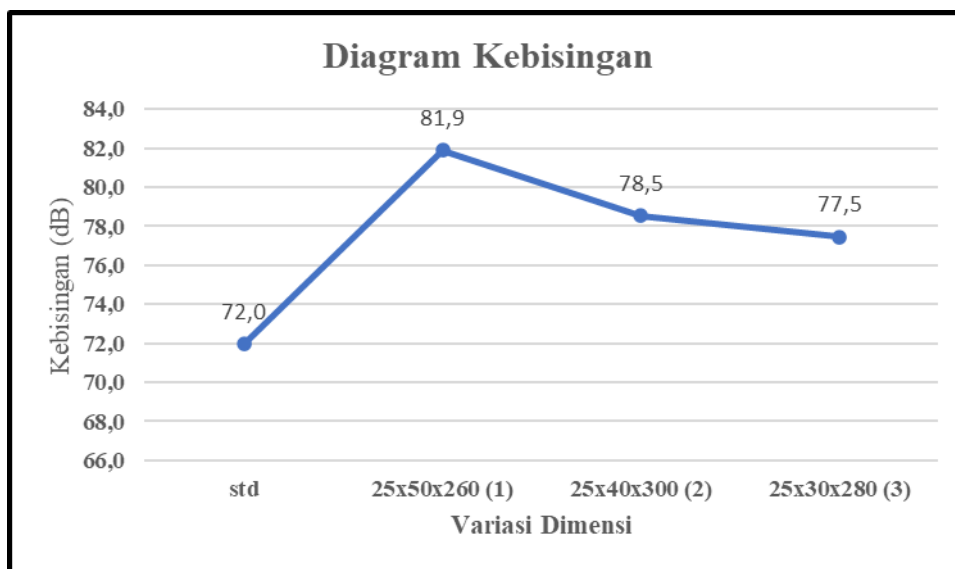
Pada Gambar 11 diatas adalah diagram perbandingan yang menggambarkan hubungan antara variasi dimensi *ellipse silencer* dengan nilai *BMEP* dan pada grafik ini diambil dari nilai *BMEP* terbaik yang dihasilkan pada putaran mesin 4500, yang diukur dalam satuan *kilo pascal* (kPa). Pada sumbu horizontal menampilkan berbagai variasi dimensi ukuran seperti standar, variasi 1, variasi 2, dan variasi 3. Variasi dimensi ini mencerminkan ukuran fisik dari komponen yang diuji. Di sumbu vertikal, nilai *BMEP* terukur berada dalam kisaran sekitar 990 kPa hingga 1020 kPa. Diagram diatas menunjukkan bahwa *ellipse silencer* standar menghasilkan nilai *BMEP* 993 kPa, namun ketika menggunakan variasi 1 terjadi peningkatan signifikan dalam nilai *BMEP* hingga mencapai 1021 kPa, kemudian pada variasi 2 kembali terjadi peningkatan nilai *BMEP* yang mencapai 1042 kPa, akan tetapi pada variasi 3 nilai torsi mengalami penurunan kembali hingga mencapai 1013 kPa. Kesimpulannya, diagram ini mengindikasikan bahwa variasi dimensi *ellipse silencer* dapat menghasilkan nilai *BMEP* yang lebih besar daripada menggunakan dimensi *ellipse silencer* standar, dengan dimensi *ellipse silencer* optimal untuk menghasilkan *BMEP* maksimum terletak pada variasi 2 yaitu dengan menghasilkan nilai *BMEP* 1042 kPa.

Nilai *BMEP* lebih tinggi pada knalpot variasi 2 jika dibandingkan dengan *silencer* standar yang disebabkan oleh beberapa faktor terkait dengan desain dan karakteristik *silencer* tersebut. Pertama, *silencer* variasi lebih efektif dalam mengatur aliran gas buang, mengurangi resistensi, dan meningkatkan efisiensi pembakaran. Aliran gas buang yang lebih baik dapat mengurangi *back pressure* (tekanan balik), yang membantu mesin bekerja lebih efisien. Selain itu, *silencer* ini juga dapat meningkatkan ekstraksi gas buang dari ruang bakar, memungkinkan pembakaran lebih efisien karena sisa gas buang lebih cepat dibuang, sehingga memaksimalkan campuran udara-bahan bakar baru atau disebut juga dengan *scavenging*.

Silencer variasi 2 juga dirancang untuk mengurangi tekanan balik yang berlebihan dibandingkan dengan *silencer* standar. Penurunan tekanan balik menyebabkan lebih banyak campuran udara-bahan bakar yang masuk ke dalam silinder, sehingga hal itu dapat meningkatkan efisiensi volumetrik mesin dan pada akhirnya meningkatkan nilai *BMEP*. Selain itu, ukuran dan desain *silencer* ini dapat mempengaruhi resonansi dan karakteristik akustik dari sistem knalpot, yang dapat meningkatkan pengisian udara pada kecepatan mesin tertentu, sehingga meningkatkan efisiensi mesin dan menghasilkan *BMEP* yang lebih tinggi. Peningkatan efisiensi termal juga menjadi faktor penting, di mana knalpot dengan desain ini membantu mengurangi panas yang tertahan di dalam ruang bakar, memungkinkan pembakaran yang lebih efisien dan meningkatkan *BMEP*. Terakhir, desain internal dari *silencer* variasi 2 lebih efisien dalam mengurangi turbulensi gas buang, yang mengurangi kehilangan tekanan dan meningkatkan output daya mesin. Secara keseluruhan, *silencer* variasi 2 dapat menghasilkan *BMEP* yang lebih tinggi karena desainnya yang memungkinkan aliran gas buang lebih optimal, mengurangi tekanan balik, dan meningkatkan efisiensi pembakaran mesin (Ping, Dkk. 2025).

Oleh karena itu, knalpot dengan dimensi variasi 2 berpotensi menghasilkan *BMEP* yang lebih baik dibandingkan knalpot model standar karena volume *silencer* yang optimal untuk peredaman suara dan aliran gas buang, desain *elips* yang meminimalkan turbulensi, panjang *silencer* yang ideal untuk keseimbangan performa dan peredaman suara, dan potensi efek resonansi yang lebih baik. Namun, penting untuk diingat bahwa hasil akhir akan sangat bergantung pada desain header, karakteristik mesin, tuning, dan kualitas pembuatan knalpot.

Pembahasan Kebisingan



Gambar 12. Grafik Kebisingan

Pada Gambar 12 Diagram garis di atas menunjukkan tingkat kebisingan (dalam desibel, dB) untuk *ellipse silencer* dengan variasi dimensi yang berbeda. Pada sumbu X, terdapat empat variasi dimensi *ellipse silencer* yang diuji, yaitu *ellipse silencer* standar (std), *ellipse silencer* dengan dimensi 1, 2, dan 3. Sumbu Y menunjukkan tingkat kebisingan yang dihasilkan oleh setiap *ellipse silencer* dalam satuan desibel (dB), yang berkisar dari 70,0 dB hingga 84,0 dB. Diagram di atas menunjukkan bahwa *ellipse silencer* standar menghasilkan tingkat kebisingan 72 dB, namun ketika menggunakan variasi 1 terjadi peningkatan signifikan dalam tingkat kebisingan hingga mencapai 81,9 dB, kemudian pada variasi 2 kembali terjadi penurunan tingkat kebisingan hingga mencapai 78,5 dB, akan tetapi pada variasi 3 nilai torsi mengalami penurunan kembali hingga mencapai 77,5 dB. Kesimpulannya, diagram ini mengindikasikan bahwa dimensi *ellipse silencer* standar dapat menghasilkan tingkat kebisingan yang lebih kecil daripada menggunakan dimensi variasi *ellipse silencer* standar, dimana tingkat kebisingan dengan menggunakan *ellipse silencer* mencapai 72 dB.

Variasi 1 menghasilkan tingkat kebisingan yang lebih tinggi daripada *ellipse silencer* standar karena berbagai alasan teknis terkait desain, akustik, dan dinamika aliran gas buang. Ukuran tersebut dapat mempengaruhi resonansi internal *ellipse silencer*, dan jika dimensi ini tidak tepat dalam meredam frekuensi suara tertentu, resonansi dapat diperkuat sehingga menghasilkan kebisingan yang lebih tinggi. Sementara itu, *ellipse silencer* standar sering kali dioptimalkan dengan bahan penyerap suara dan struktur internal yang lebih efektif dalam meredam suara. Perubahan dimensi variasi 1 dapat mengurangi efisiensi peredaman akustik. Selain itu, dimensi *ellipse silencer* yang berbeda dapat mengubah pola aliran gas buang di dalam *ellipse silencer*.

Pada ukuran variasi 1 aliran gas mungkin menjadi lebih cepat atau lebih turbulen, menyebabkan suara yang lebih keras. Dimensi variasi 1 juga mungkin tidak memadai untuk peredaman suara, karena jika *ellipse silencer* terlalu pendek atau panjang, gelombang suara tidak sepenuhnya teredam, mengakibatkan kebisingan lebih tinggi. Kurangnya efisiensi material penyerap suara pada ukuran tersebut juga bisa menjadi faktor yang menyebabkan peredaman suara tidak optimal. Kombinasi dari faktor-faktor ini menunjukkan bahwa dimensi variasi 1 tidak optimal untuk meredam kebisingan sebaik *ellipse silencer* standar. Setiap perubahan dimensi dan desain *ellipse silencer* berpengaruh pada karakteristik akustik dan aliran gas buang, yang berdampak pada tingkat kebisingan yang dihasilkan (Zhao & Obara, 2025).

Selain itu, knalpot variasi sering dirancang untuk meningkatkan performa mesin dengan mengurangi hambatan aliran gas buang (*free flow*). Namun, desain seperti ini cenderung menghasilkan suara yang lebih keras karena kurangnya peredaman. Secara keseluruhan, knalpot standar umumnya menghasilkan tingkat kebisingan yang lebih rendah daripada knalpot variasi dengan dimensi variasi 1 karena desain internal yang lebih kompleks, penggunaan material peredam suara yang lebih efektif, dan kepatuhan terhadap regulasi kebisingan. Knalpot variasi dengan dimensi *silencer* yang lebih kecil dan desain yang lebih sederhana mungkin tidak dapat memberikan tingkat peredaman suara yang sama, terutama jika dirancang untuk meningkatkan performa mesin dengan mengorbankan pengurangan kebisingan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa variasi panjang dan dimensi konstruksi *ellipse silencer* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap torsi, BMEP, dan tingkat kebisingan mesin bensin. Variasi panjang dan dimensi *ellipse silencer* memberikan pengaruh nyata terhadap torsi pada putaran menengah. Dari hasil pengujian, nilai torsi terbesar yang diperoleh adalah 12,88 N.m pada putaran mesin 4500 rpm yang berasal dari variasi tertentu. Nilai ini menunjukkan peningkatan sebesar 5,75% dibandingkan dengan penggunaan silencer standar yang menghasilkan torsi 12,18 N.m pada putaran yang sama. Selain itu, hasil pengujian juga menunjukkan bahwa variasi panjang dan dimensi *ellipse silencer* berpengaruh signifikan terhadap nilai BMEP. Nilai BMEP tertinggi yang diperoleh adalah 1042 kPa pada putaran mesin 4500 rpm, meningkat sebesar 7,09% dibandingkan dengan silencer standar yang menghasilkan BMEP sebesar 973 kPa. Nilai BMEP ini sejalan dengan besarnya nilai torsi yang dihasilkan, di mana peningkatan torsi akan diikuti oleh peningkatan BMEP. Selanjutnya, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa variasi

panjang dan dimensi *ellipse silencer* berpengaruh signifikan terhadap tingkat kebisingan. Pada putaran mesin 1500 rpm atau kondisi idle, tingkat kebisingan tertinggi tercatat sebesar 81,9 dB pada variasi 1, mengalami peningkatan sebesar 13,89% dibandingkan dengan knalpot standar yang memiliki tingkat kebisingan 72 dB pada kondisi yang sama.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan agar pada penelitian selanjutnya dilakukan variasi panjang silencer dengan selisih panjang yang lebih besar untuk memperoleh perbandingan nilai yang lebih signifikan antar variasi. Selain itu, untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal, variasi dimensi saringan *silencer* juga sebaiknya dibuat dengan perbedaan ukuran yang lebih besar agar hasil perbandingannya lebih jelas dan perbedaan performa yang dihasilkan dapat terlihat dengan lebih signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Argueyrolles, R., Heimann, T., & Delzeit, R. (2025). *Impact of gasoline and diesel subsidy reforms on global biofuel mandates*. GCB Bioenergy, 17(2), e70019. <https://doi.org/10.1111/gcbb.70019>
- Budiyono, B., Feriansah, A., & Pradana, D. A. (2023). *Pengaruh knalpot standar dan knalpot standar modifikasi terhadap daya dan torsi sepeda motor RX King 135 cc*. Surya Teknik, 7(1), 16–21. <https://doi.org/10.48144/suryateknika.v7i1.1624>
- Febritasari, R., Yusuf, A., Sutrisno, T. A., & Korawan, A. D. (2023). *Analisa pengaruh panjang muffler pada mesin 4 tak berkapasitas 125cc terhadap karakteristik daya dan torsi mesin menggunakan pengujian dyno dan komputasi fluida dinamis*. Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy, 7(1), 1–23. <https://doi.org/10.31289/jmemme.v7i1.7687>
- Kozak, M., Waligórski, M., Weisło, G., Wierzbicki, S., & Duda, K. (2025). *Exhaust emissions from a direct injection spark-ignition engine fueled with high-ethanol gasoline*. Energies, 18(3), 454. <https://doi.org/10.3390/en18030454>
- Ping, K., Dai, Y., Zhao, H., & Song, Z. (2025). *Integrated penalty control: A highly robust start-up control schedule design method for gas turbine engines*. Aerospace Science and Technology, 158, 109903. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2024.109903>
- Prawira, S. B., Suwignyo, J., & Fatra, F. (2023). *Pengaruh knalpot standar dan variasi suara knalpot Tridente F23*. Jurnal Teknik Mesin, 1(1), 202–212.
- Putra, W., Maksum, H., & Fernandez, D. (2018). *Pengaruh penggunaan knalpot standar dan racing terhadap tekanan balik, suhu dan bunyi pada sepeda motor 4 tak*. Jurnal Teknik Otomotif FT UNP.

- Rohim, S., Lathifudin, A., Hidayat, S., Sasmito, C. P., Saputra, T. J., & Studi, P. (2023). *Pengaruh penggunaan knalpot standart dengan racing terhadap torsi dan daya sepeda motor Yamaha Aerox 155CC tahun 2018*. Jurnal Penelitian Rumpun Ilmu Teknik (JUPRIT), 2(3), 166–174. <https://doi.org/10.55606/juprit.v2i3.2134>
- Sarwuna, S., Ruslan, W., & Setiawan, I. (2017). *Kajian simulasi pengaruh tekanan balik gas buang terhadap kinerja mesin sepeda motor empat langkah 135cc*. Teknobiz: Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin, 7(3), 143–149. <https://doi.org/10.35814/teknobiz.v7i3.911>
- Vempatapu, B. P., Kumar, J., & Kanaujia, P. K. (2025). *Determination of gasoline boiling range solvents and kerosene as adulterants in motor gasoline*. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. <https://doi.org/10.1080/10916466.2024.2446627>
- Wea, P. J., & Bane, M. S. (2023). *Analisis efisiensi thermal motor bensin mesin gerobak dengan menggunakan Cyclepad*. Jurnal Voering, 8(2), 51–57.
- Winoko, Y. A., & Wijaya, F. S. (2023). *The effect of variations in spark plug electrode tips on power and BMEP of motorcycle engines*. SSRG International Journal of Mechanical Engineering, 10(7), 14–19. <https://doi.org/10.14445/23488360/IJME-V10I7P102>
- Yuniarto, A. W., Kasijanto, & Santoso. (2018). *Pengujian daya dan emisi gas buang*. Malang: Polinema Press. Diakses 18 Juni 2024 dari <https://oto.detik.com/motor/d-4656650/mengenal-yamaha-all-new-r15-v3-motor-pembangkit-jiwa-untuk-balapan>
- Zacarias, A., Grijalva, M. R., Rubio, J. D. J., Romage, G., Mena, V. Y., Hernández, R., & Rodríguez, B. A. (2025). *Improvement efficiency and emission reduction in used cars for developing regions using gasoline-bioethanol blends*. Energies, 18(3), 638. <https://doi.org/10.3390/en18030638>
- Zhao, H., & Obara, S. Y. (2025). *Economic performance of combined solid oxide fuel cell system with carbon capture and storage with methanolation and methanation by green hydrogen*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 213, 115480. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115480>