

ANALISIS PERFORMA DIESEL ENGINE FOUR STROKE DENGAN PENAMBAHAN EXHAUST GAS RECIRCULATION (EGR)

Reza Aditya Saputra ^{1*}, Edi Haryono, S.T., M.T. ², Miftachudin, S.Pd., M.Pd. ³

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*}

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia³

Email: edi_haryono@ppns.ac.id

Abstract - EGR is a component of system that serves to reduce exhaust gas. This research applied the EGR system to a diesel motor to analyze CO (Carbonmonoxide) produced by diesel engines, by selecting the type of gate valve to regulate gas flow. Valve to regulate gas flow. Tests were conducted to measure performance of the motor and analyzing CO levels after modification of the gate valve type EGR valve, with motor performance analysis to evaluate power performance, torque, and fuel efficiency. This final project focuses on three main points. First, analyzing the effect of adding Exhaust Gas Recirculation (EGR) on CO emissions produced by the engine. Second, analyzing the impact of the addition of EGR on the performance of a four-stroke diesel engine. Engine performance. Third, calculating the effect of diesel motor fuel efficiency when using EGR. Using EGR. Thus, the problem formulation is to analyze changes in emissions and engine performance due to the application of EGR. Variations in this research is the percentage of exhaust gas valve opening which is 25%, 50%, 75%, with motor rotation of 1000 RPM, 1200 RPM, 1300 RPM, 1300 RPM. With motor rotation of 1000 RPM, 1200 RPM, 1300 RPM and 1400 RPM as well as variations of loading of 2000 watts, 3000 watts, and 4000 watts. In this study, the lowest CO emissions were the lowest produced by the motor under normal conditions, so the use of EGR is not recommended for CO is not recommended for CO analysis. However, the optimum power, torque, and fuel efficiency (GSFC) were found at (GSFC) were found to be optimal at 50% EGR opening at each load and RPM.

Keyword: Exhaust Gas Recirculation, gate valve, Carbon monoxide

1. PENDAHULUAN

Saat ini kebutuhan transportasi laut, darat, dan udara semakin meningkat. Beberapa moda transportasi tersebut menggunakan moda penggerak mesin diesel. Mode penggerak diesel umumnya digunakan karena lebih efisien secara termal dibandingkan jenis propulsi lainnya dan dapat memberikan torsi dan daya yang lebih tinggi dibandingkan propulsi konvensional.

Perkembangan teknologi mesin diesel saat ini mengalami perkembangan yang signifikan karena hadirnya berbagai peralatan tambahan yang dapat meningkatkan efisiensi mesin, serta perbaikan lingkungan yang bertujuan untuk mengurangi emisi dan menjadikannya lebih ramah lingkungan. Beberapa teknologi tersebut seperti Exhaust Gas Recirculating (EGR), Selective Catalytic Reduction (SCR), Amonia Scrubber, Particulate Diesel Filter (PDF), Dired Water Injection (DWI), dll. (Yasin, 2017)

Exhaust Gas Recirculation (EGR) merupakan komponen sistem yang digunakan untuk mereduksi gas buang. Cara kerja EGR adalah dengan memanfaatkan gas buang yang disirkulasikan kedalam ruang bakar yang dialirkan melalui intake manifold. Pencampuran gas buang dan udara akan menjadi inert gas

sehingga menurunkan temperatur pembakaran adiabatik dan mengurangi reaksi oksigen terhadap nitrogen sehingga pembentukan nox dapat dikurangi.

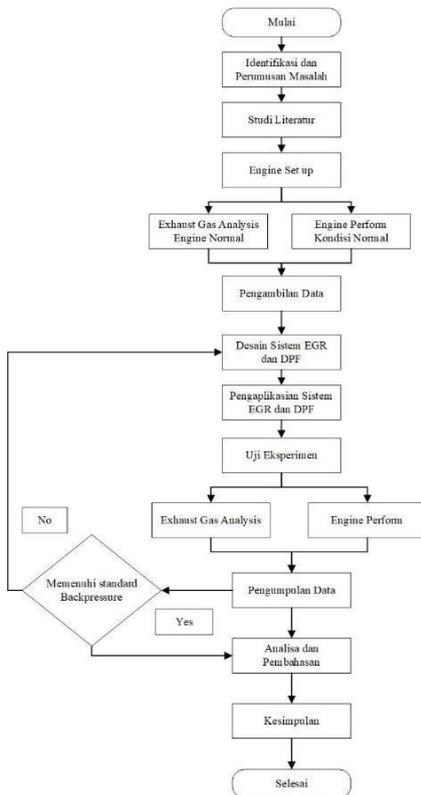
Pada penelitian kali ini, sistem EGR dirancang dan diterapkan pada diesel engine four stroke Jiangdong ZH1115N untuk menganalisis CO. Pada sistem EGR kali ini dipilih jenis gate valve karena mudah digunakan dan valve ini memiliki fleksibilitas dalam mengatur aliran sesuai kebutuhan sistem.

Agar mengetahui pengaruh penggunaan EGR valve jenis gate valve, maka perlu dilakukan sebuah pengujian pada diesel engine sehingga diketahui nilai performa motor dan analisis kadar CO. Analisa performa motor perlu dilakukan agar dapat mengukur sejauh mana prestasi power, torsi dan efisiensi penggunaan bahan bakar yang dihasilkan motor diesel setelah dilakukan modifikasi komponen EGR valve jenis gate valve. Pada penelitian kali ini mengacu pada penelitian sebelumnya namun terdapat perbedaan dari penelitian sebelumnya, pada penelitian sebelumnya spesifikasi mesin yang digunakan yaitu mesin yang bertenaga 8 Horse power (HP) dan tipe valve yang digunakan adalah butterfly valve dan menggunakan tipe cool EGR, pada

penelitian kali ini yaitu menggunakan spesifikasi mesin 24 Horse power (HP), menggunakan tipe gate valve dan tipe hot EGR.

2. METODOLOGI

Proses perbaikan pada sistem Exhaust Gas Recirculation (EGR) dan Diesel Particulate Filter (DPF) akan diterapkan melalui mesin diesel empat langkah saat ini. Adapun alur eksperimen yang akan dilaksanakan adalah sebagai berikut:



2.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Tempat dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan Exhaust Gas Recirculation dilakukan diruang workshop Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
2. Pengujian performa four-stroke diesel engine dilakukan di ruang workshop Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
3. Waktu penelitian Tugas Akhir ini dimulai pada bulan Januari 2024 dan dilanjutkan selama 5 bulan kedepan di bengkel reparasi Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya setelah pengajuan proposal.

2.2 Variable Penelitian

1. Variabel Terikat

Variabel Terikat pada penelitian ini sebagai berikut:

- Daya yang dihasilkan pada unjuk kerja four-stroke diesel engine.
- Torsi yang dihasilkan pada unjuk kerja four-stroke diesel engine.
- Generator specific fuel consumption (gsfc) yang dibutuhkan pada unjuk kerja four-stroke diesel engine.

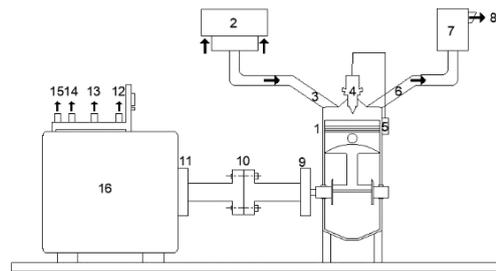
2. Variabel Bebas

Variabel Terikat pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Beban simulator (Lampu Watt).
2. Frekuensi putaran mesin (RPM).
3. Persentase bukaan katup EGR sebesar 25%, 50%, dan 70%.

2.3 Spesifikasi Motor Diesel

Motor diesel yang digunakan adalah jenis motor diesel 4 stroke, berikut adalah gambar motor diesel yang digunakan untuk eksperimen:

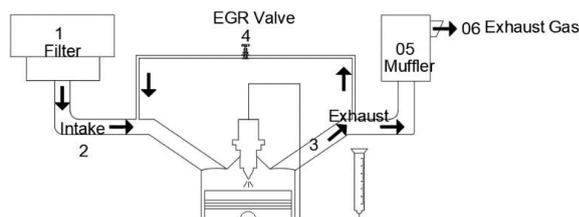


Gambar 2. 1 Skematik Eksperimen Diesel Engine Four Stroke JIANDONG ZH1115N dan generator

Engine	
Type	Jiangdong ZH1115N
Jumlah Piston	1
Daya Max (HP/RPM)	24/2200
Diameter x Langkah (mm)	115 x 115
Vol. Langkah	1195
Sistem Pendinginan	Hopper
Sistem Start	Engkol & Stater Motor
Sistem Pembakaran	Injeksi Langsung
Generator	
Type	STC-5
Tegangan	380/660 V
Arus	5,5 A
Frekuensi	50 Hz
Phase	3 Phase
Speed	1500 Rpm
Excit volt	82 V
Excit current	3,6 A

2.4 Desain Sistem EGR

Tahapan ini adalah tahap mengumpulkan alat dan bahan yang nantinya digunakan untuk sistem EGR. Pada penelitian ini jenis valve EGR yang digunakan adalah gate valve karena mudah didapatkan di pasaran dan harganya yang terjangkau, untuk mengalirkan exhaust gas yang keluar dari exhaust manifold digunakan pipa yang nantinya akan terhubung ke intake manifold. Untuk memudahkan pemahaman sistem ini, dilakukannya penggambaran sistem seperti pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Skematik Eksperimen Desain Sistem EGR

Agar dapat mengalirkan gas buang ke intake maka perlu dilakukan modifikasi pada bagian intake dan exhaust manifold. Material yang digunakan untuk memodifikasi intake manifold adalah pipa besi. Pada gambar 3.4. (a) dan (b) merupakan hasil dari intake dan exhaust manifold setelah dilakukannya proses modifikasi.



Gambar 2.3 (a) Exhaust Manifold dan (b) Intake Manifold yang dimodifikasi

Langkah selanjutnya adalah menyiapkan jalur sistem EGR. Jalur sistem EGR menggunakan material pipa besi. Pipa ini harus memiliki spesifikasi tahan terhadap tekanan dan temperatur tinggi karena fluida yang dialirkan adalah fluida gas buang. Dalam menyalurkan gas buang sistem memerlukan elbow untuk mempermudah terbentuknya belokan. Elbow

yang digunakan harus memberikan belokan sebesar 90 derajat, elbow diperoleh dari pasaran, sehingga tidak perlu melakukan proses manufaktur.

2.5 Prosedur Uji Eksperimen

Pada tahap ini dilakukannya pengujian engine yang sudah dipasang sistem EGR. Dalam uji eksperimen ini dilakukan pengambilan data dengan variasi pembukaan gate valve sebesar 25%, 50%, dan 75%. Tujuan dilakukannya pengujian yaitu untuk mengetahui emisi CO dan performa mesin yang dihasilkan

dengan prosedur pengujian sebagai berikut :

1. Siapkan peralatan pengujian seperti tachometer, CO analyzer, dan bahan bakar 25 ml untuk sekali pengujian.
2. Beri pembebanan pada mesin diesel sebesar 2000, 3000 dan 4000 watt.
3. Hidupkan mesin.
4. Naikkan RPM sesuai variasi yang ingin digunakan yaitu 1000 RPM, 1200 RPM, dan 1400 RPM menggunakan tachometer untuk mengetahui rpm yang digunakan tersebut.
5. Buka katup EGR sesuai variasi bukaan sebesar 25%, 50%, dan 75%.
6. Lakukan pengukuran CO dengan CO analyzer.
7. Ambil data pengujian.
8. Matikan mesin ketika bahan bakar habis.
9. Ulangi tahapan diatas untuk setiap pembebanan, rpm, dan bukaan katup.

3. HASIL dan PEMBAHASAN

3.1 Pembuatan EGR

Pembuatan Exhaust Gas Recirculation (EGR) dimulai dengan proses pendesainan, dengan mengukur dimensi exhaust manifold yang nantinya akan menghubungkan antara EGR dan Exhaust. Pembuatan EGR pada penelitian ini menggunakan tipe gate valve, pada tipe gate valve ini menggunakan bahan dasar yang berasal dari kuningan dengan ukuran diameter 1 inci,

valve ini bertujuan untuk menentukan bukaan aliran yang masuk menuju intake manifold yang berasal dari exhaust manifold yang akan disalurkan melalui pipa yang telah dirancang.

Setelah dilakukan pembuatan Exahaust Gas Recirculation Selanjutnya dilakukan proses pengaplikasian system EGR yang terhubung pada exhaust manifold dan intake manifold.

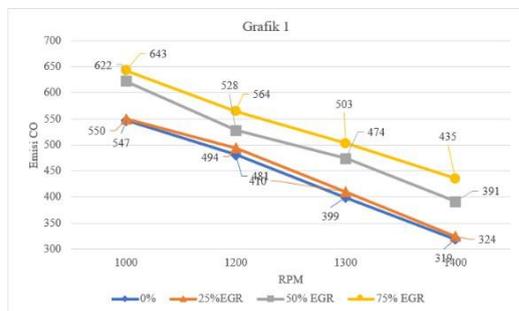


Gambar 3. 1 Pengaplikasian EGR (sumber: Dokumentasi Pribadi)

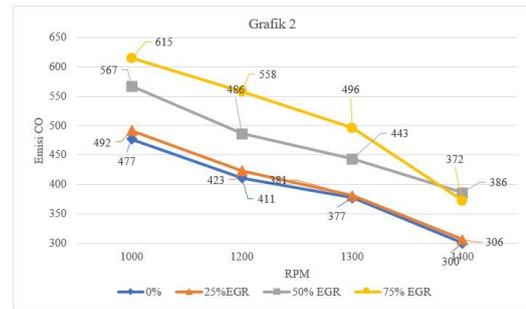
3.2 Hasil Uji Emisi

3.2.1 Perbandingan Hasil Emisi CO Pada Tiap Variasi

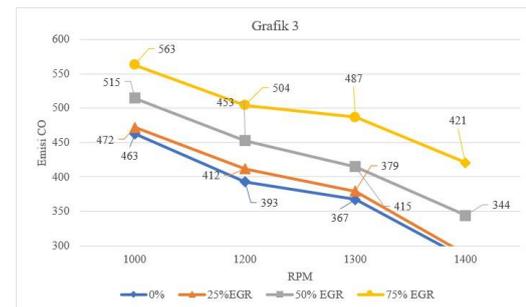
Pada tahap ini dilakukan uji emisi gas buang pada motor diesel four-stroke yang mencakup emisi gas CO dan PM. Uji emisi dilakukan pada engine normal dan engine yang menggunakan sistem EGR. Pengujian dilakukan dengan variasi bukaan katup EGR sebesar 25%, 50% dan 75%. Variasi putaran RPM yang digunakan adalah 1000 RPM, 1200 RPM, 1300 RPM dan 1400 RPM dengan beban sebesar 2000 watt, 3000 watt, dan 4000 watt. Berikut Grafik hasil uji emisi sesuai dengan variasi bukaan katup, kecepatan, dan pembebanan :



Gambar 3. 2 Grafik Emisi CO pada Beban 2000W



Gambar 3.3 Grafik Emisi CO pada Beban 3000W



Gambar 3.4 Grafik Emisi CO pada Beban 4000W

Pada Gambar grafik 3.2 dapat dilihat perbandingan putaran motor (RPM) terhadap Emisi CO yang menunjukkan setiap terjadi peningkatan RPM hasil emisi CO yang dihasilkan semakin turun. Pada Beban 2000 w penggunaan Exhaust Gas Recirculation (EGR) dengan bukaan valve 75% memiliki nilai CO terbesar yaitu 643 PPM, sementara nilai CO terendah dihasilkan oleh motor normal pada putaran 1400 RPM yaitu sebesar 319 PPM.

Pada Gambar grafik 3.3 dapat dilihat bahwa perbandingan putaran motor (RPM) terhadap Emisi CO menunjukkan setiap terjadi peningkatan RPM hasil emisi CO yang dihasilkan semakin turun. Pada Beban 3000 w penggunaan Exhaust Gas Recirculation (EGR) dengan bukaan valve 75% memiliki nilai CO terbesar yaitu 615 PPM, sementara nilai CO terendah dihasilkan oleh motor normal pada putaran 1400 RPM yaitu sebesar 306 PPM.

Sedangkan Pada Gambar grafik 3.4 perbandingan putaran motor (RPM) terhadap Emisi CO menunjukkan setiap terjadi peningkatan RPM hasil emisi CO yang dihasilkan semakin turun. Pada Beban 4000 w penggunaan Exhaust Gas Recirculation (EGR) dengan bukaan valve 75% memiliki nilai CO terbesar yaitu 563 PPM, sementara nilai CO terendah dihasilkan oleh motor normal pada putaran 1400 RPM yaitu sebesar 281 PPM.

3.3 Analisa Emisi CO

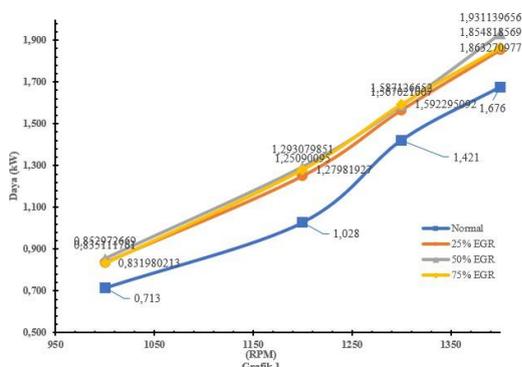
Setelah dilakukan perbandingan emisi CO pada tiap variasinya menggunakan grafik, selanjutnya dilakukan analisa terkait penggunaan EGR terhadap CO yang dihasilkan. Dapat dilihat pada gambar grafik 4.2 – 4.4, pada grafik tersebut terlihat secara signifikan bahwa penggunaan EGR dapat meningkatkan emisi CO pada motor diesel, hal ini disebabkan karena gas buang dari sistem EGR yang disirkulasikan keruang bakar dapat mempengaruhi konsentrasi oksigen yang masuk ke ruang bakar motor. Jika dibandingkan dengan motor diesel normal, pada bukaan 25% kenaikan rata-rata CO sebesar 10 PPM pada tiap bebannya, pada bukaan 50% rata-rata kenaikan CO sebesar 67 PPM dan pada bukaan 75% rata-rata kenaikan CO sebesar 112 PPM. Pada grafik 4.2-4.3 diatas juga dapat diamati bahwa semakin meningkatnya putaran motor hasil emisi CO yang dihasilkan mengalami penurunan, hal ini disebabkan karena putaran motor akan menaikkan turbulensi pada ruang bakar, dan demikian akan terbentuk campuran yang lebih homogen.

3.4 Hasil dan Analisa Uji Performa

Pada tahap ini dilakukan uji performa pada motor diesel four-stroke yang mencakup daya, torsi, dan GSFC. Uji performa ini dilakukan pada engine normal dan engine yang menggunakan sistem EGR. Pengujian dilakukan dengan variasi bukaan katup EGR sebesar 25%, 50% dan 75%. Variasi putaran RPM yang digunakan adalah 1000 RPM, 1200 RPM, 1300 RPM dan 1400 RPM dengan beban sebesar 2000 watt, 3000 watt, dan 4000 watt.

3.4.1 Perbandingan Daya, Torsi, dan GSFC pada sistem EGR pada beban 2000 watt

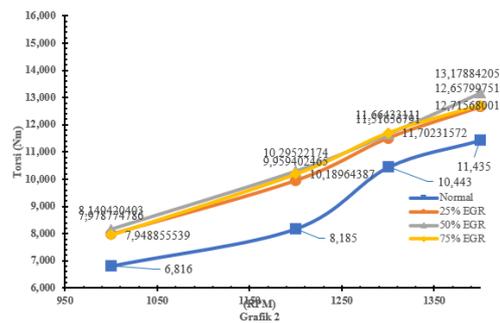
Setelah dilakukan pengujian pada motor diesel dihasilkan daya, torsi dan gsfc dari



penerapan sistem EGR dengan bukaan katup EGR 0%, 25%, 50%, dan 75%. Berikut adalah perbandingan daya, torsi, dan GSFC dengan variasi bukaan katup menggunakan beban lampu 2000 watt.

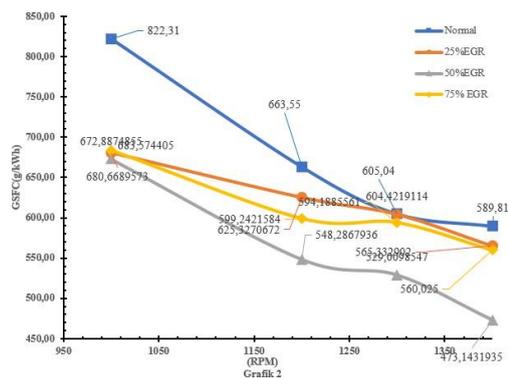
Gambar 3.5 Grafik Daya Terhadap RPM pada Beban 2000 Watt

Pada gambar grafik 3.5 dapat dilihat perbandingan putaran motor (RPM) terhadap daya generator menunjukkan bahwa, setiap terjadi kenaikan putaran motor, daya yang dihasilkan generator semakin naik. Pada beban 2000 W daya tertinggi dihasilkan oleh penggunaan EGR dengan bukaan katup sebesar 50% yaitu dengan daya rata-rata sebesar 1,416 kW. Sementara daya terendah dihasilkan oleh motor kondisi normal dengan daya rata-rata sebesar 1,209 kW.



Gambar 3.6 Grafik Torsi Terhadap RPM pada Beban 2000 Watt.

Pada gambar grafik 3.6 dapat dilihat perbandingan putaran motor (RPM) terhadap torsi menunjukkan bahwa, setiap terjadi kenaikan putaran motor, torsi yang dihasilkan semakin naik. Pada beban 2000 W torsi tertinggi dihasilkan oleh penggunaan EGR dengan bukaan katup sebesar 50% yaitu dengan torsi rata-rata sebesar 10,822 Nm. Sementara torsi terendah dihasilkan oleh motor kondisi normal dengan torsi rata-rata sebesar 9,220 kW.



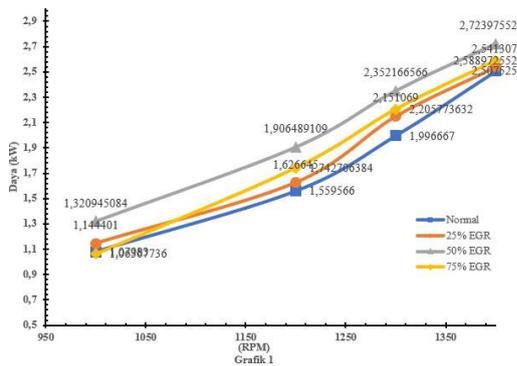
Gambar 3.7 Grafik GSFC Terhadap RPM pada Beban 2000 Watt.

Sedangkan pada gambar grafik 3.7 perbandingan putaran motor (RPM) terhadap GSFC menunjukkan bahwa, setiap terjadi kenaikan putaran motor, GSFC yang dihasilkan generator semakin turun. Pada beban 2000 W GSFC tertinggi dihasilkan oleh motor kondisi normal

yaitu dengan GSFC rata-rata sebesar 670,174 gr/kWh. Sementara GSFC terendah dihasilkan oleh penggunaan EGR dengan bukaan katup sebesar 50% dengan GSFC rata-rata sebesar 555,832 gr/kWh.

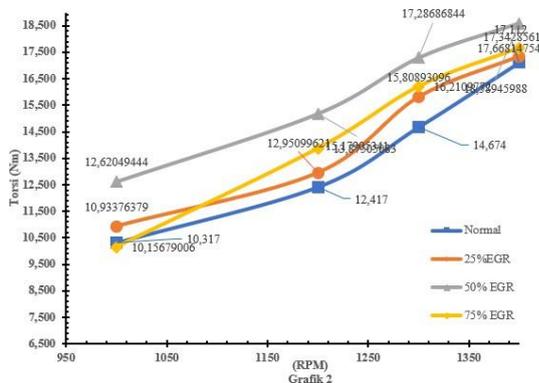
3.4.2 Perbandingan Daya, Torsi, dan GSFC pada keempat bukaan katup EGR pada beban 3000 watt

Setelah dilakukan pengujian pada motor diesel dihasilkan daya, torsi, dan GSFC dari penerapan sistem EGR dengan bukaan katup EGR 0%, 25%, 50%, dan 75%. Berikut adalah perbandingan daya, torsi, dan GSFC dengan variasi bukaan katup menggunakan beban lampu 3000 watt.



Gambar 3.8 Grafik Daya Terhadap RPM pada Beban 3000 Watt

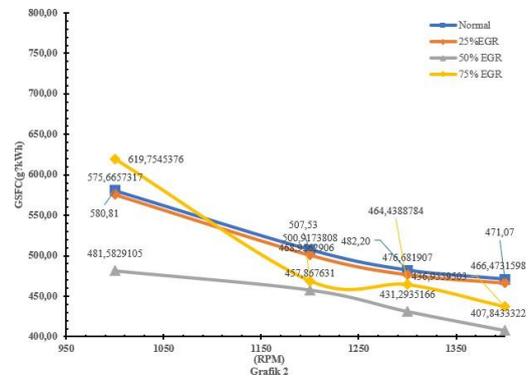
Pada gambar grafik 3.8 dapat dilihat perbandingan putaran motor (RPM) terhadap daya generator menunjukkan bahwa, setiap terjadi kenaikan putaran motor, daya yang dihasilkan generator semakin naik. Pada beban 3000 W daya tertinggi dihasilkan oleh penggunaan EGR dengan bukaan katup sebesar 50% yaitu dengan daya rata-rata sebesar 2,07589 kW. Sementara daya terendah dihasilkan oleh motor kondisi normal dengan daya rata-rata sebesar 1,786 kW.



Gambar 3.1 Grafik Uji Performa Torsi terhadap RPM pada Beban Lampu 3000 Watt.

Pada gambar grafik 3.9 dapat dilihat perbandingan putaran motor (RPM) terhadap torsi menunjukkan bahwa, setiap terjadi kenaikan putaran motor, torsi yang dihasilkan semakin

naik. Pada beban 3000 W torsi tertinggi dihasilkan oleh penggunaan EGR dengan bukaan katup sebesar 50% yaitu dengan torsi rata-rata sebesar 15,919 kW. Sementara torsi terendah dihasilkan oleh motor kondisi normal dengan torsi rata-rata sebesar 13,630 kW.

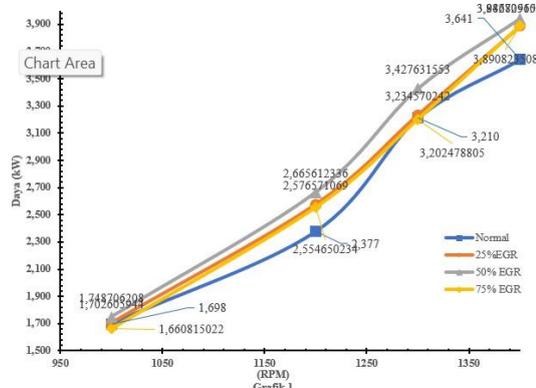


Gambar 3.2 Grafik Uji Performa GSFC terhadap RPM Pada Beban Lampu 3000 Watt

Sedangkan pada gambar grafik 3.10 perbandingan putaran motor (RPM) terhadap GSFC menunjukkan bahwa, setiap terjadi kenaikan putaran motor, GSFC yang dihasilkan generator semakin turun. Pada beban 3000 W GSFC tertinggi dihasilkan oleh motor diesel dengan kondisi normal yaitu dengan GSFC rata-rata sebesar 510,40 gr/kWh. Sementara GSFC terendah dihasilkan oleh penggunaan EGR dengan bukaan katup sebesar 50% dengan GSFC rata-rata sebesar 444,65 gr/kWh.

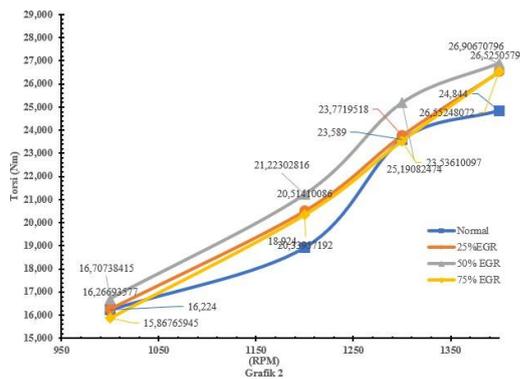
3.4.3 Perbandingan Daya, Torsi, dan GSFC pada keempat bukaan katup EGR pada beban 4000 watt

Setelah dilakukan pengujian pada motor diesel dihasilkan daya, torsi, dan GSFC dari penerapan sistem EGR dengan bukaan katup EGR 0%, 25%, 50%, dan 75%. Berikut adalah perbandingan daya, torsi, dan GSFC dengan variasi bukaan katup menggunakan beban lampu 4000 watt.



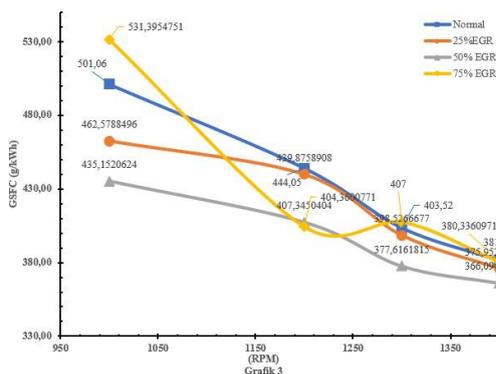
Gambar 3.3 Grafik Uji Performa Daya terhadap RPM Pada Beban Lampu 4000 Watt

Pada gambar grafik 3.11 dapat ditunjukkan bahwa perbandingan putaran motor (RPM) terhadap daya generator menunjukkan bahwa, setiap terjadi kenaikan putaran motor, daya yang dihasilkan generator semakin naik. Pada beban 4000 W daya tertinggi dihasilkan oleh penggunaan EGR dengan bukaan katup sebesar 50% yaitu dengan daya rata-rata sebesar 2,946 kW. Sementara daya terendah dihasilkan oleh motor kondisi normal dengan daya rata-rata sebesar 2,731 kW.



Gambar 3. 4 Grafik Uji Performa Torsi terhadap RPM Pada Beban Lampu 4000 Watt

Pada gambar grafik 4.12 dapat ditunjukkan bahwa perbandingan putaran motor (RPM) terhadap torsi menunjukkan bahwa, setiap terjadi kenaikan putaran motor, torsi yang dihasilkan semakin naik. Pada beban 4000 W torsi tertinggi dihasilkan oleh penggunaan EGR dengan bukaan katup sebesar 50% yaitu dengan torsi rata-rata sebesar 22,507 kW. Sementara torsi terendah dihasilkan oleh motor kondisi normal dengan torsi rata-rata sebesar 20,895 kW.



Gambar 3. 5 Grafik Uji Performa GSFC terhadap RPM Pada Beban Lampu 4000 Watt.

Sedangkan pada gambar grafik 4.13 perbandingan putaran motor (RPM) terhadap GSFC menunjukkan bahwa, setiap terjadi kenaikan putaran motor, GSFC yang dihasilkan generator semakin turun. Pada beban 4000 W GSFC tertinggi dihasilkan oleh motor kondisi normal yaitu dengan GSFC rata-rata sebesar 432,52 gr/kWh. Sementara GSFC terendah dihasilkan

oleh penggunaan EGR dengan bukaan katup sebesar 50% dengan GSFC rata-rata sebesar 396,55 gr/kWh.

3.4.4 Analisa Hasil Uji Performa

Setelah dilakukan perbandingan dengan grafik pada tiap variasinya, selanjutnya dilakukan analisa mengenai daya, torsi, dan GSFC saat penggunaan Exhaust Gas Recirculation (EGR). Dari hasil eksperimen dapat dilihat grafik performa motor yang ditunjukkan pada gambar grafik 3.5 - 3.13. Pada grafik tersebut menunjukkan bahwa penggunaan EGR dapat menaikkan juga menurunkan nilai daya, torsi dan GSFC, tergantung pada bukaan katup EGR. Pada bukaan katup EGR 25 % daya motor naik, dengan kenaikan rata-rata sebesar 3,270 kW, diikuti dengan kenaikan torsi sebesar 0,937 Nm dan menurunnya nilai GSFC dengan nilai perunan rata-rata sebesar 23,332 gr/kWh. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Septiyanto et al., 2017) yang mengatakan kenaikan daya, torsi dan menurunnya nilai GSFC ini disebabkan karena gas buang yang dimasukan sebagian ke ruang bakar akan meningkatkan proses pembakaran akibat naiknya temperatur, selain itu juga dikarenakan EGR memiliki tekanan yang lebih sedikit daripada tekanan atmosfer sehingga akan mengurangi rugi pompa (pumping losses).

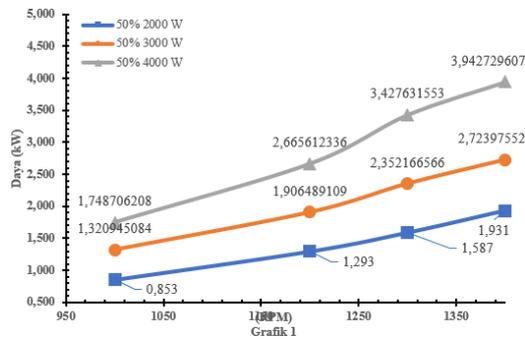
Pada bukaan katup EGR 50% daya yang dihasilkan naik, dengan kenaikan rata-rata sebesar 3,311 kW yang diikuti dengan kenaikan torsi, dengan torsi rata-rata sebesar 1,834 Nm. Namun jika dibandingkan dengan bukaan katup EGR 25%, daya dan torsinya mengalami kenaikan rata-rata sebesar 0,041 kW dan 0,897 Nm. GSFC pada bukaan 50% mengalami penurunan rata-rata sebesar 72,023 gr/kWh dari motor normal.

Pada bukaan katup EGR 75% daya dan torsi yang dihasilkan mengalami kenaikan dan penurunan. Kenaikan terjadi saat beban awal dengan kenaikan daya rata-rata sebesar 0,158kW, dan torsi sebesar 1,216 Nm. Saat beban 3000 W pada RPM 1000 , beban 4000 W di RPM 1000 dan 1300 mengalami penurunan daya dengan nilai penurunan daya rata-rata sebesar 0,020 kW dan torsi sebesar 0,190 Nm, hal ini disebabkan karena gas buang yang bersifat inert gas terlalu banyak yang masuk ke ruang bakar sehingga mengurangi konsentrasi oksigen.

Pada bukaan katup EGR 75% nilai GSFC mengalami penurunan pada beban awal, dengan penurunan rata-rata sebesar 33,599 gr/kWh, namun pada beban 3000 w pada RPM 1000 dan RPM 1300, RPM 1000 pada beban 4000W mengalami kenaikan rata-rata sebesar 24,418 gr/kWh, hal ini dipengaruhi oleh nilai daya yang kurang signifikan pada rpm 1000 dan 1300 dan beban 3000 W dan 4000 W.

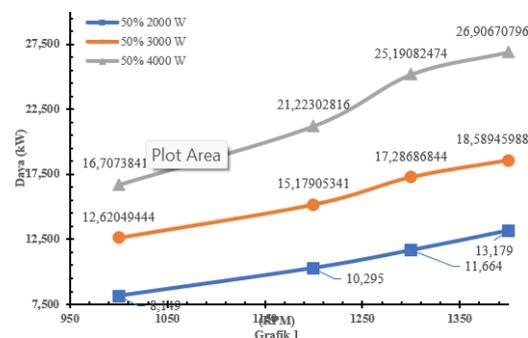
Dari hasil analisa diatas menandakan bahwa penggunaan EGR dapat meningkatkan daya, torsi dan menurunkan nilai GSFC. Namun kenaikan tersebut hanya berlaku pada bukaan katup 25% dan 50%, pada bukaan katup 75% jumlah gas buang yang disirkulasikan dapat menurunkan nilai daya, torsi dan meningkatkan GSFC.

3.4.5 Analisa Hasil Maksimal



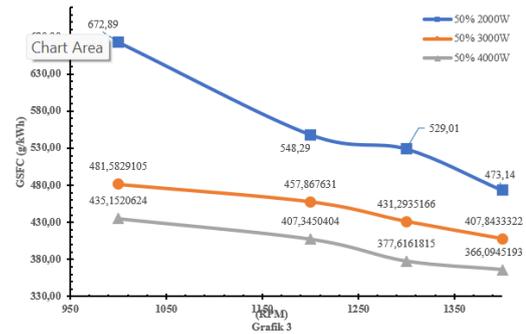
Gambar 3. 6 Grafik Daya Maksimal

Pada gambar grafik 3.14 dapat dilihat perbandingan putaran motor terhadap daya generator menunjukkan bahwa daya tertinggi pada eksperimen penggunaan EGR pada motor diesel terletak pada penggunaan EGR bukaan katup 50% pada RPM 1400 dan beban 4000 W yaitu 3,94 kW.



Gambar 3. 7 Grafik Torsi Maksimal

Pada gambar grafik 3.15 dapat dilihat perbandingan putaran motor (RPM) terhadap torsi menunjukkan bahwa torsi tertinggi pada eksperimen penggunaan EGR pada motor diesel terletak pada penggunaan EGR bukaan katup 50% pada RPM 1400 dan beban 4000 W yaitu 26,906 Nm.



Gambar 3. 8 Grafik GSFC Maksimal

Sedangkan pada gambar grafik 4.16 dapat dilihat perbandingan putaran motor (RPM) terhadap GSFC menunjukkan bahwa GSFC terendah pada eksperimen penggunaan EGR pada motor diesel terletak pada penggunaan EGR bukaan katup 50% pada RPM 1400 dan beban 4000 W yaitu 366,094 gr/kWh.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, yaitu penerapan sistem EGR pada motor diesel dengan variasi bukaan katup EGR. Dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan EGR dapat meningkatkan emisi CO (Carbon Monoxide). Dengan peningkatan emisi CO tertinggi pada variasi 75% EGR, peningkatan terendah pada variasi 25% EGR, keluaran CO terendah dihasilkan oleh motor kondisi normal oleh karena itu penggunaan EGR pada penelitian ini tidak dianjurkan untuk menganalisa CO.
2. Penggunaan EGR dapat meningkatkan daya dan torsi pada batasan 25% dan 50% EGR, namun pada variasi 75% EGR ada penurunan daya dan torsi pada RPM 1000 pada beban 3000 W dan 4000 W, hasil optimal daya dan torsi pada penelitian ini terdapat pada bukaan 50% pada setiap beban dan RPM.
3. Penggunaan EGR dapat menurunkan nilai GSFC pada batasan 25% dan 50% EGR, namun pada variasi 75% EGR nilai GSFC mengalami kenaikan pada RPM 1000 pada beban 3000 W dan 4000 W, hasil optimal GSFC pada penelitian ini terdapat pada bukaan 50% pada setiap beban dan RPM.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari penyelesaian jurnal ini tidak terlepas dari bimbingan, doa, dan motivasi dari berbagai pihak, penulis menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan materi, semangat, motivasi, kasih sayang, do'a selama menempuh pendidikan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
2. Bapak Edi Haryono, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I
3. Bapak Miftachudin, S.Pd., M.Pd. selaku dosen pembimbing II
4. Kerabat dan sahabat seperjuangan Teknik Permesinan Kapal-PPNS

[8] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI. (2017). PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN REPUBLIK INDONESIA NOMOR P.20/MENLHK/SETJEN/KUM.1/3/2017. 1–26.

6. DAFTAR PUSTAKA

[1] Anugrah, R.A. (2021) 'Analisis Pengaruh Kalibrasi Pompa Injeksi Tipe Inline dan Injektor Motor Diesel Terhadap Volume dan Tekanan Penginjeksian Analisis Pengaruh Kalibrasi Pompa Injeksi Tipe Inline dan Injektor Motor Diesel Terhadap Volume dan Tekanan Penginjeksian', d(May). Available at: <https://doi.org/10.22441/jtm.v10i1.10192>.

[2] Budi Utomo (2020) 'Hubungan Antara Konsumsi Bahan Bakar dengan Berbagai Perubahan Kecepatan pada Motor Diesel Penggerak Kapal', *Jurnal Rekayasa Mesin*, 15(2), pp. 163–170.

Kotler (2018) 'Bab I خ ح ض با ؤ ؤ ؤ', Galang Tanjung, (2504), pp. 1–9.

[3] Sanjaya, F.L., Syaiful, S. and Syarifudin, S. (2020) 'Brake spesific fuel consumption, brake thermal efficiensy, dan emisi gas buang mesin bensin EFI dengan sistem EGR berbahan bakar premium dan butanol', *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 9(2), pp. 170–176. Available at: <https://doi.org/10.24127/trb.v9i2.1178>.

[4] Tumilar, G.P., Lisi, F. and Pakiding, M. (2015) 'Optimalisasi Penggunaan Bahan Bakar Pada Generator Set Dengan Menggunakan Proses Elektrolisis', *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 4(2), pp. 77–88.

[5] (Wahyu, 2019) 'Pembangkitan tegangan pada generator 3 fasa 1-16'.

[6] (Jusman, Hasrul, 2019) 'Studi Perbedaan Arus Generator Dan Transformator Pembangkit Listrik 1 Pltu Tello Di Makassar'.

[7] Haryanto, B., Resosoedarmo, B., Utami, S. T. B., Hartono, B., & Hermawati, E. (2016). Effect of Ambient Particulate Matter 2.5 Micrometer (PM2.5) to Prevalence of Impaired Lung Function and Asthma in Tangerang and Makassar. *Kesmas: National Public Health Journal*, 10(4), 145. <https://doi.org/10.21109/kesmas.v10i4.823>