



## PENERAPAN SIRKULASI GAS BUANG PADA MESIN DIESEL KAPAL PERIKANAN UNTUK MENINGKATKAN PERFORMA MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR BIODIESEL B40

### *EXHAUST GAS CIRCULATION ON A DIESEL ENGINE FISHERIES VESSEL TO IMPROVE PERFORMANCE USING WITH BIODIESEL B40*

Hendra Purnomo<sup>1</sup>, Barokah<sup>2\*</sup>, Kriswaanto<sup>3</sup>, Iksan Saefudin<sup>3</sup>, Putu Deny Darmawan<sup>3</sup>, Harlian<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Politeknik Pelayaran Banten, Jl. Raya No.1, Karang Serang, Sukadiri, Tangerang Regency, Banten 15330, Indonesia

<sup>2</sup> Politeknik Kelautan dan Perikanan Bitung, Jl. Tandurusa, Aertembaga Dua, Aertembaga, Kota Bitung, Sulawesi Utara 95526, Indonesia

<sup>3</sup> Politeknik Pelayaran Sulawesi Utara, I. Trans Sulawesi KM.80 desa tawaang kecamatan tenga, Tawaang, Kec. Amurang, Kabupaten Minahasa Selatan, Sulawesi Utara 95355, Indonesia

\*Korespondensi: barokahkarpov1975@gmail.com (Barokah)

Diterima 11 Desember 2025 – Disetujui 30 April 2026

**ABSTRAK.** Sesuai perkembangan teknologi bidang permesinan kapal perikanan khususnya mesin diesel telah banyak dilakukan pengembangan untuk mendapatkan performa yang maksimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penerapan sistem sirkulasi gas buang (*Exhaust Gas Recirculation*) terhadap performa mesin diesel dengan menggunakan bahan bakar biodiesel B40 pada mesin diesel. Penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar alternatif semakin berkembang karena mampu mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan menekan emisi gas buang. Namun demikian, penggunaan biodiesel dengan campuran tinggi seperti B40 dapat mempengaruhi karakteristik pembakaran dan performa mesin. Oleh karena itu, diperlukan metode untuk mengoptimalkan kinerja mesin, salah satunya melalui penerapan sistem EGR (*Exhaust Gas Recirculation*). Metode penelitian dilakukan secara eksperimen dengan melakukan pengujian mesin diesel menggunakan bahan bakar biodiesel B40. Pengujian dilakukan secara langsung dengan mengoperasikan langsung mesin diesel yang telah dipasang sistem EGR. Parameter yang diamati meliputi performa mesin seperti daya, konsumsi bahan bakar spesifik. Data diambil pada kondisi beban bervariasi. Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mengetahui pengaruh EGR terhadap peningkatan performa mesin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan sistem sirkulasi gas buang pada mesin diesel yang menggunakan bahan bakar biodiesel B40 mampu mempengaruhi proses pembakaran sehingga berdampak pada perubahan performa mesin. Pada kondisi bukaan valve 25 % dapat meningkatkan SFOC terbaik. Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa penerapan sistem sirkulasi gas buang (EGR) pada mesin diesel dengan bahan bakar biodiesel B40 meningkatkan efisiensi mesin.

**Kata Kunci:** Biodiesel B40, *exhaust gas recirculation*, kapal perikanan, mesin diesel, performa mesin.

**ABSTRACT.** Along with advancements in mechanical engineering technology for fishing vessel, particularly in diesel engines, numerous developments have been made to achieve maximum performance. This study aims to determine the effect of applying an exhaust gas recirculation (EGR) system on the performance of diesel engines using B40 biodiesel fuel. The use of biodiesel as an alternative fuel is growing because it can reduce dependence on fossil fuels and reduce exhaust emissions. However, the use of high-blend biodiesel such as B40 can affect combustion characteristics and engine performance. Therefore, a method is needed to optimize engine performance, one of which is through the application of an EGR system. The research method was conducted experimentally by testing diesel engines using B40 biodiesel fuel. The testing was carried out directly by operating diesel engines equipped with EGR systems. The parameters observed included engine performance, such as power and specific fuel consumption. Data was collected under varying load conditions. The data obtained was then analyzed to determine the effect of EGR on engine performance improvement. The results indicate that the application of an exhaust gas recirculation system in diesel engines utilizing B40 biodiesel fuel can influence the combustion process, thereby affecting engine performance. At a valve opening of 25%, the best SFOC can be achieved. The results showed that the application of an exhaust gas recirculation

*system in diesel engines using B40 biodiesel fuel can affect the combustion process, thereby impacting engine performance. Based on the test results, it can be concluded that the application of an exhaust gas recirculation (EGR) system in diesel engines fueled by B40 biodiesel improves engine efficiency.*

**Keywords:** B40 biodiesel, exhaust gas recirculation (EGR), fishing vessel, diesel engine, engine performance.

## 1. Pendahuluan

Peningkatan kebutuhan energi global yang seiring dengan pertumbuhan sektor industri dan transportasi telah mendorong eksploitasi sumber energi berbasis fosil secara masif, yang pada akhirnya menimbulkan permasalahan keberlanjutan dan dampak lingkungan yang signifikan. Bahan bakar diesel, sebagai salah satu energi utama pada sektor transportasi, masih didominasi oleh bahan bakar fosil yang memiliki keterbatasan sumber daya serta menghasilkan emisi gas buang berbahaya, seperti partikulat, nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), dan karbon monoksida (CO), yang berkontribusi terhadap pencemaran udara dan perubahan iklim (Agarwal, 2007; Lapuerta *et al.*, 2008). Oleh karena itu, pengembangan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan menjadi suatu kebutuhan mendesak.

Biodiesel merupakan salah satu alternatif bahan bakar terbarukan yang berasal dari sumber hayati, seperti minyak nabati dan lemak hewani, yang memiliki potensi besar untuk menggantikan bahan bakar fosil. Penggunaan biodiesel telah terbukti mampu menurunkan emisi gas buang serta meningkatkan sifat pelumasan bahan bakar (Knothe *et al.*, 2015). Di Indonesia, implementasi kebijakan mandatori biodiesel, seperti program B30 hingga B40, menunjukkan komitmen pemerintah dalam meningkatkan ketahanan energi nasional sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil (Kementerian ESDM, 2023). Namun demikian, penggunaan biodiesel dengan rasio campuran tinggi dapat memengaruhi karakteristik pembakaran dan performa mesin diesel, termasuk peningkatan konsumsi bahan bakar spesifik serta perubahan temperatur pembakaran (Hoekman *et al.*, 2012).

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, berbagai inovasi teknologi mesin telah dikembangkan, salah satunya adalah sistem *Exhaust Gas Recirculation* (EGR). Sistem ini bekerja dengan mensirkulasikan kembali sebagian gas buang ke dalam ruang bakar untuk menurunkan temperatur puncak pembakaran, sehingga mampu mengurangi pembentukan emisi NO<sub>x</sub> secara signifikan (Heywood, 2018). Selain itu, penerapan EGR juga berpotensi memengaruhi efisiensi pembakaran dan karakteristik performa mesin, terutama ketika dikombinasikan dengan penggunaan bahan bakar alternatif seperti biodiesel.

Sejumlah penelitian terdahulu telah mengkaji pengaruh penggunaan biodiesel terhadap kinerja dan emisi mesin diesel, yang umumnya menunjukkan bahwa biodiesel mampu menurunkan emisi partikulat dan karbon monoksida, namun cenderung meningkatkan emisi nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) serta memengaruhi efisiensi bahan bakar (Lapuerta *et al.*, 2008; Hoekman *et al.*, 2012). Di sisi lain, penerapan sistem Exhaust Gas Recirculation (EGR) telah terbukti efektif dalam menekan pembentukan NO<sub>x</sub> melalui penurunan temperatur pembakaran (Agarwal, 2007; Heywood, 2018). Beberapa studi juga telah mengeksplorasi kombinasi biodiesel dan EGR, namun sebagian besar penelitian masih terbatas pada campuran biodiesel rendah (seperti B10–B20) serta belum secara komprehensif mengevaluasi pengaruhnya pada campuran biodiesel tinggi dalam kondisi operasional yang bervariasi. Selain itu, kajian yang mengintegrasikan analisis performa mesin secara menyeluruh, meliputi daya, torsi, dan konsumsi bahan bakar spesifik pada penggunaan biodiesel B40 dengan sistem EGR, masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan kebaruan dengan mengkaji secara simultan pengaruh sistem EGR terhadap kinerja mesin diesel berbahan bakar biodiesel campuran tinggi (B40), sehingga diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah yang lebih mendalam dalam pengembangan teknologi mesin ramah lingkungan dan optimalisasi pemanfaatan biodiesel di Indonesia.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh penerapan sistem EGR terhadap kinerja mesin diesel yang menggunakan bahan bakar biodiesel campuran tinggi (B40). Parameter yang diamati meliputi daya, torsi, serta konsumsi bahan bakar spesifik. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan teknologi mesin diesel yang lebih efisien dan ramah lingkungan, serta mendukung implementasi energi terbarukan secara berkelanjutan.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi bahan bakar biodiesel B40 dan minyak pelumas sebagai pendukung operasional mesin. Alat utama yang digunakan terdiri atas mesin diesel yang terhubung dengan dinamo listrik sebagai beban, serta dilengkapi dengan tangki air pendingin untuk menjaga stabilitas suhu selama pengujian. Instrumen pengukuran yang digunakan meliputi gelas ukur bahan bakar, multimeter, *tachometer*, dan manometer untuk memperoleh data kinerja mesin secara akurat. Selain itu, sistem pendukung seperti pompa air pendingin, pemanas air, valve gas, *T-shock*, dan pipa *nipple* digunakan untuk mengatur aliran fluida dan memastikan sistem bekerja secara optimal. Seluruh peralatan dipersiapkan dan dikalibrasi sebelum pengujian untuk menjamin validitas dan reliabilitas data yang dihasilkan.



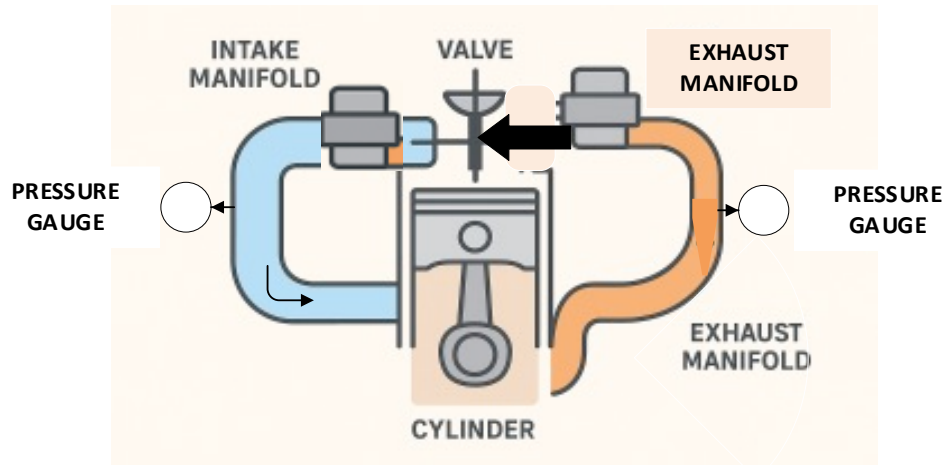
**Gambar 1. Perlengkapan *Experiment*.**

Pada rangkaian alat uji coba untuk meneliti pengaruh pemasangan EGR terhadap SFOC digunakan peralatan mesin diesel dengan merk *Yamakoyo type R180* 1 silinder dengan daya 8HP dan alternator dengan merk *Matrix type ST-3* dengan daya 3kW kemudian pendinginan pada *jacket cooling* di *upgrade* dengan menggunakan tabung yang *bervolume* 72.000 cm<sup>3</sup> dan pompa air pendingin merk *GMB Omega type centrifugal* yang terpisah dengan mesin diesel, kemudian untuk penggerak pompa pendingin berasal dari putaran *flywheel* yang di hubungkan dengan *vanebelt*, sehingga pada saat mesin diesel beroperasi, pompa pendingin secara otomatis akan ikut berputar. Sedangkan untuk beban pada mesin digunakan *portable heater* yang berjumlah 6 buah dengan masing-masing daya sebesar 300 watt dengan merk *Fleco type spiral* dengan daya 350W yang dicelupkan kedalam tabung air yang berkapasitas 98 Liter, sedangkan untuk mengukur penggunaan bahan bakar menggunakan gelas ukur dengan kapasitas 250 mm. RPM pada mesin diesel di ukur dengan menggunakan *Tachometer* dengan merk *Prova type RM 1500 Measuring distance 50-300 mm*.

### 2.2. Skematik Penelitian

Pada tahap persiapan, sistem *Exhaust Gas Recirculation (EGR)* dirancang dan dipasang pada mesin diesel untuk mendukung proses pengujian. Sistem EGR dioperasikan dengan cara mensirkulasikan sebagian gas buang kembali ke ruang bakar melalui saluran yang telah diatur, dengan tujuan menurunkan temperatur pembakaran serta mengontrol emisi gas buang. Pengaturan laju aliran gas dilakukan secara manual melalui katup kontrol untuk memperoleh variasi kondisi operasi yang optimal. Penentuan volume atau fraksi gas resirkulasi disesuaikan berdasarkan kebutuhan eksperimen guna menghindari terjadinya knocking dan memastikan kestabilan kinerja mesin selama pengujian. Seluruh

konfigurasi sistem dan parameter operasi disiapkan mengacu pada prinsip kerja mesin pembakaran dalam dan sistem pengendalian emisi yang telah banyak digunakan dalam penelitian sebelumnya (Heywood, 2018; Agarwal, 2007).



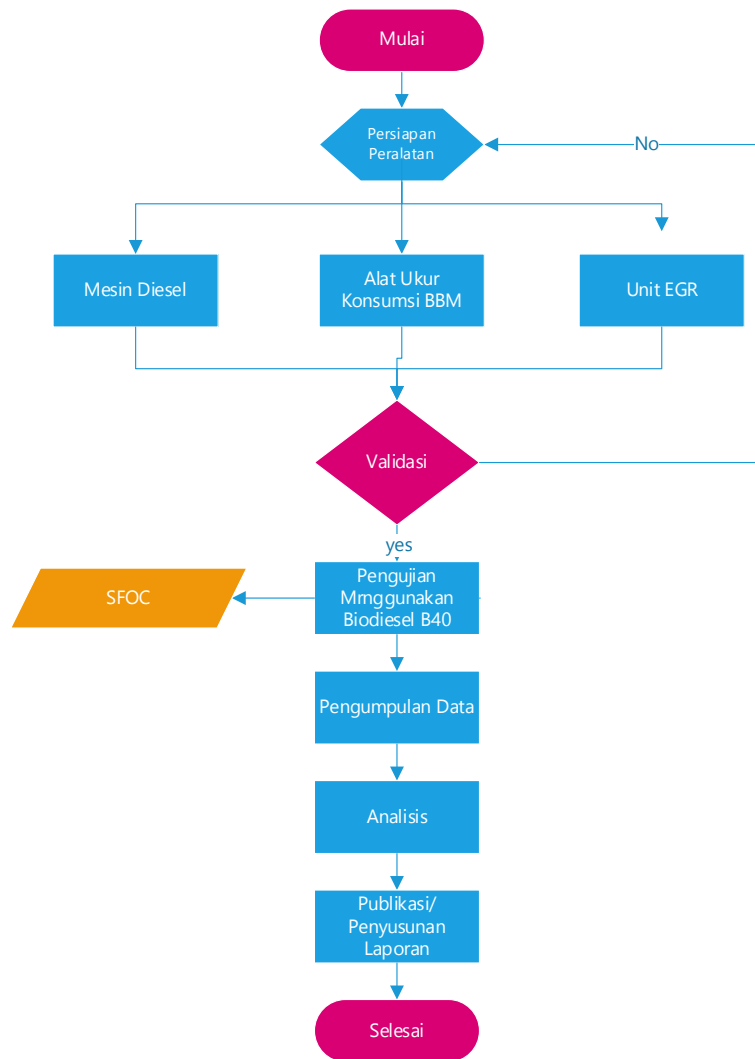
**Gambar 2. Skematik Sistem EGR.**

Berdasarkan konfigurasi sistem pada **Gambar 2**, mesin diesel dilengkapi dengan saluran *intake manifold* dan *exhaust manifold* yang terhubung melalui mekanisme katup (*valve*) untuk mengatur aliran udara dan gas buang. Udara segar masuk ke dalam silinder melalui *intake manifold*, sedangkan gas hasil pembakaran dikeluarkan melalui *exhaust manifold*. Pada penelitian ini, sebagian gas buang dari *exhaust* dialirkan kembali menuju *intake* sebagai bagian dari sistem *Exhaust Gas Recirculation (EGR)* untuk menurunkan temperatur pembakaran di dalam silinder. Tekanan pada kedua saluran diukur menggunakan *pressure gauge* yang dipasang pada sisi *intake* dan *exhaust* guna memantau perbedaan tekanan selama proses berlangsung. Seluruh sistem dirancang agar aliran fluida tetap stabil dan terkontrol sehingga kinerja mesin serta parameter pengujian dapat diamati secara akurat.

## 2.2. Prosedur Penelitian

Pada pelaksanaan penelitian ini menggunakan metode eksperimen yaitu metode melakukan pengujian atau pengukuran konsumsi bahan bakar dengan menggunakan gelas ukur, serta pengukuran beban mesin. Langkah – langkah pengambilan data antara lain sebagai berikut:

1. Persiapan
  - a. Menyiapkan peralatan dan permesinan
  - b. Mengecek semua sistem yang ada pada mesin (sistem bahan bakar, sistem pelumasan dan sistem pendinginan).
  - c. Mengoperasikan mesin tanpa beban pada putaran stationer idle selama 10 menit.
2. Pembebanan Mesin
  - a. Mengatur hingga mencapai tegangan 220 volt.
  - b. Mengatur putaran mesin sesuai spesifikasi 1500 rpm.
  - c. Mengatur bukaan katup 0%, 25%, 50%.
  - c. Memberikan beban secara bervariasi 350 Watt, 700 Watt, 1050 Watt, 1400 Watt dan 1750 Watt.
3. Pengambilan data dilakukan pada tiga variasi atau kondisi yaitu saat mesin beroperasi tanpa menggunakan EGR dan menggunakan EGR 25% dan 50% pada sistem gas buang.



**Gambar 3. Prosedur Penelitian.**

### 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penerapan sistem *Exhaust Gas Recirculation* (EGR) pada mesin diesel memberikan pengaruh terhadap konsumsi bahan bakar spesifik (*Specific Fuel Oil Consumption*/SFOC) dan daya yang dihasilkan pada putaran konstan 1500 rpm. Variasi EGR yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0%, 25%, dan 50%.

Secara umum, peningkatan pembebanan menyebabkan daya mesin meningkat dari 0,35 kW hingga 1,75 kW pada seluruh variasi EGR. Peningkatan daya tersebut diikuti oleh penurunan nilai SFOC. Fenomena ini menunjukkan bahwa efisiensi pemanfaatan bahan bakar menjadi lebih baik pada beban yang lebih tinggi. Pada kondisi tanpa EGR (0%), nilai SFOC menurun dari 2446,33 g/kWh pada daya 0,35 kW menjadi 862,04 g/kWh pada daya 1,75 kW. Tren serupa juga terjadi pada variasi EGR 25% dan 50%.

Pada penggunaan EGR 25%, nilai SFOC cenderung lebih rendah dibandingkan kondisi tanpa EGR pada beberapa titik pembebanan. Misalnya, pada daya 1,75 kW nilai SFOC turun menjadi 738,89 g/kWh dibandingkan 862,04 g/kWh pada EGR 0%. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan EGR dalam jumlah moderat mampu meningkatkan efisiensi pembakaran dan menurunkan konsumsi bahan bakar spesifik. Namun demikian, pada variasi EGR 50% terlihat bahwa nilai SFOC mengalami fluktuasi dan pada beberapa kondisi meningkat kembali. Pada daya 1,75 kW, nilai SFOC tercatat sebesar 754,29 g/kWh, sedikit lebih tinggi dibandingkan EGR 25%. Kondisi ini mengindikasikan bahwa

penambahan laju EGR yang terlalu tinggi mulai menurunkan kualitas pembakaran akibat berkurangnya konsentrasi oksigen di dalam ruang bakar.

Secara keseluruhan, hasil penelitian memperlihatkan bahwa variasi EGR 25% memberikan performa terbaik dalam menurunkan nilai SFOC dibandingkan variasi lainnya. Dengan kata lain, EGR dalam proporsi moderat mampu meningkatkan efisiensi termal mesin diesel pada putaran konstan.



**Gambar 4. Sistem EGR Pada Mesin Diesel Silinder Tunggal.**

Secara keseluruhan, hasil penelitian memperlihatkan bahwa variasi EGR 25% memberikan performa terbaik dalam menurunkan nilai SFOC dibandingkan variasi lainnya. Dengan kata lain, EGR dalam proporsi moderat mampu meningkatkan efisiensi termal mesin diesel pada putaran konstan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa proses pembakaran berlangsung lebih efektif karena distribusi campuran udara dan bahan bakar menjadi lebih homogen. Selain itu, temperatur pembakaran yang lebih terkendali juga berkontribusi terhadap stabilitas kerja mesin selama proses pengujian berlangsung. Efisiensi pembakaran yang meningkat pada variasi EGR 25% mengindikasikan bahwa sistem resirkulasi gas buang dapat menjadi salah satu alternatif teknologi untuk meningkatkan performa mesin diesel sekaligus mengurangi dampak lingkungan. Hasil ini juga memperlihatkan bahwa optimasi rasio EGR sangat penting untuk memperoleh keseimbangan antara performa mesin, konsumsi bahan bakar, dan emisi gas buang. Pada hasil dari ujicoba pengujian ini pada putaran mesin (RPM) yang sama yaitu 1500 RPM pada daya yang bervariasi dan prosentase pembukaan valve EGR mendapatkan hasil sebagai berikut (lihat **Tabel 1**).

**Tabel 1. Hasil Eksperimen Pengujian Daya vs SFOC.**

EGR %	RPM	Konsumsi 40 mL (s)	Daya (kW)	SFOC (gr/kWh)
0	1500	230	0	0
0	1500	148	0.35	2446.332
0	1500	108	0.7	1676.1905
0	1500	106	1.05	1138.5445
0	1500	86	1.4	1052.4917
0	1500	84	1.75	862.04082

EGR %	RPM	Konsumsi 40 mL (s)	Daya (kW)	SFOC (gr/kWh)
0.25	1500	230	0	0
0.25	1500	154	0.35	2351.0204
0.25	1500	116	0.7	1560.5911
0.25	1500	102	1.05	1183.1933
0.25	1500	100	1.4	905.14286
0.25	1500	98	1.75	738.89213
0.5	1500	238	0	0
0.5	1500	148	0.35	2446.332
0.5	1500	146	0.7	1239.9217
0.5	1500	112	1.05	1077.551
0.5	1500	108	1.4	838.09524
0.5	1500	96	1.75	754.28571

Grafik pada **Tabel 1** mendeskripsikan bahwa penurunan SFOC terendah yaitu 738.8921 gram /kWh pada beban 1.75 kW terjadi pada bukaan EGR 25%. Ketika daya mesin diesel meningkat specific fuel oil consumption (SFOC) menurun, hal ini merupakan fenomena normal pada mesin diesel. SFOC turun karena efisiensi mesin meningkat. Jika daya naik tanpa peningkatan konsumsi bahan bakar yang sebanding, maka mesin bekerja lebih efisien, sehingga SFOC turun. Ketika daya naik lebih cepat daripada kenaikan konsumsi bahan bakar maka SFOC otomatis turun.

Peningkatan daya mesin seiring bertambahnya pembebanan menunjukkan bahwa mesin diesel masih bekerja pada rentang operasi normal. Pada penelitian ini, penerapan EGR tidak menyebabkan penurunan daya yang signifikan, terutama pada variasi EGR 25%. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian gas buang yang disirkulasikan kembali masih mampu mendukung proses pembakaran tanpa mengurangi energi pembakaran secara drastis. Menurut Laddomatos *et al.* (2000). Sistem EGR bekerja dengan mengalirkan kembali sebagian gas buang ke intake manifold sehingga temperatur pembakaran dapat ditekan. Gas buang yang mengandung CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O memiliki kapasitas panas spesifik yang tinggi sehingga mampu menyerap panas pembakaran dan menurunkan temperatur puncak di dalam silinder. Penurunan temperatur pembakaran inilah yang menjadi mekanisme utama pengurangan emisi NO<sub>x</sub> pada mesin diesel.

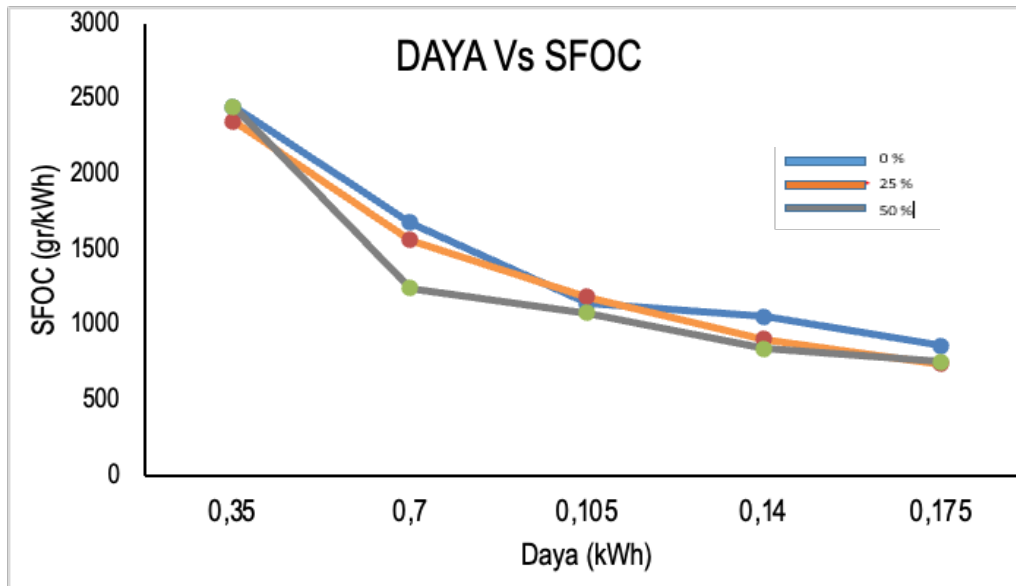
Pada sisi lain, penggunaan EGR dalam jumlah moderat dapat meningkatkan homogenitas campuran udara-bahan bakar sehingga pembakaran berlangsung lebih stabil. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Syarifudin (2021) yang melaporkan bahwa penggunaan EGR panas mampu meningkatkan daya mesin diesel dan memperbaiki kualitas pembakaran. Variasi EGR 25% dalam penelitian ini menghasilkan performa daya yang relatif stabil disertai penurunan SFOC. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa laju EGR moderat masih berada pada batas optimum dimana penurunan temperatur pembakaran belum menyebabkan defisiensi oksigen yang berlebihan.

Sebaliknya, pada variasi EGR 50%, kecenderungan peningkatan SFOC menunjukkan bahwa suplai oksigen mulai berkurang sehingga proses oksidasi bahan bakar tidak berlangsung sempurna. Kondisi ini menyebabkan sebagian bahan bakar tidak terbakar secara optimal sehingga efisiensi pembakaran menurun. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian Agarwal *et al.* (2011) yang menyatakan bahwa peningkatan rasio EGR yang terlalu tinggi dapat meningkatkan pembentukan jelaga dan memperburuk efisiensi bahan bakar akibat rendahnya konsentrasi oksigen di ruang bakar.

Pada beban rendah, banyak losses gesekan mekanis (*friction losses*) tetap tinggi walaupun daya kecil, pompa oli dan pompa air tetap bekerja, sebagian panas terbuang ke dinding silinder dan pendinginan, pembakaran kurang sempurna karena temperatur ruang bakar rendah. Akibatnya, porsi energi yang terbuang besar, dan daya yang dihasilkan kecil sehingga SFOC tinggi. Saat daya naik ke

level optimal rendemen –rendemen tersebut tidak meningkat banyak, tetapi output naik signifikan Ini menyebabkan SFOC turun.

Pada semua rentang kecepatan mesin, semakin tinggi kandungan biodiesel dalam bahan bakar, semakin tinggi konsumsi bahan bakarnya. Hal ini karena bahan bakar dengan kandungan biodiesel yang lebih tinggi memiliki kandungan energi yang lebih rendah karena biodiesel mengandung O<sub>2</sub>, yang menurunkan kepadatan energinya (Sethin *et al.*, 2024).



**Gambar 5. Grafik Daya vs SFOC.**

Sistem *Exhaust Gas Recirculation* (EGR) memiliki korelasi yang kompleks dengan performa mesin; peran utamanya adalah untuk efisiensi dan pengurangan emisi, namun kinerjanya yang tepat sangat penting untuk menjaga tenaga dan efisiensi bahan bakar. Dampak positif dari performa ini antara lain: peningkatan efisiensi termal, Semakin tinggi daya, semakin besar energi berguna dibandingkan energi yang hilang, Pada beban lebih tinggi, ekspansi gas lebih optimal, efisiensi termal naik saat daya meningkat karena energi hilang (*losses*) tidak bertambah sebesar energi *output*, bukaan EGR 25% lebih baik dibandingkan 50%, dan pada 50% efek negatifnya mulai mendominasi akibatnya, porsi energi yang terbuang besar, dan daya yang dihasilkan kecil sehingga SFOC tinggi.

Peningkatan persentase biodiesel (hingga 20%) dan jumlah EGR, menurunkan laju konsumsi bahan bakar. Penurunan konsumsi bahan bakar dengan peningkatan persentase biodiesel (hingga 20%) dalam campuran bahan bakar disebabkan oleh kandungan oksigen biodiesel dan pembakaran sempurna serta kondisi pembakaran yang lebih baik. Namun, konsumsi bahan bakar meningkat dengan persentase biodiesel yang lebih tinggi (lebih dari 20%). Peningkatan tingkat konsumsi bahan bakar pada campuran bahan bakar yang memiliki lebih dari 20% biodiesel disebabkan oleh nilai kalor biodiesel yang lebih rendah dan densitas yang lebih tinggi dibandingkan bahan bakar diesel (Soltani *et al.*, 2016). Ditambahkan Fernandes *et al.* (2024), hasil eksperimen menunjukkan bahwa laju aliran EGR dari 0% hingga 15% meningkatkan BSFC. Pada beban optimum, nilai BSFC untuk campuran B20 dengan jumlah bahan bakar pilot 30% untuk resirkulasi gas buang sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15% masing-masing adalah 0,24, 0,25, 0,26, dan 0,28 kg/kWh.

Berdasarkan hasil penelitian, variasi EGR 25% dapat dianggap sebagai kondisi optimum dalam pengujian ini karena menghasilkan nilai SFOC paling rendah tanpa menyebabkan penurunan daya yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat titik keseimbangan antara penurunan temperatur pembakaran dan ketersediaan oksigen di ruang bakar. Dalam konteks aplikasi praktis, penggunaan

EGR pada level moderat sangat potensial diterapkan pada mesin diesel skala kecil maupun menengah untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar sekaligus menekan emisi NOx. Namun, penggunaan EGR yang terlalu tinggi perlu dihindari karena dapat menyebabkan penurunan performa pembakaran, peningkatan deposit karbon, dan peningkatan konsumsi bahan bakar.

Hasil penelitian ini juga memperkuat teori bahwa sistem EGR memiliki karakteristik trade-off antara pengurangan emisi dan performa mesin. Semakin tinggi rasio EGR, temperatur pembakaran akan semakin rendah sehingga emisi NOx berkurang, tetapi pada saat yang sama kualitas pembakaran dan efisiensi termal dapat menurun.

#### 4. Kesimpulan

Telah dilakukan pengujian sistem EGR pada mesin diesel yang dapat dioperasikan secara manual. Sistem EGR dapat berfungsi dengan baik dalam menunjang operasi mesin diesel. Hasil pengujian pada sistem EGR yang terpasang dapat mempengaruhi performa mesin diesel terutama pada bukaan valve 25% dibandingkan dengan bukaan valve 50% sedangkan karakteristik performa SFOC pada beban 1.75 kW mencapai efisiensi termal tertinggi dan penurunan SFOC terendah. Dari sistem EGR yang telah berhasil dibuat perlu dilakukan pengembangan dengan sistem computerize sehingga dapat beroperasi secara otomatis dan dalam pengambilan data sudah bisa langsung terbaca lewat komputer. Dari eksperimen yang telah dilakukan perlu diperluas cakupan pengujian meliputi karakteristik performa lainnya dan juga pengaruhnya terhadap emisi gas buang pada mesin.

#### Daftar Pustaka

- Agarwal, A. K. (2007). Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, 33(3), 233–271. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2006.08.003>
- Agarwal, D., Singh, S. K., & Agarwal, A. K. (2011). Effect of exhaust gas recirculation (EGR) on performance, emissions, deposits and durability of a constant speed compression ignition engine. *Applied Energy*, 88(8), 2900–2907. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.01.066>
- Armas, O., Gómez, A., & Cárdenas, M. D. (2009). Biodiesel Emissions From A Baseline Engine Operated With Different Injection Systems And Exhaust Gas Recirculation (EGR) Strategies During Transient Sequences. *Energy and Fuels*, 23(12), 6168–6180. <https://doi.org/10.1021/ef9006356>
- Elkelawy, M., Bastawissi, H. A.-E., El Shenawy, E. A., & Ouda, M. M. (2025). Impact of Biodiesel-Diesel Blends and EGR on Emissions and Performance of a Single-Cylinder Diesel Engine at Constant Speed. *Pharos Engineering Science Journal*, 2(1), 231–248. <https://doi.org/10.21608/pesj.2025.370375.1024>
- Fernandes, L. J., Rajashekhar, C. R., & Dinesha, P. (2024). The Combined Effect of Split Fueling Strategy and EGR on the Combustion, Performance, and Emission Characteristics of a CRDI Biofuel Engine. *Heat Transfer*, 53(3), 1532–1555. <https://doi.org/10.1002/htj.23004>
- Heywood, J. B. (2018). *Internal combustion engine fundamentals (2nd ed.)*. McGraw-Hill Education.
- Hoekman, S. K., Broch, A., Robbins, C., Cenicerros, E., & Natarajan, M. (2012). Review of biodiesel composition, properties, and specifications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 143–169. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.143>
- Jaliliantabar, F., Ghobadian, B., Najafi, G., & Mamat, R. (2017). Evaluation of the performance and Emissions of a Single Cylinder Diesel Engine Fueled by Biodiesel and Using Exhaust Gas Recirculation. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 19(3), 80–91.
- Jo, K., & Kong, K. (2025). Comparative Analysis of Combustion Characteristics and Emission Formation in Marine Diesel Engines Using Biofuels: *Chemical Mechanism Analysis and Computational Fluid Dynamics Simulation*. 1–19.

- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). (2023). Implementasi mandatori biodiesel di Indonesia. Jakarta: KESDM.
- Knothe, G., Van Gerpen, J., & Krahl, J. (2015). *The biodiesel handbook (2nd ed.)*. AOCS Press.
- Ladommatos, N., Abdelhalim, S. M., Zhao, H., & Hu, Z. (2000). The effects of exhaust gas recirculation on diesel combustion and emissions. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 214(1), 101–119. <https://doi.org/10.1243/0954407001525290>
- Lapuerta, M., Armas, O., & Rodríguez-Fernández, J. (2008). Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34(2), 198–223. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2007.07.001>
- Ramalingam, K., Abdullah, M. Z., Elumalai, P. V., Reddy, M. V., Yafang, Y., Prabhakar, S., & Kamakshi Priya, K. (2025). Production and Utilization of Hydrogen Enriched Fifth Generation Biofuel in LTC engines with reformed EGR. *Scientific Reports*, 15(1), 1–19. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-08259-w>
- Septiyanto, A., & Nugroho, G. (2017). Pengaruh exhaust gas recirculation (EGR) terhadap performa dan emisi jelaga mesin diesel direct injection. *Saintekno: Jurnal Sains dan Teknologi*, 15(2), 91–99.
- Sethin, A., Oo, Y. M., Thawornprasert, J., & Somnuk, K. (2024). Effects of Blended Diesel-Biodiesel Fuel on Emissions of a Common Rail Direct Injection Diesel Engine with Different Exhaust Gas Recirculation Rates. *ACS Omega*, 9(19), 20906–20918. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c10125>
- Soltani, P., Poorvosooghi Gargari, H., Faridi, H., & Others. (2016). Evaluate the Effect of Biodiesel and EGR System on Diesel Engine Emissions., 42(42), 23–32.
- Spirated, N. A. A., & Ngine, G. A. E. (2015). Jurnal Teknologi C ONSUMPTION AND E XHAUST E MISSIONS OF. 9, 25–29.
- Syarifudin, S. (2021). Pengaruh penggunaan EGR panas terhadap daya dan emisi jelaga mesin diesel. *Nozzle: Journal Mechanical Engineering*, 9(2), 71–77. <https://doi.org/10.30591/nozzle.v9i2.2264>
- Yasin, M. H. M., Mamat, R., Yusop, A. F., Paruka, P., Yusaf, T., & Najafi, G. (2015). Effects of Exhaust Gas Recirculation (EGR) on a Diesel Engine fuelled with Palm-biodiesel. *Energy Procedia*, 75, 30–36. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.131>
- Zeinali, S., Neshat, E., & Mollayousefi, S. Z. (2025). *Numerical Investigation on Different Effects of Recirculated Species on UHC and CO formation During Lean Homogeneous Combustion*.
- Zheng, M., Reader, G. T., & Hawley, J. G. (2008). Experimental study of various effects of exhaust gas recirculation (EGR) on combustion and emissions of an automotive direct injection diesel engine. *Energy*, 33(1), 22–34. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2007.08.010>
- Zuhdi, A., Fathallah, M., & Yasin, A. M. (2018). The Experiment Study of Performance , Combustion Process and NO X Emission of Diesel Engine with EGR System Using Angle Globe Valve. X. <https://doi.org/10.3844/ajeassp.2018.218.226>