**Jurnal Kolaborasi**
**Sains dan Ilmu Terapan**
Volume 5 No 1.1 Spesial Issue 2026 | Page 573-584
*ISSN 2964- 5581 (media online)*
*https://utilityprojectsolution.org/ejournal/index.php/JuKSIT*
Penerbit : Cv. Utility Project Solutio

# Pengaruh Campuran Oli Bekas 15% dan 25% Terhadap Performa Mesin Diesel Isuzu C 190

**Dimas Doni Prakoso[1], Rifki Hermana[2], Muhamad Safi'i[3]**

[1,2,3]Department of Mechanical Engineering,Faculty of Engineering and Informatics, Universitas Persatuan Guru Republik Indonesia Semarang, Central Java 50232, Indonesia.

Email Penulis Korespondensi: [2]rifkihermana@upgris.ac.id.

**Info Artikel**

**Kata Kunci:**
Biosolar
Mesin Diesel
Efisiensi
Oli Pelumas Bekas
Performa Mesin

**Abstrak**

Penggunaan bahan bakar fosil dan limbah oli bekas yang mencemari lingkungan menjadi urgensi utama digalakannya substitusi bahan bakar alternatif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa mesin diesel akibat penggunaan campuran bahan bakar biosolar dan oli bekas. Metode yang digunakan adalah eksperimental dengan objek pengujian berupa mesin diesel Isuzu C190 yang diberi perlakuan variasi campuran oli bekas sebesar 15% dan 25%, serta pengoperasian pada putaran mesin (Rpm) bertahap. Hasil pengujian pada beban 2 menunjukkan bahwa campuran oli bekas 15% menghasilkan torsi sebesar 77,28 N.m, daya keluar 27,89 HP, dan efisiensi 51,24%, sedangkan campuran 25% menghasilkan torsi 73,71 N.m, daya keluar 25,77 HP, dan efisiensi 36,44%. Dibandingkan dengan biosolar sebagai bahan bakar kontrol, kedua variasi campuran oli bekas menunjukan nilai torsi, daya keluar dan efisiensi yang lebih rendah. Diantara variasi campuran yang diuji, campuran oli bekas 15% menunjukan penurunan performa yang lebih kecil dibandingkan campuran 25%. Hasil ini menunjukan bahwa komposisi campuran oli bekas 15% memberikan performa lebih baik dibandingkan campuran 25% pada kondisi pengujian yang dilakukan. Namun, kelayakan penggunaannya sebagai bahan bakar alternatif masih memerlukan pengujian lebih lanjut, teritama terkait emisi gas buang, daya tahan mesin dan keamanan jangka panjang.

**Keywords:**
Biosolar
Diesel Engine
Efficiency
Waste Lubricating Oil
Engine Performance

**Abstract**

The use of fossil fuels and the environmental pollution caused by waste oil have created an urgent need to promote the adoption of alternative fuels. This study aims to analyze the performance of a diesel engine when fueled by a blend of biodiesel (biosolar) and waste oil. An experimental approach was employed, using an Isuzu C190 diesel engine tested with waste oil blends of 15% and 25%, operated at various engine speeds (RPM). Test results at load level 2 indicate that the 15% waste oil blend yielded a torque of 77.28 N.m, an output power of 27.89 HP, and an efficiency of 51.24%, while the 25% blend yielded a torque of 73.71 N.m, an output power of 25.77 HP, and an efficiency of 36,44%. Compared to pure biodiesel (used as a control fuel), both waste oil blends showed lower values for torque, output power, and efficiency. Among the tested blends, the 15% waste oil mixture exhibited a smaller decline in performance than the 25% mixture. These findings suggest that a 15% waste oil composition provides better performance than a 25% composition under the tested conditions. Nevertheless, the viability of using such blends as an alternative fuel requires further investigation, particularly regarding exhaust emissions, engine durability, and long-term safety.

*JuKSITis licensed under a Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License*

## 1. PENDAHULUAN

Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil menimbulkan tantangan dalam penyediaan energi dan pengendalian dampak lingkungan. Kondisi tersebut mendorong perlunya penelitian mengenai pemanfaatan bahan bakar alternatif yang dapat digunakan pada mesin diesel tanpa mengabaikan aspek performa mesin [1]. Penggunaan bahan bakar fosil berlebihan terbukti menimbulkan berbagai macam masalah seperti krisis energi, polusi, dan pencemaran lingkungan.


Submitted: **01/10/2026**; Accepted: **10/10/2026**; Published: **31/10/2026**

**Jurnal Kolaborasi**
# Sains dan Ilmu Terapan
Volume 5 No 1.1 Spesial Issue 2026 | Page 573-584
*ISSN 2964- 5581 (media online)*
*https://utilityprojectsolution.org/ejournal/index.php/JuKSIT* Penerbit : Cv. Utility Project Solutio

Sehingga, diperlukan kebijakan dan aturan yang solutif agar masalah tersebut dapat teratasi [2]. Dalam hal ini peran ilmuwan dan akademisi dalam aktifitas riset dan akademis untuk menyiapkan solusi dalam rangka mengatasi masalah tersebut menjadi suatu keharusan. Salah satu aktifitas dan riset yang di lakukan oleh peniliti dan akademisi adalah mendaur ulang oli bekas [3] [4].

Oli bekas merupakan limbah yang perlu dikelola dengan tepat karena pembuangannya secara sembarangan berpotensi mencemari lingkungan sekitar. Salah satu pendekatan yang dapat diteliti adalah pemanfaatan oli bekas sebagai komponen campuran bahan bakar diesel. Penerapan pendekatan tersebut perlu dievaluasi melalui pengujian agar pengaruhnya terhadap kinerja mesin dapat diketahui [5] [6]. Energi alternatif yang telah berkembang dengan basis energi terbarukan untuk mesin diesel sebetulnya sudah ada seperti contohnya etanol dan biodisel. Akan tetapi, biaya operasional etanol dan biodisel yang sangat mahal menjadikan para peniliti dan teknisi urung kendala pengaplikasian secara luas. Dengan opini tersebut penggunaan campuran daur ulang oli dan solar sebagai bahan bakar motor diesel menjadi alternatif dengan harga cenderung ekonomis [7] [8] [9].

Campuran daur ulang oli bekas dan solar ketika di aplikasikan ke mesin diesel memiliki kelebihan seperti suara mesin yang halus, mengurangi *knocking* dan melindungi pompa bahan bakar dan injektor dari berbagai macam kerusakan. Namun, campuran daur ulang oli bekas dan solar untuk bahan bakar mesin diesel memiliki kekurangan yang hingga saat ini sulit untuk di pecahkan seperti timbulnya kerak karbon, timbulnya asap hitam pekat pada knalpot dan juga masalah performa serta efisiensi mesin diesel. Daur ulang oli bekas yang di aplikasikan pada mesin diesel juga memiliki tujuan untuk meningkatkan pelumasan terutama untuk injektor dan pompa bahan bakar. Hasil pengujian menunjukkan bahwa campuran bahan bakar D10 memberikan hasil terbaik. Pada pembebanan 2.000 W, campuran ini menghasilkan emisi CO sebesar 1,94%, HC sebesar 0,43 ppm, dan opasitas sebesar 21,53%, yang masih berada di bawah batas baku mutu. Sebaliknya, campuran D20 menunjukkan nilai opasitas yang melampaui baku mutu pada pembebanan 2.000 W, sedangkan campuran D30 telah melampaui batas tersebut pada pembebanan 1.000 W dan 2.000 W [10] .

Studi eksperimen perbandingan bahan bakar solar, campuran solar dan oli bekas, dan WDF dilakukan guna untuk mengetahui performa motor bakar. Variasi *engine speed* sebesar 1000 - 5000 Rpm di usulkan dalam riset ini. Hasilnya, bahan bakar solar mampu meningkatkan kinerja motor bakar sebesar 3,22% dan diikuti campuran solar dan oli bekas dengan peningkatan kinerja motor bakar sebesar 2,98% [11]. Oli pelumas bekas dapat dikonversi menjadi bahan bakar sejenis diesel melalui proses permurnian, penambahan aditif, serta perlakuan pirolisis. Karakteristik bahan bakar hasil proses tersebut kemudian di evaluasi berdasarkan densitas, viskositas, dan titik nyala untuk menentukan kelayakannya sebagai bahan bakar mesin diesel. Hasilnya, melalui analisis ICP (*Inductively Coupled Plasma*), ditemukan bahwa kandungan logam berbahaya seperti Arsenik (As), Kadmium (Cd), dan Kromium (Cr) sangat rendah, yaitu < 0,05 ppm. Sementara itu, kandungan Tembaga (Cu) berkisar antara 0,3 ppm hingga 0,61 ppm [12] [13].

Penelitian yang pernah dilakukan juga menyatakan bahwa oli pelumas bekas hasil distilasi tidak direkomendasikan untuk digunakan secara murni karena memiliki densitas dan viskositas yang tinggi. Oleh karena itu, pencampuran dengan solar menjadi alternatif lebih aman karena mampu memperbaiki karakteristik bahan bakar sekaligus menjaga performa mesin diesel tetap normal. Pada pengujian performa mesin diesel, bahan bakar *diesel-like fuel* (DLF) yang berasal dari oli pelumas bekas mampu menghasilkan pembakaran yang baik dan komsumsi bahan bakar yang mendakati solar konvensional. Namun demikian, peningkatan emisi NOx dan opasitas asap masih ditemukan pada penggunaan bahan bakar DLF murni akibat perbedaan karakteristik dan kimia dibandingkan bahan bakar biosolar. Hasilnya, pada campuran biner DF95-WCO5 (95% diesel + 5% WCO), nilai BSFC membaik sebesar 0,32% dibandingkan diesel murni (DF100) [14] [15]. Berdasarkan pemetaan literatur tersebut, kesenjangan penelitian (*research gap*) yang melandasi riset ini adalah mayoritas studi terdahulu masih fokus pada evaluasi emisi makro atau proses daur ulang kimia dengan variasi campuran sangat rendah di bawah 10%. Pengujian komparatif mengenai dampak sifat fisik campuran kadar menengah terhadap efisiensi mekanis pada mesin multi-silinder stasioner saat ini masih sangat terbatas.

Meskipun pengujian oli bekas telah banyak dilakukan, penelitian yang secara spesifik menguji performa mekanis mesin industri atau kendaraan tertentu masih terbatas. Dengan demikian, penelitian ini dilakukan untuk menguji secara eksperimental pemanfaatan campuran biosolar dan oli bekas dengan variasi persentase 15% dan 25% pada mesin diesel Isuzu C190 berkapasitas 1.970 cc dengan daya maksimum 60 HP. Putaran Mesin di variasikan sebesar sekitar 2490 hingga 2983 Rpm. Kebaruan ilmiah dari riset ini berfokus pada penentuan campuran terbaik serta perbandingan torsi, daya keluar dan efisiensi mekanis antara biosolar dan variasi campuran oli bekas dari komponen mekanis spesifik milik mesin Isuzu C190. Analisis komparatif ini dibatasi pada rentang operasional mesin uji dan tidak dimaksudkan sebagai generalisasi komposisi optimum universal untuk seluruh jenis mesin diesel. Implementasi dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi alternatif yang dapat digunakan serta memberikan rekomendasi rasio campuran yang efisiensi tanpa


Submitted: **01/10/2026**; Accepted: **10/10/2026**; Published: **31/10/2026**

**Jurnal Kolaborasi**
# Sains dan Ilmu Terapan
Volume 5 No 1.1 Spesial Issue 2026 | Page 573-584
*ISSN 2964- 5581 (media online)*
*https://utilityprojectsolution.org/ejournal/index.php/JuKSIT* Penerbit : Cv. Utility Project Solutio

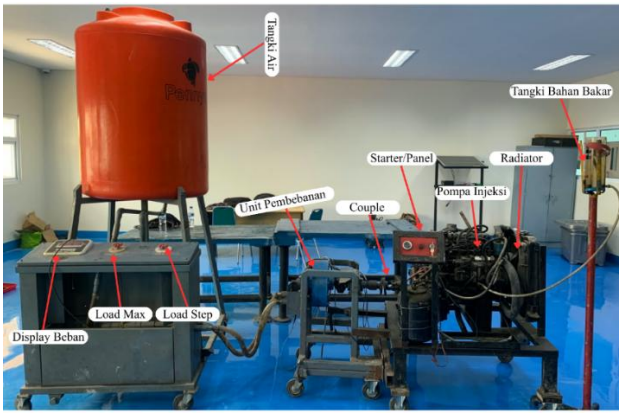
menurunkan performa mesin. Hasil pengujian diharapkan dapar diaplikasikan secara praktis pada pengguna mesin diesel, pengguna perahu dan transportasi lainnya.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian ini meliputi tahapan persiapan alat dan bahan, pelaksanaan pengujian, pengambilan data, serta perhitungan dan analisis hasil pengujian. Pengujian dilakukan pada mesin diesel Isuzu C190 dengan menggunakan biosolar, campuran oli bekas 15%, dan campuran oli bekas 25% untuk melihat bagaimana performa variasi setiap bahan bakar yang di uji terhadap performa mesin.

### 2.1. Model Fisik dan Spesifikasi Alat Uji

Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin diesel Izuzu C190 yang dihubungkan dengan dynotest sebagai alat pembeban. Bahan bakar pengujian ditempatkan pada tabung bahan bakar sebelum dialirkan ke sistem pembakaran mesin. Putaran mesin diukur dengan *tachometer* sedangkan beban di dapat dari *dynotest*. Pada Gambar 1, menunjukan model fisik mesin diesel Isuzu C190 yang digunakan sebagai objek pengujian dalam penelitian ini. Mesin empat silinder dengan kapasitas 1.970 cc tersebut difungsikan sebagai unit uji utama untuk mengamati karakteristik pembakaran dan performa mekanis mesin akibat penggunaan variasi campuran bahan bakar dan oli bekas.




**Gambar 1.** Model Fisik Motor Bakar Isuzu C190 dan *Dynotes*.

Gambar 1 menunjukkan alat uji performa (*engine test bed* atau *dynamometer test rig*) yang digunakan di laboratorium terpadu untuk mengukur kinerja dan karakteristik pembebanan suatu mesin atau motor penggerak. Alat ini bekerja dengan menyalurkan daya mekanik dari mesin uji ke unit pembebanan menggunakan sistem fluida (air) sebagai media penyerap energinya (hidrolik dinamometer). Berikut adalah pembahasan singkat mengenai fungsi komponen-komponen utama pada gambar terdiri atas *Display* Beban: Panel digital untuk membaca besarnya beban atau torsi yang dialami oleh sistem saat pengujian berlangsung. *Load Max* dan *Load Step*: Tombol kontrol untuk mengatur batas pembebanan maksimum (*Load Max*) dan tahapan pemberian beban secara bertahap (*Load Step*). Pompa Celup: Berfungsi untuk memompakan air dari tangki penampung bawah ke seluruh sirkulasi sistem pendingin dan pembebanan. Tangki Air: Wadah penyimpanan air utama yang digunakan untuk menjaga pasokan air pengujian tetap stabil dan menyerap panas yang dihasilkan oleh unit pembebanan. Selang Fleksibel dan Pipa *Inlet* atau *Outlet*: Jalur masuk dan keluarnya air yang menghubungkan sistem kontrol sirkulasi dengan unit pembebanan utama. Unit Pembebanan: Komponen utama (seperti hidrolik dinamometer atau pengerem air) yang memberikan hambatan atau beban putar terhadap motor atau mesin yang sedang diuji. Kopling: Penghubung mekanis yang menyalurkan putaran dari poros motor penggerak langsung ke unit pembebanan dengan aman. Kabel Daya: Jalur suplai energi listrik untuk menghidupkan sistem kontrol, *panel display*, dan pompa sirkulasi.

### 2.2. Spesifikasi Teknis Alat Uji

Untuk memberikan gambaran mendalam mengenai karakteristik dan batasan operasional dari instrumen yang digunakan, spesifikasi teknis lengkap dari mesin diesel uji Isuzu C190 beserta sistem *dynotest* dirangkum pada Tabel 1.


Submitted: **01/10/2026**; Accepted: **10/10/2026**; Published: **31/10/2026**

**Jurnal Kolaborasi**
# Sains dan Ilmu Terapan
Volume 5 No 1.1 Spesial Issue 2026 | Page 573-584
*ISSN 2964- 5581 (media online)*
*https://utilityprojectsolution.org/ejournal/index.php/JuKSIT* Penerbit : Cv. Utility Project Solutio

**Tabel 1**. Spesifikasi Alat Pengujian

| No. | Parameter | Spesifikasi |
|---|---|---|
| 1 | Mesin uji | Isuzu C190 |
| | Isi Silinder | 1970 cc |
| | Torsi maximum | 113 N.m |
| | Daya maximum | 60 HP |
| 2 | Pengukur waktu | *Stopwach* |
| 3 | Pengukur putaran | Tachometer |
| 4 | Sistem pembebanan | Dynotest |

Berdasarkan spesifikasi teknis pada Tabel 1, instrumen pengujian memiliki kapabilitas yang memadai untuk menguji parameter daya dan torsi secara presisi. Parameter teknis tersebut menjadi acuan dasar dalam menetapkan variasi tingkat pembebanan serta pemetaan performa mesin selama proses pengambilan data berlangsung.

### 2.3. Material Penelitian

Penelitian ini menggunakan biosolar dan oli bekas yang diolah menjadi tiga variasi campuran *fuel*. Solar diaplikasikan sebagai bahan bakar dasar (pembanding), sedangkan oli bekas berperan sebagai campuran bahan bakar alternatif. Sebelum proses pencampuran dilakukan, oli bekas disaring terlebih dahulu untuk mereduksi kotoran serta partikel asin.

**Tabel 2.** Komposisi Bahan Bakar.

| No | Jenis Bahan Bakar | Biosolar | Oli Bekas |
|---|---|---|---|
| 1 | Biosolar | 100% | 0 |
| 2 | Campuran 15% | 85% | 15% |
| 3 | Campuran 25% | 75% | 25% |

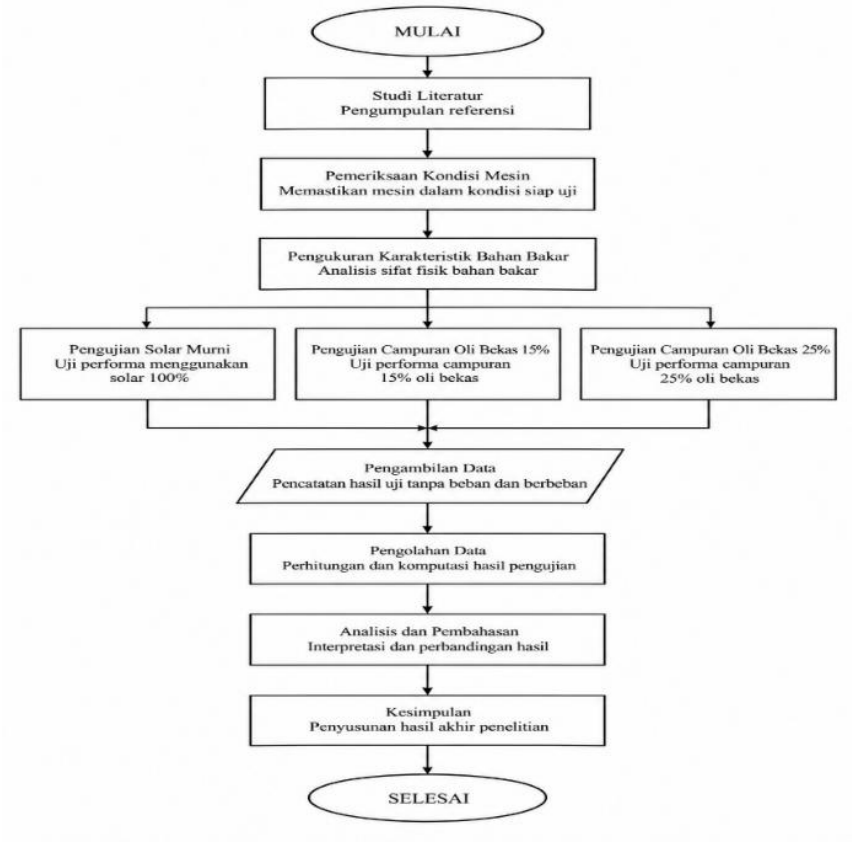
Setelah dilakukan tahap penyaringan awal, oli bekas dicampurkan dengan biosolar dengan menggunakan komposisi variasi campuran yang telah digunakan. Proses pengadukan dilakukan secara intensif hingga terbentuk campuran yang sepenuhnya homogen, dimana seluruh komponen terlarut sempurna tanpa meninggalkan batasan fase maupun pemisahan fisik di antara kedua bahan tersebut [14] .

### 2.4. Skema Penelitian

Penelitian diawali dengan persiapan alat dan bahan, kemudian dilanjutkan dengan pengujian performa mesin diesel Isuzu C190 menggunakan tiga variasi bahan bakar secara berurutan, yaitu biosolar murni, campuran biosolar dengan 15% oli bekas, dan campuran biosolar dengan 25% oli bekas. Sebelum pengambilan data, mesin dipanaskan dan distabilkan selama 10 menit. Pembersihan sistem bahan bakar menggunakan biosolar dilakukan untuk mengurangi sisa bahan bakar sebelumnya ketika pergantian variasi. Pengujian dilakukan pada kondisi tanpa beban, beban 1, dan beban 2. Data hasil pengujian selanjutnya diolah menggunakan persamaan yang telah ditentukan, kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk menganalisis perbandingan performa mesin pada setiap variasi bahan bakar. Secara rinci, urutan langkah kerja serta tahapan eksperimen tersebut disajikan pada Gambar 2.


Submitted: **01/10/2026**; Accepted: **10/10/2026**; Published: **31/10/2026**

**Jurnal Kolaborasi**
# Sains dan Ilmu Terapan
Volume 5 No 1.1 Spesial Issue 2026 | Page 573-584
*ISSN 2964- 5581 (media online)*
*https://utilityprojectsolution.org/ejournal/index.php/JuKSIT*
Penerbit : Cv. Utility Project Solutio




**Gambar 2.** Skema Penelitian.

### 2.5. Pengujian Karakteristik Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas biosolar dan oli pelumas bekas hasil pemakaian sepeda motor yang diperoleh dari bengkel tanpa merek tertentu. Sebelum digunakan, oli bekas disaring menggunakan kain untuk mengurangi kotoran dan partikel padat yang terdapat di dalamnya. Oli bekas yang telah disaring kemudian dicampurkan dengan biosolar sesuai variasi campuran yang telah ditentukan.

Karakteristik bahan bakar yang dibahas meliputi titik nyala (*flash point*), nilai kalor, dan massa jenis. Pengujian titik nyala dilakukan di Laboratorium Teknologi Minyak Bumi, Gas, dan Batubara, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, menggunakan metode ASTM D92. Hasil pengujian menunjukkan bahwa oli bekas memiliki titik nyala sebesar 315 °C, sedangkan biosolar memiliki titik nyala sebesar 52 °C.

Nilai kalor dan massa jenis bahan bakar ditentukan melalui perhitungan teoritis berdasarkan data dan referensi yang digunakan dalam penelitian. Biosolar memiliki nilai kalor sebesar 43.000 kJ/kg dan massa jenis sebesar 835 kg/m³. Pada campuran biosolar dengan 15% oli bekas, nilai kalor yang diperoleh sebesar 42.520 kJ/kg dengan massa jenis 843,25 kg/m³. Sementara itu, campuran biosolar dengan 25% oli bekas memiliki nilai kalor sebesar 42.220 kJ/kg dan massa jenis 848,75 kg/m³. Data karakteristik tersebut digunakan sebagai parameter dalam analisis performa mesin untuk setiap variasi bahan bakar, sehingga pengaruh perbedaan komposisi campuran terhadap hasil pengujian dapat dievaluasi.

### 2.6. Pengujian Performa Mesin

Pengujian performa dilakukan menggunakan mesin diesel Isuzu C190 yang dihubungkan dengan dynamometer sebagai alat pembebanan. Bahan bakar yang digunakan terdiri atas biosolar murni, campuran 15% oli bekas, dan campuran 25% oli bekas. Pembuatan campuran menggunakan volume total 1 liter, yaitu 850 mL biosolar dan 150 mL oli bekas untuk campuran 15%, serta 750 mL biosolar dan 250 mL oli bekas untuk campuran 25%. Kedua bahan bakar dicampur hingga homogen sebelum digunakan. Pengujian dilakukan secara berurutan, dimulai dari biosolar murni, campuran 15%, kemudian campuran 25%. Sebelum pengambilan data pada setiap variasi, mesin dioperasikan selama 10 menit untuk pemanasan dan menstabilkan putaran pada kondisi stasioner. Pergantian bahan bakar dilakukan dengan membersihkan sistem menggunakan biosolar untuk mengurangi sisa bahan bakar dari pengujian sebelumnya. Pengujian dilakukan pada kondisi tanpa beban, beban 1, dan beban 2. Parameter yang diamati meliputi putaran mesin (RPM), beban


Submitted: **01/10/2026**; Accepted: **10/10/2026**; Published: **31/10/2026**

**Jurnal Kolaborasi**
# Sains dan Ilmu Terapan
Volume 5 No 1.1 Spesial Issue 2026 | Page 573-584
*ISSN 2964- 5581 (media online)*
*https://utilityprojectsolution.org/ejournal/index.php/JuKSIT* Penerbit : Cv. Utility Project Solutio

dynamometer, dan penurunan bahan bakar selama 60 detik. Data tersebut digunakan untuk menghitung torsi, daya keluaran, debit bahan bakar, daya masukan, dan efisiensi mekanis. Hasil perhitungan kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk membandingkan performa mesin pada setiap variasi bahan bakar.

### 2.7. Parameter Diukur

Parameter yang diukur dalam pengujian ini meliputi beban, Rpm, waktu pengujian serta penurunan bahan bakar pada setiap variasi campuran.

**Tabel 3.** Variabel Pengujian.

| No | Parameter | Satuan | Alat Ukur |
|---|---|---|---|
| 1 | Putaran Mesin | Rpm | *Tachometer* |
| 2 | Beban | kg | *Dynotest* |
| 3 | Waktu Pengujian | s | *Stopwach* |
| 4 | Penurunan Bahan Bakar | m | Tabung Ukur |

Berdasarkan Tabel 3, seluruh parameter utama yang diukur menggunakan instrumen uji yang memiliki presisi dan tingkat akurasi yang tinggi. Penggunaan alat ukur yang terkalibrasi ini bertujuan untuk meminimalkan potensi kesalahan pengisian serta memastikan data eksperimental yang diperoleh valid untuk dianalisis pada tahap pembahasan.

### 2.8. Persamaan Dasar Perhitungan

Pengolahan data eksperimental dilakukan dengan menerapkan relevan persamaan untuk menghitung torsi, daya keluar dan konsumsi laju bahan bakar dengan parameter Rpm, beban, penurunan bahan bakar dan durasi pengujian [12]. Tahap berikutnya melibatkan penyajian data hasil olahan ke dalam format visual tabel dan grafik guna menganalisis perbandingan performa motor diesel antara penggunaan biosolar,dengan campuran oli 15% dan 25%.

**a. Persamaan Rumus Torsi**

Torsi merupakan ukuran kemampuan mesin dalam menghasilkan momen puntir pada poros. Nilai torsi diperoleh dari gaya pembebanan yang bekerja pada poro dengan jarak tertentu dari titik putar.

$$T = m.g.r \quad (1)$$

**b. Persamaan Rumus Daya Keluar**

Daya keluar merupakan daya yang dihasilkan mesin pada poros. Nilai daya dipengaruhi besarnya torsi dan putaran mesin selama pengujian.

$$P_{out} = \frac{T\ x\ Rpm}{7121} \quad (2)$$

**c. Persamaan Rumus Debit Bahan Bakar**

Debit bahan bakar merupakan volume bahan bakar yang digunakan oleh mesin dalam satuan waktu tertentu. Perhitungan debit bahan bakar dilakukan berdasarkan luas penampang tabung, penurunan ketinggian bahan bakar, dan waktu pengukuran.

$$Q_s = \frac{\pi}{4}.D^2.\frac{s}{t} \quad (3)$$

**d. Persamaan Rumus Daya Masuk**

Daya masuk merupakan energi yang disuplai oleh bahan bakar ke dalam mesin per satuan waktu. Perhitungan daya masuk dilakukan dengan mengalikan debit bahan bakar, massa jenis, dan nilai kalor bahan bakar. Persamaan daya masuk digunakan untuk mengetahui besarnya besarnya energi bahan bakar yang tersedia selama proses pengujian.

$$P_{in} = \frac{Q_s.P_s.C_s}{745{,}7} \quad (4)$$

**e. Persamaan Rumus Efisiensi**

Efisiensi merupakan perbandingan antara daya keluar dan daya masuk yang dihasilkan mesin dengan energi kimia bahan bakar yang masuk per satuan waktu. Parameter ini digunakan untuk mengetahui kemampuan mesin dalam mengubah energi bahan bakar menjadi daya keluar.


Submitted: **01/10/2026**; Accepted: **10/10/2026**; Published: **31/10/2026**

**Jurnal Kolaborasi**
# Sains dan Ilmu Terapan
Volume 5 No 1.1 Spesial Issue 2026 | Page 573-584
*ISSN 2964- 5581 (media online)*
*https://utilityprojectsolution.org/ejournal/index.php/JuKSIT*
Penerbit : Cv. Utility Project Solutio

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} x\ 100\% \quad (5)$$

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian membahas performa mesin diesel Isuzu C190 menggunakan tiga variasi bahan bakar, yaitu biosolar, campuran oli bekas 15% dan campuran oli bekas 25%. Parameter yang dianalisis meliputi Rpm, torsi, daya keluar dan efisiensi pada kondisi tanpa beban dan dengan pembebanan. Pembahasan diawali dengan analisis performa mesin menggunakan biosolar, kemudian dilanjutkan dengan perbandingan performa ketiga variasi bahan bakar untuk mengetahui pengaruh penambahan oli bekas terhadap kinerja mesin.

### 3.1 Performa Bahan Bakar Biosolar

#### 3.1.1 Hasil Data dan Pergitungan Biosolar

Pengujian menggunakan bahan bakar biosolar dilakukan untuk mengetahui performa awal mesin diesel Isuzu C190 sebelum dibandingkan dengan penggunaan campuran oli bekas 15% dan 25%. Pengujian dilakukan pada kondisi tanpa beban, beban 1, dan beban 2 dengan mengamati putaran mesin serta penurunan bahan bakar. Data hasil pengujian selanjutnya digunakan untuk menghitung parameter performa mesin yang meliputi torsi, daya keluaran, dan efisiensi termal. Hasil pengujian dan perhitungan menggunakan bahan bakar biosolar disajikan pada Tabel 4.Hasil ulasan tersebut mendapatkan hasil yang dirangkum dalam Tabel 4.

**Tabel 4.** Data Pengujian Bahan Bakar Biosolar

| Bahan Bakar | Kondisi | Putaran Mesin (Rpm) | Beban (kg) | Waktu (s) | Penurunan Bahan Bakar (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| Biosolar | Tanpa Beban | 2983 | 0 | 60 | 0,008 |
| Biosolar | Beban 1 | 2891 | 29,50 | 60 | 0,009 |
| Biosolar | Beban 2 | 2650 | 31,74 | 60 | 0,009 |

Berdasarkan data pengujian pada Tabel 4, penggunaan biosolar menunjukan bahwa peningkatan beban pada mesin menyebabkan putaran mesin mengalami penurunan. Pada kondisi tanpa beban, putaran mesin sebesar 2983 Rpm, sedangkan pada beban 1 putaran mesin mengalami penurunan menjadi 2891 Rpm dan pada beban 2 menjadi 2650 Rpm. Penurunan putaran terebut menunjukan adanya pengaruh pembebanan *dynotest* terhadap putaran mesin. Penurunan bahan bakar selama waktu pengujian 60 detik sebesar 0,008 m pada kondisi tanpa beban, 0,009 m pada beban 1 dan 0,009 m pada beban 2. Fenomena ini menunjukkan adanya resistansi mekanis dari perangkat *dynotest* yang menahan laju putar poros engkol, sehingga laju penurunan bahan bakar tidak mengalami perubahan yang signifikan meskipun beban operasional mesin bertambah.

**Tabel 5.** Hasil Perhitungan Bahan Bakar Biosolar

| Bahan Bakar | Beban | Putaran Mesin (Rpm) | Torsi (N.m) | Daya Keluar (HP) | Efisiensi (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| Biosolar | Tanpa Beban | 2983 | 0 | 0 | 0 |
| Biosolar | Beban 1 | 2891 | 75,24 | 30,55 | 62,26 |
| Biosolar | Beban 2 | 2650 | 80,96 | 30,13 | 61,41 |

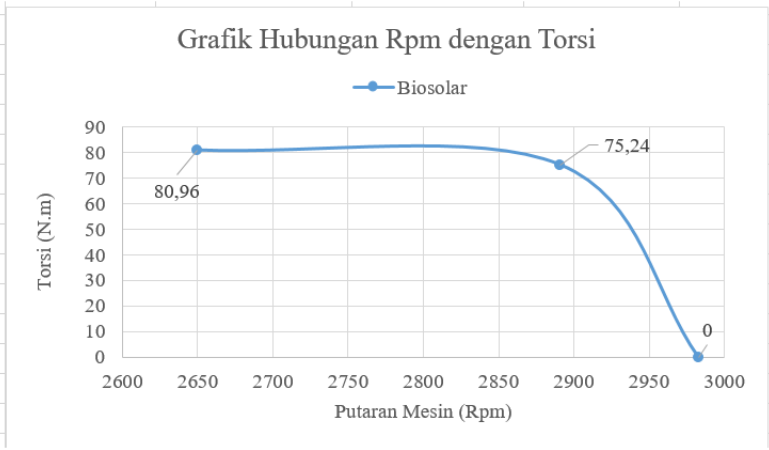
Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 5, pada kondisi tanpa beban nilai torsi, daya keluar, dan efisiensi bernilai nol karena tidak terdapat pembebanan pada mesin. Pada beban 1 dengan putaran 2891 Rpm diperoleh torsi sebesar 75,24 N.m dan daya keluar 30,55 HP dengan efisiensi 62,26%. Sementara itu, pada beban 2 dengan putaran mesin 2650 Rpm diperoleh torsi 80,96 N.m dan daya keluar 30,13 HP dengan efisiensi 61,41%. Hal ini membuktikan karakteristik khas mesin disel di mana penurunan putaran akibat penambahan beban menghasilkan momen puntir (torsi) yang lebih besar pada poros mesin.


Submitted: **01/10/2026**; Accepted: **10/10/2026**; Published: **31/10/2026**

**Jurnal Kolaborasi**
# Sains dan Ilmu Terapan
Volume 5 No 1.1 Spesial Issue 2026 | Page 573-584
*ISSN 2964- 5581 (media online)*
*https://utilityprojectsolution.org/ejournal/index.php/JuKSIT* Penerbit : Cv. Utility Project Solutio

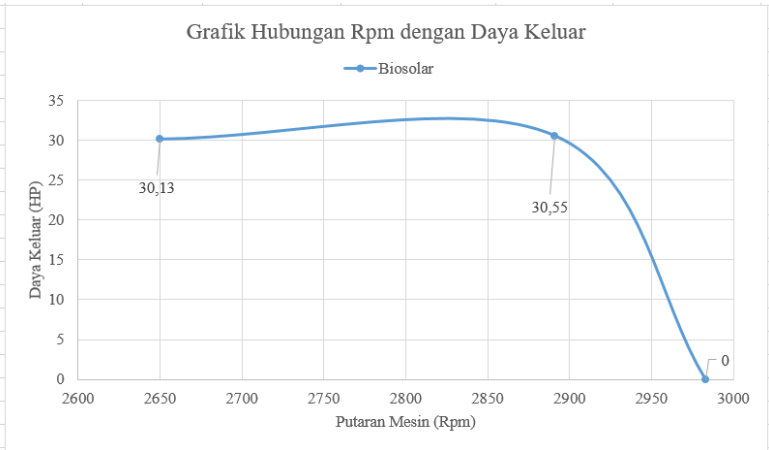
### 3.1.2 Karakteristik Performa Biosolar

Untuk mengetahui karakteristik performa mesin menggunakan biosolar, hubungan antara putaran mesin (Rpm) dan torsi dianalisis pada setiap kondisi pembebanan. Hasil hubungan tersebut ditunjukan pada Gambar 4.




**Gambar 3.** Grafik Hubungan Biosolar Rpm dengan Torsi.

Berdasarkan grafik pada Gambar 3, hubungan antara putaran mesin Rpm dan torsi menunjukkan adanya peningkatan nilai torsi seiring dengan menurunnya putaran mesin akibat pembebanan. Torsi tertinggi tercatat sebesar 80,96 N.m pada putaran 2650 RPM, yang membuktikan bahwa hambatan mekanis eksternal memicu lonjakan momen puntir pada poros mesin diesel. Selain torsi, hubungan antara putaran mesin (Rpm) dan daya keluar dianalisis untuk mengetahui perubahan daya yang dihasilkan mesin pada setiap kondisi pembebanan, hasil analisis selengkapnya disajikan pada Gambar 4.

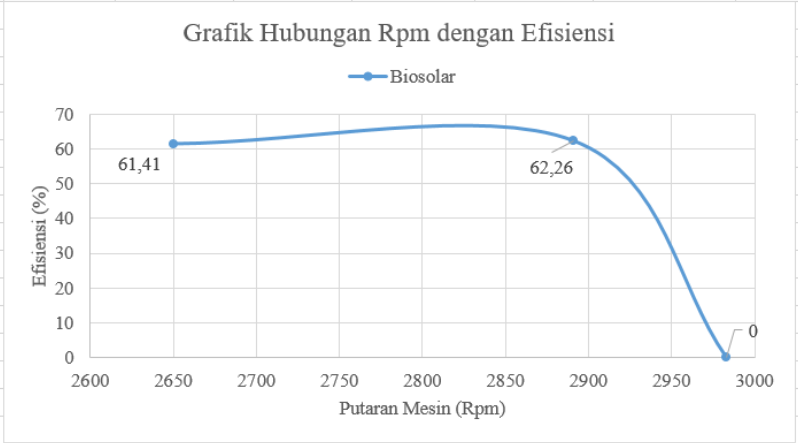



**Gambar 4.** Grafik Hubungan Biosolar Rpm dengan Daya Keluar.

Berdasarkan grafik pada Gambar 4, daya keluaran mesin mengalami fluktuasi terhadap perubahan putaran mesin. Daya keluar optimum tercatat sebesar 30,55 HP pada putaran 2891 Rpm, dan mengalami sedikit penurunan ketika putaran mesin turun akibat penambahan beban operasional. Selanjutnya, hubungan antara putaran mesin Rpm dan efisiensi dianalisis untuk mengetahui kemampuan mesin dalam mengubah energi bahan bakar menjadi daya keluar pada setiap kondisi pembebanan. Hasil analisis ditunjukan pada Gambar 5.


Submitted: **01/10/2026**; Accepted: **10/10/2026**; Published: **31/10/2026**

**Jurnal Kolaborasi**
# Sains dan Ilmu Terapan
Volume 5 No 1.1 Spesial Issue 2026 | Page 573-584
*ISSN 2964- 5581 (media online)*
*https://utilityprojectsolution.org/ejournal/index.php/JuKSIT*
Penerbit : Cv. Utility Project Solutio




**Gambar 5.** Grafik Hubungan Biosolar Rpm dengan Efisiensi.

Berdasarkan grafik pada Gambar 5, efisiensi mekanis mesin mencapai titik puncaknya sebesar 62,26% pada putaran 2891 Rpm. Penurunan efisiensi pada putaran yang lebih rendah menunjukkan adanya batasan kemampuan ruang bakar dalam mengonversi energi kimia bahan bakar menjadi kerja mekanis saat beban meningkat.

### 3.2 Hasil Performa Perbandingan Campuran Bahan Bakar dan Biosolar

Guna menganalisis dampak dari perbedaan komposisi bahan bakar terhadap karakteristik operasional mesin, dilakukan pengujian menggunakan biosolar, campuran oli bekas 15% dan campuran oli bekas 25%. Data hasil pengujian meliputi putaran mesin (Rpm), beban, waktu pengujian dan penurunan bahan bakar yang disusun pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Data Pengujian Seluruh Bahan Bakar.

| Bahan Bakar | Kondisi | Putaran Mesin (Rpm) | Beban (kg) | Waktu (s) | Penurunan Bahan Bakar (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| Biosolar | Tanpa Beban | 2983 | 0 | 60 | 0,008 |
| Biosolar | Beban 1 | 2891 | 29,50 | 60 | 0,009 |
| Biosolar | Beban 2 | 2650 | 31,74 | 60 | 0,009 |
| Campuran Oli 15% | Tanpa Beban | 2965 | 0 | 60 | 0,010 |
| CampuranOli 15% | Beban 1 | 2810 | 28,10 | 60 | 0,010 |
| Campuran Oli 15% | Beban 2 | 2570 | 30,30 | 60 | 0,011 |
| Campuran Oli 25% | Tanpa Beban | 2941 | 0 | 60 | 0,011 |
| Campuran Oli 25% | Beban 1 | 2730 | 26,70 | 60 | 0,012 |
| Campuran Oli 25% | Beban 2 | 2490 | 28,90 | 60 | 0,013 |

Berdasarkan data pada Tabel 6, perbandingan antara penggunaan biosolar, campuran oli bekas 15%, dan campuran oli bekas 25% menunjukkan adanya perbedaan karakteristik putaran mesin dan laju penurunan bahan bakar. Pada kondisi tanpa beban, biosolar menghasilkan putaran tertinggi (2.983 RPM) dengan penurunan bahan bakar 0,008 m, sedangkan campuran oli 15% menghasilkan putaran 2.965 RPM (penurunan 0,010 m) dan campuran oli 25% menghasilkan putaran 2.941 RPM (penurunan 0,011 m). Ketika beban 1 dan beban 2 diberikan, seluruh variasi bahan bakar mengalami penurunan putaran, di mana campuran oli bekas 25% mencatatkan penurunan putaran paling besar serta tingkat konsumsi bahan bakar (penurunan tinggi cairan dalam tabung ukur) yang lebih tinggi dibandingkan variasi lainnya. Fenomena ini menunjukkan bahwa peningkatan persentase limbah oli bekas pada bahan bakar meningkatkan viskositas dan resistensi aliran, sehingga laju pembakaran menjadi lebih lambat dan putaran mesin lebih mudah drop di bawah beban operasional. Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 6, selanjutnya dilakukan perhitungan parameter performa mesin yang meliputi torsi, daya keluar dan efisiensi . Hasil perhitungan dari masing–masing variasi bahan bakar disajikan pada Tabel 7.


Submitted: **01/10/2026**; Accepted: **10/10/2026**; Published: **31/10/2026**

**Jurnal Kolaborasi**
# Sains dan Ilmu Terapan
Volume 5 No 1.1 Spesial Issue 2026 | Page 573-584
*ISSN 2964- 5581 (media online)*
*https://utilityprojectsolution.org/ejournal/index.php/JuKSIT*
Penerbit : Cv. Utility Project Solutio

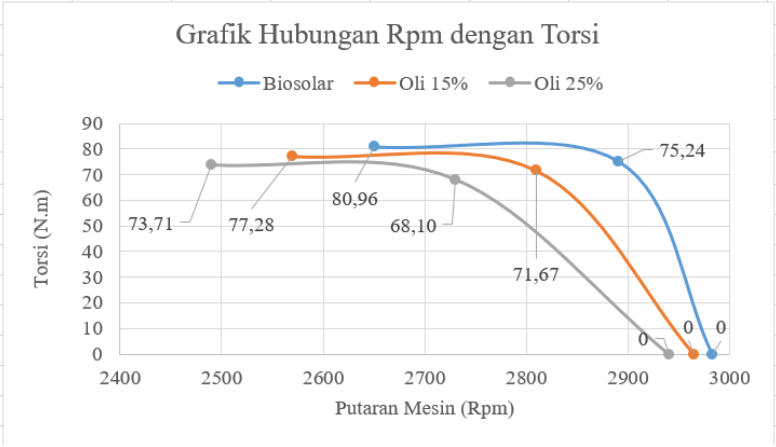
**Tabel 7.** Hasil Perhitungan Seluruh Bahan Bakar.

| Bahan Bakar | Beban | Putaran Mesin (Rpm) | Torsi (N.m) | Daya Keluar (HP) | Efisiensi (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| Biosolar | Tanpa Beban | 2983 | 0 | 0 | 0 |
| Biosolar | Beban 1 | 2891 | 75,24 | 30,55 | 62,26 |
| Biosolar | Beban 2 | 2650 | 80,96 | 30,13 | 61,41 |
| Campuran Oli 15% | Tanpa Beban | 2965 | 0 | 0 | 0 |
| Campuran Oli 15% | Beban 1 | 2810 | 71,67 | 28,28 | 51,95 |
| CampuranOli 15% | Beban 2 | 2570 | 77,28 | 27,89 | 51,24 |
| Campuran Oli 25% | Tanpa Beban | 2941 | 0 | 0 | 0 |
| Campuran Oli 25% | Beban 1 | 2730 | 68,10 | 26,11 | 39,99 |
| Campuran Oli 25% | Beban 2 | 2490 | 73,71 | 25,77 | 36,44 |

Berdasarkan hasil perhitungan komparatif pada Tabel 7, biosolar murni secara konsisten memberikan performa mekanis tertinggi pada setiap kondisi pembebanan. Pada pembebanan 2, biosolar menghasilkan torsi sebesar 80,96 N.m, daya keluar 30,13 HP, dan efisiensi mekanis 61,41%. Sementara itu, penambahan campuran oli bekas memberikan dampak degradasi performa yang terlihat nyata, campuran oli 15% pada beban 2 menghasilkan torsi 77,28 N.m, daya keluar 27,89 HP, dan efisiensi 51,24%, sedangkan campuran 25% menghasilkan penurunan paling drastis dengan torsi 73,71 N.m, daya keluar 25,77 HP, dan efisiensi mekanis 36,44%. Data ini membuktikan bahwa meskipun kedua variasi campuran mengalami penurunan performa dibandingkan bahan bakar standar, komposisi campuran oli bekas 15% masih mampu mempertahankan tingkat kinerja mesin Isuzu C190 yang jauh lebih baik dan stabil dibandingkan komposisi 25%.

### 3.2.2 Analisis Grafik Perbandingan Performa Mesin

Perbandingan torsi pada masing–masing variasi bahan bakar dianalisis berdasarkan hubungan antara putaran mesin (Rpm) dan torsi pada setiap kondisi pembebanan. Hasil perbandingan torsi biosolar, campuran oli 15% dan campuran oli 25% ditunjukan pada Gambar 6.

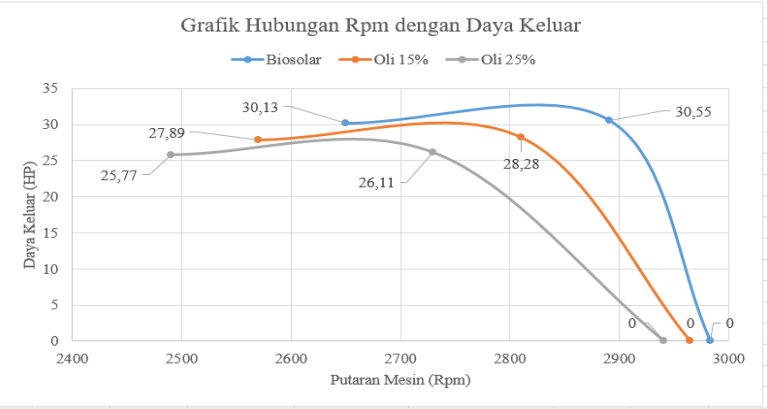



**Gambar 6.** Grafik Perbandingan Hubungan Rpm dengan Torsi.

Berdasarkan grafik perbandingan pada Gambar 6, terlihat bahwa penggunaan biosolar murni secara konsisten menghasilkan nilai torsi yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi campuran oli bekas 15% dan 25% pada setiap kondisi pembebanan. Pada beban 2, torsi biosolar tercatat sebesar 80,96 N.m, sedangkan campuran oli 15% menghasilkan 77,28 N.m dan campuran oli 25% menghasilkan 73,71 N.m. Penurunan nilai torsi ini dijelaskan secara mekanistik karena penambahan persentase oli bekas dalam bahan bakar meningkatkan viskositas dan menurunkan nilai kalor, sehingga kemampuan pembakaran dalam menghasilkan momen puntir pada poros mesin mengalami penurunan. Selanjutnya, perbandingan daya keluar dianalisis berdasarkan hubungan antara putaran mesin (Rpm) dan daya keluar pada setiap variasi bahan bakar. Hasil perbandingan daya keluar ditunjukan pada Gambar 7.

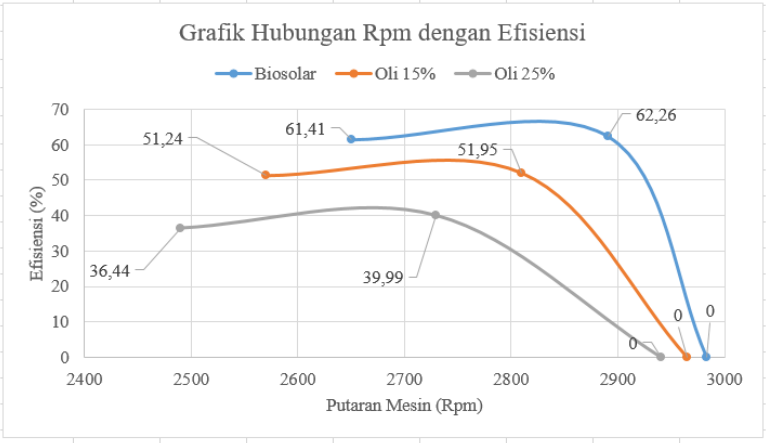

Submitted: **01/10/2026**; Accepted: **10/10/2026**; Published: **31/10/2026**

**Jurnal Kolaborasi**
# Sains dan Ilmu Terapan
Volume 5 No 1.1 Spesial Issue 2026 | Page 573-584
*ISSN 2964- 5581 (media online)*
*https://utilityprojectsolution.org/ejournal/index.php/JuKSIT* Penerbit : Cv. Utility Project Solutio




**Gambar 7.** Grafik Perbandingan Hubungan Rpm dengan Daya Keluar.

Berdasarkan Gambar 7, daya keluaran mesin menunjukan perbedaan pada setiap variasi bahan bakar. Pada beban 1, daya keluaran tertinggi diperoleh pada penggunan biosolar sebesar 30,55 HP, kemudian campuran oli 15% sebesar 28,28 HP dan campuran oli 25% sebesar 26,11 HP. Pada beban 2 , biosolar menghasilkan daya keluaran sebesar 30,13 HP, campuran oli 15% 27,89 HP dan campuran oli 25% 25,77 HP. Berdasarkan hasil tersebut, biosolar menghasilkan daya keluar tertinggi pada kedua kondisi pembebanan, sedangkan peningkatan presentase campuran oli bekas menunjukan kecenderungan penurunan daya keluar mesin. Selain torsi dan daya keluar, perbandingan efisiensi dianalisis untuk mengetahui pengaruh variasi bahan bakar terhadap kemampuan mesin dalam mengubah energi bahan bakar menjadi daya keluar. Hasil perbandingan efisiensi ditunjukan pada Gambar 8.




**Gambar 8.** Grafik Perbandingan Hubungan Rpm dengan Efisiensi.

Berdasarkan grafik perbandingan pada Gambar 8, efisiensi mekanis mesin mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya persentase campuran limbah oli bekas. Pada kondisi beban 2, efisiensi mekanis tertinggi dicapai oleh biosolar murni sebesar 61,41%, sementara campuran oli bekas 15% mencatatkan efisiensi sebesar 51,24%, dan campuran oli bekas 25% mengalami penurunan drastis hingga 36,44%. Meskipun kedua variasi campuran mengalami penurunan efisiensi, kurva memperlihatkan bahwa campuran oli bekas 15% memiliki deviasi penurunan yang paling landai dan mendekati performa biosolar, sehingga komposisi campuran 15% terbukti menjadi batas rasio campuran paling optimal di antara variasi limbah yang diuji dalam penelitian ini.

## 4. KESIMPULAN

Pengujian pada beban 1 dan 2 menunjukkan bahwa biosolar murni tetap menghasilkan kinerja tertinggi, diikuti oleh campuran oli bekas 15% yang memberikan performa torsi, daya, dan efisiensi (Tabel 7) lebih baik daripada campuran 25%. Namun, hasil ini hanya berlaku pada variasi yang diuji dan tidak serta-merta menunjukkan pengoperasian mesin


Submitted: **01/10/2026**; Accepted: **10/10/2026**; Published: **31/10/2026**

**Jurnal Kolaborasi**
# Sains dan Ilmu Terapan
Volume 5 No 1.1 Spesial Issue 2026 | Page 573-584
*ISSN 2964- 5581 (media online)*
*https://utilityprojectsolution.org/ejournal/index.php/JuKSIT* Penerbit : Cv. Utility Project Solutio

yang optimal karena terjadi penurunan performa dibanding biosolar murni. Selain itu, kelayakan dan keamanan penggunaan oli bekas belum dapat dinilai sepenuhnya karena penelitian ini baru berfokus pada performa mekanis jangka pendek diperlukan pengujian lanjutan terkait emisi gas buang, dampak sistem injeksi, karakteristik kontaminan, serta uji daya tahan mesin dengan penambahan aditif atau pemurnian yang lebih baik.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Laboratorium Terpadu Fakultas Teknik dan Informatika, Fakultas Teknik dan Informatika Universitas Persatuan Guru Republik Indonesia Semarang. Jl. Gajah Raya No.40, Sambirejo, Kec. Gayamsari, Kota Semarang, Jawa Tengah 50166. Laboratorium Teknologi Konversi Energi, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Fakultas Teknik dan Informatika Universitas Persatuan Guru Republik Indonesia Semarang. Jl. Gajah Raya No.40, Sambirejo, Kec. Gayamsari, Kota Semarang, Jawa Tengah 50166.

## REFERENCES

[1] A. Ghurri, S. G. Tista, and I. N. Suparta, "Karakteristik Campuran Solar dan Hasil Daur Ulang Oli Bekas sebagai Bahan Bakar Mesin Diesel," *Mechanical*, vol. 8, no. 2, p. 67, 2018, doi: 10.23960/mech.v8.i2.201710.

[2] M. Lutfi, "Pemanfaatan Limbah Oli Bekas Menjadi Bahan Bakar High Speed Diesel (HSD)," *JST (Jurnal Sains Ter.*, vol. 7, no. 1, pp. 57–62, 2021, doi: 10.32487/jst.v7i1.1121.

[3] A. Mandal, D. Cha, and H. M. Cho, "Impact of Waste Fry Biofuel on Diesel Engine Performance and Emissions," *Energies*, vol. 16, no. 9, 2023, doi: 10.3390/en16093711.

[4] M. R. Islam Sazzad *et al.*, "Advancing sustainable lubricating oil management: Re-refining techniques, market insights, innovative enhancements, and conversion to fuel," *Heliyon*, vol. 10, no. 20, p. e39248, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e39248.

[5] K. Naima *et al.*, "A comparative assessment of combustion behavior and emissions characteristics of DI diesel engine fueled with waste plastic oil and eucalyptus biofuel for sustainable development applications," *Int. J. Low-Carbon Technol.*, vol. 17, no. December, pp. 1399–1405, 2022, doi: 10.1093/ijlct/ctac114.

[6] A. Arif, N. Hidayat, W. Purwanto, M. Y. Setiawan, and M. Masykur, "Pengaruh Penggunaan Oli Bekas Sebagai Bahan Bakar Terhadap SFC dan Efisiensi Mesin Diesel," *J. Mekanova Mek. Inov. dan Teknol.*, vol. 7, no. 1, p. 58, 2021, doi: 10.35308/jmkn.v7i1.3730.

[7] Amardeep, R. Kumar, and N. Kumar, "Waste plastic oil as an alternative fuel: A review," *Arch. Thermodyn.*, vol. 45, no. 1, pp. 81–97, 2024, doi: 10.24425/ather.2024.150441.

[8] R. Sathyamurthy *et al.*, "Performance, combustion and emission characteristics of a DI-CI diesel engine fueled with corn oil methyl ester biodiesel blends," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 43, pp. 1–27, 2021, doi: 10.1016/j.seta.2020.100981.

[9] B. Musthafa, B. Saravanan, M. A. Asokan, S. Devendiran, and K. Venkatesan, "Effect of ethanol, propanol and butanol on karanja biodiesel with vegetable oil fuelled in a single cylinder diesel engine," *Egypt. J. Pet.*, vol. 32, no. 2, pp. 35–40, 2023, doi: 10.1016/j.ejpe.2023.05.001.

[10] A. Sasmita, Y. Yohanes, and K. Yolanda, "Analisis Emisi Gas Buang dari Mesin Diesel Modifikasi Dipengaruhi Daya Mesin dan Bahan Bakar Campuran Oli Bekas dan Dexlite," *Semesta Tek.*, vol. 25, no. 2, pp. 170–178, 2022, doi: 10.18196/st.v25i2.13748.

[11] M. Effendy, A. Surono, E. Saputra, and N. A. Nugraha, "Performance and smoke opacity of compression-ignition engine using used-waste oil," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 26, no. May, p. 101063, 2021, doi: 10.1016/j.csite.2021.101063.

[12] A. Sinağ, S. Gülbay, B. Uskan, S. Uçar, and S. B. Özgürler, "Production and characterization of pyrolytic oils by pyrolysis of waste machinery oil," *J. Hazard. Mater.*, vol. 173, no. 1–3, pp. 420–426, 2010, doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.08.100.

[13] M. Usman *et al.*, "Refining and reuse of waste lube oil in si engines: A novel approach for a sustainable environment," *Energies*, vol. 14, no. 10, pp. 1–13, 2021, doi: 10.3390/en14102937.

[14] F. A. Solangi, L. A. Memon, S. R. Samo, M. R. Luhur, A. A. Bhutto, and A. M. Ansari, "Investigation of Performance and Emission Characteristics of CI Engine Using Diesel and Waste Cooking Oil Blends," *Energies*, vol. 15, no. 19, 2022, doi: 10.3390/en15197211.

[15] D. Almeida Streitwieser, A. Arteaga, A. Gallo-Cordova, A. Hidrobo, and S. Ponce, "Chemical Recycling of Used Motor Oil by Catalytic Cracking with Metal-Doped Aluminum Silicate Catalysts," *Sustain.*, vol. 15, no. 13, 2023, doi: 10.3390/su151310522.


Submitted: **01/10/2026**; Accepted: **10/10/2026**; Published: **31/10/2026**