MeKanik, Jurnal Ilmiah Bidang Teknik Mesin *Vol.19, No.2 November 2026*
e-ISSN: 3046-8272, p-ISSN: 1979-0708 **(Hal: 67-77)**
Alamat Redaksi : Politeknik Negeri Samarinda, Jurusan Teknik Mesin, Jl.Ciptomangunkusumo Kampus Gg.Lipan Samarinda Kalimantan Timur

KARAKTERISTIK KELUARAN INJEKTOR DAN KINERJA MESIN DIESEL MENGGUNAKAN BIOSOLAR B30 DAN PERTAMINA DEX

Injector Output Characteristics And Diesel Engine Performance Using B30 Biodiesel and Pertamina Dex

Usman Syamsuddin[1] , Harsman Tandilitin[2], Abdul Husen [4]

[1,2] Dosen Jurusan Teknik Mesin, Prodi Perawatan dan Perbaikan Mesin, Politeknik Negeri Samarinda,
[3] Mahasiswa, Prodi Perawatan dan Perbaikan Mesin, Politeknik Negeri Samarinda,
Jl.Dr.Ciptomangunkusumo Kampus Gunung Lipan, Samarinda Seberang, Kota Samarinda
e-mail: [1]usmans@polnes.ac.id , [2]harsman@polnes.ac.id ,[3]a_husen2764@gmail.com

Info Artikel

Diterima: 08/10/2026
Diterima dalam bentuk revisi: 27/10/2026
Diterima/publikasi: 17/11/2026

Kata Kunci
Biosolar B30; Pertamina Dex; injektor; volume keluaran; torsi; mesin diesel

Abstrak

Penelitian ini membandingkan volume keluaran injektor pada Biosolar B30 dan Pertamina Dex serta menelaah data daya mesin diesel pada tiga tingkat putaran. Volume bahan bakar diperoleh dari pengujian injector cleaner and tester dengan setelan tekanan 90, 100, 110, 120, dan 130 psi, tingkat putaran simulasi 1.000, 1.500, dan 2.000 rpm, serta tiga pengulangan selama 60 detik pada setiap kombinasi. Data daya mesin Toyota 2KD-FTV dianalisis secara terpisah. Hasil menunjukkan volume keluaran terendah 12,50 mL pada 90 psi dan 1.000 rpm, sedangkan keluaran tertinggi mencapai 35,00 mL pada 130 psi dan 2.000 rpm untuk kedua bahan bakar. Pada 10 dari 15 kombinasi setelan, rerata volume kedua bahan bakar identik. Data daya yang dilaporkan menunjukkan Pertamina Dex lebih tinggi pada 1.000 rpm (13,39 berbanding 7,89 HP), tetapi B30 lebih tinggi pada 2.000 rpm (43,24 berbanding 35,97 HP). Torsi dihitung ulang dengan hubungan daya dan kecepatan sudut, dengan asumsi satuan HP mekanis. Pengamatan keluaran pada perangkat uji injektor tidak cukup untuk membuktikan efisiensi bahan bakar atau dampak langsung tekanan uji terhadap torsi mesin. Hasil ini memberikan perbandingan deskriptif yang dapat menjadi dasar pengujian lanjutan dengan pengukuran aliran bahan bakar dan daya mesin

Abstract

This study compares the injector discharge volume of Biosolar B30 and Pertamina Dex and examines diesel-engine power data at three rotational speeds. Injector discharge was evaluated on an injector cleaner and tester at pressure settings of 90, 100, 110, 120, and 130 psi, simulated speeds of 1,000, 1,500, and 2,000 rpm, and three 60-second repetitions per setting. Power data for a Toyota 2KD-FTV diesel engine were evaluated separately. The lowest discharge volume was 12.50 mL at 90 psi and 1,000 rpm, whereas both fuels reached 35.00 mL at 130 psi and 2,000 rpm. The two fuels had equal mean discharge volumes in 10 of the 15 test combinations. Reported engine power favored Pertamina Dex at 1,000 rpm (13.39 versus 7.89 HP), whereas B30 yielded higher reported power at 2,000 rpm (43.24 versus 35.97 HP). Torque was recalculated from the power–angular-speed relationship under an explicit mechanical-horsepower assumption. The bench-test discharge data alone cannot establish engine fuel efficiency or a causal effect of bench pressure settings on engine torque. These findings provide a descriptive benchmark and emphasize the need for synchronized engine fuel-flow and dynamometer measurements

@MEKANIK 2026. Diterbitkan oleh UPT Publikasi dan Pengelolaan Jurnal

PENDAHULUAN

Pemanfaatan bahan bakar terbarukan pada mesin penyalaan kompresi (compression-ignition atau CI) menjadi salah satu pendekatan untuk mengurangi ketergantungan terhadap solar berbasis fosil tanpa mengganti seluruh infrastruktur mesin yang telah beroperasi. Dalam konteks Indonesia, campuran 30% biodiesel berbasis minyak sawit dan 70% komponen diesel, yang dikenal sebagai B30, telah digunakan dalam berbagai pengujian lapangan dan penelitian kinerja mesin. Haryono et al. [1] mengevaluasi bahan bakar B30 pada kondisi operasi kendaraan di Indonesia, sehingga memberikan dasar bahwa penilaian bahan bakar campuran perlu mempertimbangkan kondisi penggunaan nyata, bukan hanya karakteristik laboratorium. Di sisi lain, Tamam et al. [2] meneliti kinerja serta emisi mesin berbahan bakar B30 dan formulasi emulsi berbasis B30. Kedua pendekatan tersebut memperlihatkan bahwa pemakaian biodiesel tidak cukup dinilai dari kemampuan menggantikan diesel, tetapi juga dari respons pembakaran dan kinerja mesin pada kondisi operasi tertentu.

Perbandingan B30 dengan bahan bakar diesel komersial bermutu lebih tinggi relevan karena keduanya memiliki formulasi serta karakteristik pembakaran yang tidak sepenuhnya sama. Kristyadi et al. [3] telah membandingkan sejumlah bahan bakar diesel komersial di Indonesia, termasuk Biosolar B30 dan Pertadex, serta melaporkan perbedaan daya, torsi, dan emisi pada mesin yang diuji. Studi tersebut menjadi bukti bahwa selisih kinerja antarbahan bakar perlu diuji secara langsung, tetapi hasil kuantitatifnya tidak otomatis berlaku pada setiap jenis mesin dan prosedur pengukuran. Cahyo et al. [4] juga menunjukkan melalui perbandingan campuran diesel, biodiesel sawit, dan green diesel bahwa jenis komponen bahan bakar dapat memengaruhi kinerja serta parameter operasi mesin CI. Oleh karena itu, perbandingan Biosolar B30 dengan Pertamina Dex perlu menempatkan spesifikasi bahan bakar, kondisi mesin, dan metode pengukuran sebagai bagian dari interpretasi hasil.

Perbedaan respons mesin terhadap campuran biodiesel terutama berkaitan dengan sifat fisikokimia bahan bakar, antara lain viskositas, densitas, nilai kalor, kualitas penyalaan, dan kandungan oksigen terikat. Sifat-sifat tersebut memengaruhi proses aliran melalui sistem injeksi, pembentukan semprotan, penguapan, serta pencampuran dengan udara sebelum pembakaran. Musthafa et al. [5] memadukan pendekatan numerik dan eksperimental untuk mengkaji parameter mesin CI berbahan bakar campuran biodiesel sawit, yang menegaskan pentingnya keterkaitan sifat bahan bakar dan respons operasi mesin. Mohamed et al. [6] juga meneliti optimasi kinerja serta emisi mesin CI menggunakan campuran minyak sawit yang dipanaskan dengan diesel. Namun, arah perubahan performa tidak dapat disederhanakan menjadi kesimpulan bahwa peningkatan fraksi biodiesel selalu memperbesar atau memperkecil torsi; dampaknya bergantung pada komposisi bahan bakar, kondisi penginjeksian, dan titik kerja mesin.

Pada mesin diesel, injektor berfungsi mengatur penghantaran bahan bakar ke ruang bakar dalam bentuk semprotan yang dapat bercampur dengan udara secara efektif. Karakteristik semprotan, seperti laju injeksi, penetrasi, penyebaran, ukuran droplet, dan proses pemecahan cairan, menentukan kondisi awal pembentukan campuran bahan bakar–udara. Kafrawi et al. [7] menghubungkan karakteristik semprotan biodiesel berbasis sawit dengan analisis pembakaran serta performa mesin CI, sehingga memperlihatkan bahwa pengamatan injektor mempunyai relevansi terhadap fenomena pembakaran. Pada kondisi penyalaan dingin, Chaudhari et al. [8] menelaah pemecahan semprotan dan karakteristik pembakaran biodiesel yang sensitif terhadap kondisi penguapan. Temuan tersebut menekankan pentingnya membedakan kuantitas bahan bakar yang keluar dari injektor dan kualitas pengabutan; volume bahan bakar yang lebih besar tidak dengan sendirinya menandakan

@MEKANIK 2026. Diterbitkan oleh UPT Publikasi dan Pengelolaan Jurnal

pencampuran atau pembakaran yang lebih baik.

Selain sifat bahan bakar, geometri nozzle dan tekanan suplai merupakan variabel kunci yang menentukan pola penginjeksian. Vo et al. [9] mengevaluasi rasio campuran biodiesel sawit, termasuk B30, pada beberapa diameter lubang injektor dan tekanan common rail dalam kondisi simulasi mesin CI. Penelitian itu menunjukkan bahwa variasi komposisi bahan bakar dan geometri lubang harus dilihat bersama ketika menafsirkan profil laju injeksi serta koefisien debit. Wang et al. [10] turut menganalisis peranan tekanan injeksi terhadap atomisasi dan penetrasi semprotan berbagai campuran biodiesel. Dengan demikian, pengamatan perubahan debit atau volume keluaran pada setelan tekanan tertentu dapat menjadi informasi awal mengenai karakteristik hidraulik injektor, tetapi belum cukup untuk menyimpulkan perubahan ukuran droplet atau efisiensi pembakaran apabila parameter semprotan tersebut tidak diukur.

Pengaruh tekanan injeksi juga perlu dipahami dalam kaitannya dengan rezim pengujian dan spesifikasi sistem bahan bakar. Al-Dawody et al. [11] menggunakan pendekatan numerik untuk mengevaluasi karakteristik semprotan biodiesel pada perubahan tekanan injeksi, sedangkan Thiruvenkatachari et al. [12] melakukan pengujian eksperimental pada mesin diesel yang menggunakan biodiesel generasi ketiga dari Azolla. Kedua kajian tersebut memperlihatkan bahwa tekanan merupakan parameter penting, tetapi responsnya bergantung pada karakteristik bahan bakar dan konfigurasi injektor. Khusus pada sistem common-rail direct injection (CRDI), tekanan rel bahan bakar dalam pengujian ilmiah lazim dibahas pada skala ratusan hingga lebih dari seribu bar. Karena itu, setelan 90–130 psi pada perangkat penguji injektor bertekanan rendah tidak boleh langsung diperlakukan sebagai tekanan injeksi aktual di dalam ruang bakar mesin CRDI tanpa verifikasi kesetaraan alat dan sistemnya.

Interaksi antara tekanan, karakteristik semprotan, dan proses pembakaran telah menjadi perhatian dalam pengembangan mesin berbahan bakar biodiesel. Khan et al. [13] meninjau penelitian terkait parameter injeksi pada mesin CI berbahan bakar biodiesel dan menjelaskan bahwa pengubahan tekanan, waktu, serta strategi injeksi dapat memengaruhi efisiensi dan emisi melalui pembentukan campuran bahan bakar–udara. Meenakshi et al. [14] menguji keterkaitan tekanan penginjeksian dan penggunaan bahan tambahan terhadap pembakaran, performa, serta emisi mesin diesel. Meskipun bahan bakar dan perlakuan dalam studi tersebut tidak identik dengan B30 komersial, keduanya mendukung argumen bahwa tekanan injeksi tidak dapat dianalisis secara terisolasi dari sifat bahan bakar dan parameter operasi mesin. Pengujian yang terkontrol memerlukan pembedaan antara nilai yang diatur pada alat, nilai yang benar-benar tercapai di injektor, dan besaran respons yang diukur.

Pada sistem CRDI, strategi penyemprotan dapat melibatkan lebih dari satu kejadian injeksi selama satu siklus pembakaran. Saba et al. [15] meneliti split injection pada mesin CRDI dengan campuran diesel–biodiesel dan mengkaji optimasi beberapa indikator kinerja secara bersamaan. Gugulothu et al. [16] juga menunjukkan bahwa perubahan strategi split injection pada mesin berbahan bakar campuran biodiesel dapat menimbulkan kompromi antara karakteristik mesin yang berbeda. Kedua studi ini memperluas pemahaman bahwa keluaran mesin bukan hanya fungsi jumlah bahan bakar yang disuplai, tetapi juga waktu, pola, serta distribusi proses penyemprotan di dalam siklus. Oleh sebab itu, hasil pengujian flow test injektor pada perangkat terpisah lebih tepat diperlakukan sebagai karakterisasi suplai bahan bakar daripada sebagai pengukuran langsung torsi yang dihasilkan proses pembakaran.

Penentuan setelan operasi yang sesuai semakin kompleks ketika perubahan tekanan dikombinasikan dengan waktu

@MEKANIK 2026. Diterbitkan oleh UPT Publikasi dan Pengelolaan Jurnal

injeksi dan kondisi beban. Söyler et al. [17] menelaah pengaruh injection timing serta tekanan terhadap karakteristik pembakaran mesin CRDI; studi ini menegaskan bahwa kedua parameter dapat berinteraksi dalam mengubah proses pembakaran. Prakash et al. [18] mengembangkan penyesuaian parameter mesin CRDI menggunakan campuran biodiesel dari biji anggur dan diesel, sehingga menunjukkan kegunaan pendekatan optimasi untuk memperoleh kombinasi operasi tertentu. Pada penelitian lain, Sharma et al. [19] menerapkan optimasi terintegrasi terhadap sejumlah masukan mesin CRDI berbahan bakar biodiesel. Pendekatan tersebut mengisyaratkan bahwa penilaian perubahan tekanan atau jenis bahan bakar pada beberapa putaran harus memerhatikan kemungkinan efek interaksi, bukan sekadar membandingkan satu nilai rata-rata tanpa konteks.

Putaran mesin merupakan salah satu variabel penting karena memengaruhi waktu yang tersedia untuk proses injeksi dan pembakaran, frekuensi siklus kerja, serta karakteristik rugi mekanis. Mulkan et al. [20] mengevaluasi kinerja dan emisi mesin diesel tanpa modifikasi yang menggunakan biodiesel berbasis minyak jelantah pada kondisi beban penuh dan beberapa putaran. Nursyahirah et al. [21] meneliti pengoperasian mesin CRDI dengan campuran biodiesel dalam kondisi lingkungan bersuhu relatif rendah, yang menunjukkan perlunya mempertimbangkan keadaan operasi saat membandingkan bahan bakar. Dalam analisis performa, torsi menyatakan momen puntir pada poros, sedangkan daya efektif berhubungan dengan torsi dan kecepatan sudut menurut $P = T\omega$. Konsekuensinya, perbandingan daya pada putaran berbeda belum langsung menunjukkan perbandingan torsi sebelum hubungan satuan dan metode pengukuran yang digunakan diperiksa.

Penelitian penginjeksian biodiesel juga memperlihatkan adanya kompromi antara peningkatan kualitas pembakaran dan pembentukan emisi tertentu. Saravanan et al. [22] menganalisis parameter injeksi pada campuran biodiesel Ceiba pentandra yang telah dihidrogenasi sebagian, sehingga memperlihatkan bahwa pemilihan pengaturan injeksi perlu mempertimbangkan respons performa sekaligus emisi. Nair et al. [23] meneliti kombinasi tekanan injeksi dan exhaust gas recirculation (EGR) pada campuran biodiesel minyak palmyra. Dengan fokus yang berbeda, Musthafa et al. [24] mengkaji metode peningkatan kualitas penyalaan campuran biodiesel sawit untuk menurunkan pembentukan NOx. Rangkaian studi ini menegaskan bahwa penetapan satu kondisi sebagai kondisi ‘terbaik’ perlu didasarkan pada indikator yang dinyatakan secara jelas, misalnya torsi, konsumsi bahan bakar spesifik, emisi, atau kombinasi beberapa indikator tersebut.

Kajian karakteristik bahan bakar nabati semakin mempertegas pentingnya pemisahan antara pengukuran aliran dan pengukuran respons mesin. Sathiyamoorthi et al. [25] menggunakan pengujian semprotan di ruang uji ber-volume tetap untuk mempelajari campuran biodiesel–diesel berbahan palmarosa. Berbeda dengan pendekatan tersebut, Cahyo et al. [26] meneliti pengaruh minyak sawit mentah terhadap performa, emisi, deposit, dan degradasi pelumas pada mesin diesel putaran rendah. Dua metode ini menyelidiki skala fenomena yang berbeda: karakterisasi semprotan dapat menjelaskan perilaku aliran bahan bakar, sedangkan pengujian mesin mengevaluasi keluaran energi dan dampak operasional secara lebih luas. Karena itu, hasil pengukuran volume di gelas ukur, konsumsi bahan bakar berbasis waktu, dan konsumsi spesifik berbasis daya harus dibedakan dari segi definisi, satuan, dan prosedur pengambilannya.

Secara metrologis, besaran fuel consumption menunjukkan laju penggunaan bahan bakar selama mesin beroperasi, sedangkan brake specific fuel consumption (BSFC) menyatakan laju massa bahan bakar per satuan daya keluaran efektif. Nilai BSFC hanya dapat dihitung secara sahih jika massa atau laju aliran bahan bakar serta daya diukur pada kondisi

@MEKANIK 2026. Diterbitkan oleh UPT Publikasi dan Pengelolaan Jurnal

operasi yang bersesuaian. Perbedaan densitas antara B30 dan bahan bakar diesel komersial juga berarti bahwa volume yang sama belum tentu mewakili massa dan kandungan energi yang sama. Kebutuhan pembacaan multidimensi tersebut sejalan dengan kajian optimasi mesin berbahan bakar campuran biodiesel oleh Mohamed et al. [6] serta tinjauan parameter injeksi oleh Khan et al. [13]. Karena itu, perhitungan konsumsi spesifik tidak dapat langsung diturunkan dari volume keluaran pada injector tester apabila belum diketahui durasi, jenis fluida uji, keadaan pembebanan mesin, dan kesetaraan prosedur pengukuran.

Sejauh literatur yang ditelaah, penelitian telah mencakup perbandingan bahan bakar diesel komersial Indonesia, pengujian B30, optimasi tekanan injeksi, dan karakterisasi semprotan biodiesel. Akan tetapi, perbandingan Biosolar B30 dan Pertamina Dex pada rentang setelan alat uji injektor yang terbatas masih perlu dijelaskan secara khusus dengan membedakan respons volume aliran pada bangku uji dan indikator keluaran mesin pada pengujian terpisah. Celah penelitian yang relevan bukan terletak pada klaim bahwa kedua bahan bakar belum pernah dibandingkan, melainkan pada perlunya penyajian yang konsisten mengenai setelan tekanan, putaran simulasi, karakteristik aliran, dan basis perhitungan performa. Pemisahan ini penting agar hubungan yang diamati tidak langsung ditafsirkan sebagai hubungan sebab–akibat antara perubahan tekanan alat penguji dan torsi mesin tanpa pengujian yang benar-benar terintegrasi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan membandingkan karakteristik keluaran bahan bakar Biosolar B30 dan Pertamina Dex menggunakan perangkat penguji injektor pada setelan tekanan 90, 100, 110, 120, dan 130 psi serta tingkat putaran yang ditetapkan sebesar 1.000, 1.500, dan 2.000 rpm. Kajian ini juga menelaah data daya dan torsi mesin diesel Toyota Innova 2KD-FTV 2.500 cc pada rentang putaran yang sama, dengan menempatkan setiap besaran pada prosedur pengukurannya masing-masing. Analisis diarahkan untuk mengidentifikasi perbedaan perilaku aliran bahan bakar antarkedua jenis bahan bakar dan meninjau kesesuaiannya dengan indikator performa yang tersedia. Dengan batasan tersebut, penelitian diharapkan memberi dasar evaluasi awal yang transparan bagi pengembangan prosedur pengujian injektor dan penilaian bahan bakar diesel campuran pada mesin otomotif..

METODE PENELITIAN

Objek dan rancangan pengujian

Dua jenis bahan bakar yang dibandingkan adalah Biosolar B30 dan Pertamina Dex. Perangkat utama yang didokumentasikan adalah engine stand diesel Toyota Innova 2KD-FTV berkapasitas sekitar 2.500 cc dan perangkat Launch injector cleaner and tester.



(a)



(b)

@MEKANIK 2026. Diterbitkan oleh UPT Publikasi dan Pengelolaan Jurnal

Gambar 1. Perangkat yang didokumentasikan dalam penelitian: (a) engine stand diesel dan (b) alat penguji injektor beserta sampel bahan bakar.

Kondisi uji dan pengambilan data

Pada pengujian aliran, tekanan yang diatur pada perangkat penguji injektor adalah 90–130 psi dengan kenaikan 10 psi. Tingkat putaran pada alat diatur pada 1.000, 1.500, dan 2.000 rpm. Untuk setiap kombinasi jenis bahan bakar, tekanan, dan putaran, dilakukan tiga pembacaan volume selama 60 detik; dengan demikian, tersedia 45 pembacaan per bahan bakar atau 90 pembacaan seluruhnya. Tabel 1 memisahkan variabel pengujian bench dari data operasi mesin untuk mencegah penyamaan tekanan alat uji bertekanan rendah dengan tekanan rel aktual pada sistem common-rail.

Tabel 1. Ringkasan rancangan pengujian dan asal data.

Aspek	Kondisi dalam laporan
Jenis bahan bakar	Biosolar B30 dan Pertamina Dex
Perangkat uji aliran	Launch injector cleaner and tester
Setelan tekanan alat	90, 100, 110, 120, 130 psi
Setelan putaran simulasi	1.000, 1.500, 2.000 rpm
Durasi dan pengulangan	60 detik; tiga pembacaan per kondisi
Respons pada bangku uji	Volume keluaran pada gelas ukur (mL per 60 s)
Data kinerja mesin terpisah	Daya pada 1.000, 1.500, dan 2.000 rpm; dilaporkan sebagai HP

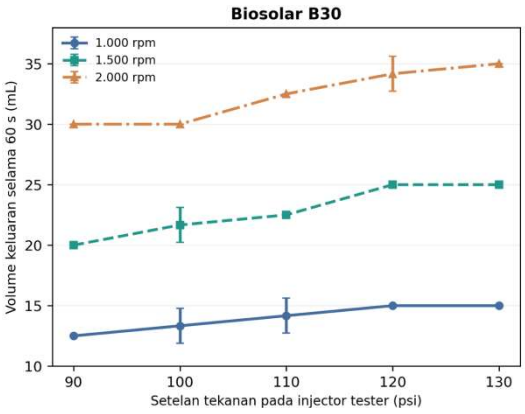
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik volume keluaran injektor

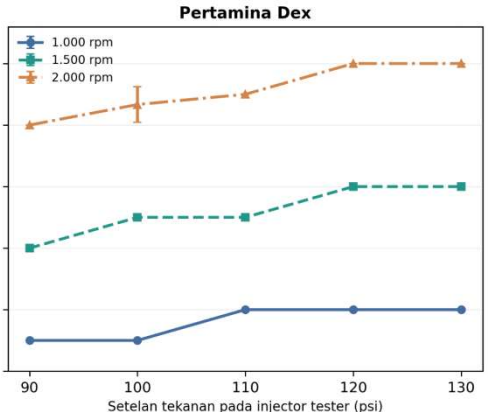
Rerata dan simpangan baku volume keluaran pada setiap kombinasi diperlihatkan dalam Tabel 2. Untuk Biosolar B30, nilai terendah 12,50 ± 0,00 mL terjadi pada 90 psi dan 1.000 rpm, sedangkan nilai tertinggi 35,00 ± 0,00 mL terjadi pada 130 psi dan 2.000 rpm. Pertamina Dex menunjukkan nilai terendah yang sama pada 90 maupun 100 psi pada 1.000 rpm, sementara keluaran sebesar 35,00 ± 0,00 mL telah diperoleh pada 120 dan 130 psi pada 2.000 rpm. Nilai ± 0,00 tidak menjamin tidak adanya ketidakpastian pengukuran; angka itu hanya menunjukkan tiga hasil pembacaan yang identik pada presisi pencatatan dalam laporan

Tabel 2. Volume keluaran injektor dalam 60 detik menurut bahan bakar, tekanan, dan putaran (rerata ± SD; n = 3)

Bahan bakar	Tekanan (psi)	1.000 rpm (mL)	1.500 rpm (mL)	2.000 rpm (mL)
Biosolar B30	90	12,50 ± 0,00	20,00 ± 0,00	30,00 ± 0,00
Biosolar B30	100	13,33 ± 1,44	21,67 ± 1,44	30,00 ± 0,00
Biosolar B30	110	14,17 ± 1,44	22,50 ± 0,00	32,50 ± 0,00
Biosolar B30	120	15,00 ± 0,00	25,00 ± 0,00	34,17 ± 1,44
Biosolar B30	130	15,00 ± 0,00	25,00 ± 0,00	35,00 ± 0,00
Pertamina Dex	90	12,50 ± 0,00	20,00 ± 0,00	30,00 ± 0,00
Pertamina Dex	100	12,50 ± 0,00	22,50 ± 0,00	31,67 ± 1,44
Pertamina Dex	110	15,00 ± 0,00	22,50 ± 0,00	32,50 ± 0,00
Pertamina Dex	120	15,00 ± 0,00	25,00 ± 0,00	35,00 ± 0,00
Pertamina Dex	130	15,00 ± 0,00	25,00 ± 0,00	35,00 ± 0,00



@MEKANIK 2026. Diterbitkan oleh UPT Publikasi dan Pengelolaan Jurnal



Gambar 2. Pengaruh setelan tekanan terhadap volume keluaran pada tiga tingkat putaran simulasi. Simbol menunjukkan rerata; garis galat adalah simpangan baku sampel dari tiga pembacaan.

Gambar 2 menunjukkan bahwa perbedaan tingkat putaran berkaitan dengan perubahan volume yang lebih besar dibandingkan perbedaan kecil antarbahan bakar pada setelan identik. Sebagai contoh, pada 90 psi, volume rerata untuk kedua bahan bakar meningkat dari 12,50 mL pada 1.000 rpm menjadi 30,00 mL pada 2.000 rpm. Peningkatan setelan tekanan dari 90 ke 130 psi juga diikuti kecenderungan volume yang tidak menurun pada setiap seri putaran, tetapi sejumlah seri memperlihatkan plateau. Oleh karena itu, hasil lebih tepat ditafsirkan sebagai respons perangkat uji terhadap kombinasinya sendiri, bukan sebagai bukti bahwa mesin selalu mengonsumsi lebih banyak bahan bakar ketika tekanan aktual injeksinya dinaikkan

Perbandingan Biosolar B30 dan Pertamina Dex

Dari 15 kombinasi setelan tekanan dan putaran, sebanyak 10 kombinasi menghasilkan rerata volume yang sama pada B30 dan Pertamina Dex. Perbedaan terbesar muncul pada 100 psi dan 2.000 rpm: Pertamina Dex menghasilkan 31,67 ± 1,44 mL, sedangkan B30 30,00 ± 0,00 mL, sehingga selisihnya 1,67 mL per 60 detik. Pada 100 psi dan 1.000 rpm, B30 justru menghasilkan rerata 13,33 mL dibandingkan 12,50 mL pada Pertamina Dex. Perubahan arah selisih ini tidak mendukung pernyataan universal bahwa salah satu bahan bakar selalu memiliki laju aliran yang lebih tinggi pada seluruh kondisi.

Perbedaan pengeluaran bahan bakar dapat secara teoritis terkait dengan sifat viskositas, densitas, dan koefisien debit, tetapi sifat fisikokimia kedua sampel tidak diuji secara mandiri dalam laporan sumber. Vo et al. [9] telah menunjukkan pentingnya komposisi biodiesel dan geometri lubang injektor dalam memengaruhi profil injeksi. Khan et al. [13] juga menggarisbawahi interaksi antara sifat bahan bakar serta parameter penginjeksian pada mesin CI. Oleh karena itu, mekanisme yang spesifik bagi kedua sampel ini masih merupakan hipotesis dan memerlukan karakterisasi viskositas, densitas, temperatur, dan parameter penyemprotan sebelum dapat dikonfirmasi.

Perbandingan daya mesin dan perhitungan torsi

Data daya yang dilaporkan dalam tugas akhir menunjukkan respons berbeda pada putaran mesin yang diuji. Pada 1.000 rpm, Pertamina Dex memiliki daya 13,39 HP dibandingkan 7,89 HP pada B30; pada 1.500 rpm kedua nilai mendekat, yaitu 23,38 dan 22,93 HP; sedangkan pada 2.000 rpm nilai B30 mencapai 43,24 HP dan melampaui Pertamina Dex sebesar 35,97 HP. Pola ini menunjukkan perpotongan kurva antarjenis bahan bakar sehingga klaim ‘bahan bakar terbaik’ tidak dapat dibuat tanpa menyebutkan putaran, beban, replikasi, dan dasar pengukurannya

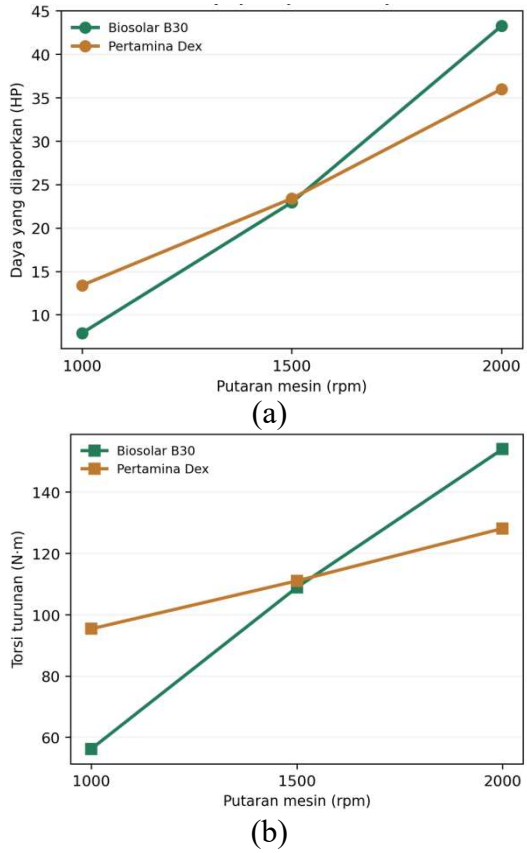
Tabel 3. Data daya mesin dari laporan dan torsi hasil perhitungan ulang.

Bahan bakar	Putaran (rpm)	Daya (HP)	Daya turunan (kW)	Torsi turunan (N·m)
Biosolar B30	1.000	7,89	5,88	56,18
Biosolar B30	1.500	22,93	17,10	108,85
Biosolar B30	2.000	43,24	32,24	153,95
Pertamina Dex	1.000	13,39	9,98	95,35

@MEKANIK 2026. Diterbitkan oleh UPT Publikasi dan Pengelolaan Jurnal

Bahan bakar	Putaran (rpm)	Daya (HP)	Daya turunan (kW)	Torsi turunan (N·m)
Pertamina Dex	1.500	23,38	17,43	110,99
Pertamina Dex	2.000	35,97	26,82	128,07

Catatan: kolom torsi dihitung dari P = Tω dengan asumsi HP mekanis. Ini bukan hasil pengukuran torsi secara langsung; nilai harus diverifikasi apabila satuan alat dynamometer berbeda



Gambar 3. (a) Daya berdasarkan tabel pada skripsi; (b) torsi turunan dari daya dengan asumsi HP mekanis. Grafik tidak menyajikan galat karena replikasi pengukuran dynamometer tidak dilaporkan.

Perhitungan ulang menghasilkan torsi B30 sekitar 56,18, 108,85, dan 153,95 N·m pada putaran 1.000, 1.500, dan 2.000 rpm. Pada Pertamina Dex, torsi turunan masing-masing adalah 95,35, 110,99, dan 128,07 N·m. Nilai-nilai ini berbeda dari torsi dalam skripsi, karena sumber menggunakan faktor 4.500 bersama daya dalam HP dan menamakan hasilnya N·m. Faktor tersebut tidak sesuai dengan hubungan satuan mekanis HP–rpm–N·m. Untuk keperluan publikasi, kurva mentah dynamometer, satuan daya, faktor koreksi alat, kondisi beban, serta kondisi lingkungan diperlukan agar validitas angka akhir dapat diperiksa secara independen.

Pola perbandingan daya tersebut tidak dapat diatribusikan secara langsung pada setelan tekanan 90–130 psi di alat uji injektor. Pertama, data daya mesin disajikan hanya menurut putaran, tanpa matriks tekanan × bahan bakar × putaran yang terhubung ke pengujian bench. Kedua, sistem bahan bakar Toyota 2KD-FTV menggunakan CRDI, sementara setelan tekanan yang terdokumentasi berasal dari perangkat penguji injektor bertekanan jauh lebih rendah. Ketiga, belum ada pengukuran simultan debit bahan bakar, beban efektif, dan daya mesin pada setiap setelan bench. Akibatnya, hubungan antara hasil Gambar 2 dan Gambar 3 bersifat perbandingan deskriptif dua seri data, bukan bukti sebab-akibat antara perubahan tekanan pengujian dan perubahan torsi mesin

Batasan evaluasi konsumsi spesifik dan implikasi penelitian

Nilai konsumsi bahan bakar spesifik dihitung dengan memasukkan massa dari volume sampel 10 mL dan asumsi durasi enam menit, kemudian dibandingkan dengan daya pada putaran tertentu. Karena pengambilan volume pada injector tester dan pengukuran daya mesin tidak didokumentasikan berlangsung secara serempak di bawah beban yang sama, hasil tersebut tidak memenuhi prasyarat pengukuran brake specific fuel consumption (BSFC) yang dapat diaudit. Oleh sebab itu, nilai BSFC laporan asli tidak dijadikan dasar keputusan bahwa Pertamina Dex lebih hemat atau B30 lebih boros. Penelitian Kristyadi et al. [3] memperlihatkan bahwa perbandingan bahan bakar komersial pada mesin harus diturunkan dari pengukuran parameter kinerja secara langsung di kondisi uji yang terkendali.

Untuk meningkatkan kekuatan bukti, pengujian lanjutan perlu menggunakan injektor yang teridentifikasi

@MEKANIK 2026. Diterbitkan oleh UPT Publikasi dan Pengelolaan Jurnal

spesifikasi dan kelas tekanannya, mencatat tekanan rel aktual dan durasi pulsa, serta melakukan pengukuran laju massa bahan bakar, torsi, dan daya pada titik beban serta putaran yang sama. Ulangan pada hari berbeda dan dokumentasi kalibrasi alat diperlukan untuk memperkirakan ketidakpastian. Literatur mengenai pengaruh tekanan dan strategi injeksi, seperti kajian Söyler et al. [17], menunjukkan bahwa parameter injeksi juga berinteraksi dengan waktu penyemprotan dan keadaan beban. Oleh karena itu, pengujian terintegrasi akan lebih memadai untuk menjelaskan mekanisme kinerja dan membandingkan efisiensi kedua bahan bakar secara kuantitatif.

KESIMPULAN

Data hasil pengujian injektor menunjukkan peningkatan volume keluaran seiring perubahan setelan putaran dari 1.000 menjadi 2.000 rpm. Pada 90 psi, rerata kedua bahan bakar berubah dari 12,50 menjadi 30,00 mL per 60 detik. Keluaran maksimum 35,00 mL diperoleh pada 130 psi dan 2.000 rpm untuk kedua bahan bakar, dan pada Pertamina Dex nilai tersebut juga tercapai pada 120 psi dan 2.000 rpm. Dari 15 kombinasi pengujian, 10 menghasilkan rerata volume yang identik antara Biosolar B30 dan Pertamina Dex. Daya mesin menunjukkan Pertamina Dex lebih tinggi pada 1.000 rpm, sedangkan Biosolar B30 lebih tinggi pada 2.000 rpm. Setelah konversi satuan dari data daya dengan asumsi HP mekanis, torsi turunan pada 2.000 rpm adalah 153,95 N·m untuk B30 dan 128,07 N·m untuk Pertamina Dex. Hasil ini belum membuktikan keunggulan efisiensi salah satu bahan bakar karena data laju konsumsi massa dan pengukuran dynamometer yang tersinkronisasi belum tersedia. Pengujian berikutnya perlu membedakan tekanan alat penguji injektor dari tekanan sistem CRDI mesin serta menerapkan pengukuran aliran bahan bakar, torsi, dan daya dalam satu kondisi pengujian yang sama.

REFERENSI

[1] I. HARYONO, "AN INVESTIGATION OF 30% PALM BIODIESEL BLEND FUEL (B30) UNDER INDONESIAN OPERATING CONDITIONS," *J. Oil Palm Res.*, Feb. 2024, doi: 10.21894/jopr.2024.0013.

[2] M. Q. Mohd Tamam *et al.*, "Engine performance and emissions evaluation of surfactant-free B30 biodiesel–diesel/water emulsion as alternative fuel," *Sci. Rep.*, vol. 13, no. 1, p. 10599, Jun. 2023, doi: 10.1038/s41598-023-37662-4.

[3] T. Kristyadi, D. I. Permana, M. P. N. Sirodz, E. Saefudin, and I. Farkas, "Performance and Emission of Diesel Engine Fuelled by Commercial Bio-Diesel Fuels in Indonesia," *Acta Technol. Agric.*, vol. 25, no. 4, pp. 221–228, Dec. 2022, doi: 10.2478/ata-2022-0032.

[4] N. Cahyo, B. F. T. Tamtomo Kiono, M. S. K. T. S. Utomo, M. A. Rahmanta, and P. Paryanto, "Comparative Assessment of Diesel–Palm-Based Biodiesel and Green Diesel Blends on Engine Performance, Operating Parameters, and Acoustic Emissions in a Compression-Ignition Engine," *Energies*, vol. 19, no. 12, p. 2930, Jun. 2026, doi: 10.3390/en19122930.

[5] B. Musthafa and M. Prabhahar, "Numerical and experimental investigation of CI engine parameters using palm biodiesel with diesel blends," *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, p. 43399, Dec. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-00170-8.

[6] I. S. Mohamed *et al.*, "Optimization of Performance and Emission Characteristics of the CI Engine Fueled with Preheated Palm Oil in Blends with Diesel Fuel," *Sustainability*, vol. 14, no. 23, p. 15487, Nov. 2022, doi: 10.3390/su142315487.

[7] F. Kafrawi, K. H. Lee, C. Zhang, and S. Bari, "Spray analysis of Palm-

@MEKANIK 2026. Diterbitkan oleh UPT Publikasi dan Pengelolaan Jurnal

Based biodiesel to correlate performance and combustion analysis of a compression ignition engine," *Fuel*, vol. 319, p. 123822, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.fuel.2022.123822.

[8] V. D. Chaudhari, V. S. Jagdale, D. Chorey, and D. Deshmukh, "Combustion and spray breakup characteristics of biodiesel for cold start application," *Clean. Eng. Technol.*, vol. 5, p. 100285, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.clet.2021.100285.

[9] T. C. Vo and T. A. Huynh, "Investigation of injection rate characteristics and applicability of palm-biodiesel blending ratios in various diesel injector nozzle geometries under simulated CI engine operating conditions," *Transp. Eng.*, vol. 21, p. 100378, Sep. 2025, doi: 10.1016/j.treng.2025.100378.

[10] X. Wang *et al.*, "Role of injection pressure on fuel atomization and spray penetration on the Thevetia peruviana and Jatropha curcas biodiesel blends with nanoparticle," *Fuel*, vol. 324, p. 124527, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.fuel.2022.124527.

[11] M. F. Al-Dawody, K. A. Al-Farhany, N. H. Hamza, and D. A. Hamzah, "Numerical study for the spray characteristics of diesel engine powered by biodiesel fuels under different injection pressures," *J. Eng. Res.*, vol. 10, no. 1, pp. 264–289, Mar. 2022, doi: 10.36909/jer.9821.

[12] S. Thiruvenkatachari, C. G. Saravanan, V. Raman, M. Vikneswaran, J. S. F. Josephin, and E. G. Varuvel, "An experimental study of the effects of fuel injection pressure on the characteristics of a diesel engine fueled by the third generation Azolla biodiesel," *Chemosphere*, vol. 308, p. 136049, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.136049.

[13] M. M. Khan, R. Chatterjee, S. M. M. Hasnain, J. Giri, and R. Zairov, "Effect of fuel injection parameters on the performance & emissions of biodiesel based CI engine-A review," *Results Eng.*, vol. 24, p. 103180, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2024.103180.

[14] V. Meenakshi, P. Booma Devi, and S. Al Obaid, "Exploring the relationship between fuel injection pressure and nanoparticle additives on the combustion, performance and emission characteristics of diesel engine fueled with animal waste-based blends," *Fuel*, vol. 372, p. 132065, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.fuel.2024.132065.

[15] G. Saba *et al.*, "Comprehensive Investigations on Split Injection System Using Diesel/Biodiesel Blends Powered Common Rail Direct Injection Engine: Multi-Objective Optimization," *Energy Sci. Eng.*, vol. 13, no. 4, pp. 1662–1678, Apr. 2025, doi: 10.1002/ese3.2087.

[16] S. K. Gugulothu, B. Deepanraj, R. V. Reddy, and L. S. Sundar, "Influence of split injection strategies and Trade-off study on the CRDI engine characteristics powered with waste cooking Oil/Diesel blend," *Fuel*, vol. 344, p. 128023, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.fuel.2023.128023.

[17] H. Söyler, M. K. Balki, and C. Sayin, "The impact of injection timing and pressure on a CRDI engine's combustion characteristics," *J. Eng. Res.*, vol. 13, no. 2, pp. 854–864, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.jer.2024.02.015.

[18] P. Prakash *et al.*, "Parameter fine tuning on CRDI engine operated with blends of grape biodiesel and diesel," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 60, p. 104701, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.csite.2024.104701.

[19] A. Sharma *et al.*, "Integrated optimization of common rail direct injection diesel engine input

@MEKANIK 2026. Diterbitkan oleh UPT Publikasi dan Pengelolaan Jurnal

parameters with linseed biodiesel: A hybrid approach using grey relational analysis and genetic algorithm techniques," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 238, no. 16, pp. 8483–8500, Aug. 2024, doi: 10.1177/09544062241238797.

[20] A. Mulkan, N. W. Mohd Zulkifli, H. Husin, Ahmadi, and I. Dahlan, "Performance and emissions assessment under full load operation of an unmodified diesel engine running on biodiesel-based waste cooking oil synthesized using JPW solid catalyst," *Renew. Energy*, vol. 224, p. 120145, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.renene.2024.120145.

[21] J. Nursyahirah, H. L. N. Lau, and R. I. A. Jalal, "Evaluation of Operability and Exhaust Emissions of Common Rail Direct Injection Engine using Biodiesel Blends in Moderate Cold Environment," *Int. J. Automot. Mech. Eng.*, vol. 21, no. 4, pp. 11893–11908, Dec. 2024, doi: 10.15282/ijame.21.4.2024.12.0915.

[22] B. Saravanan and M. A. Asokan, "Impact of fuel injection parameters associated with partially hydrogenated Ceiba pentandra biodiesel blend on CI engine characteristics," *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 188, pp. 96–104, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.psep.2024.05.051.

[23] J. N. Nair *et al.*, "Experimental study on palmyra oil biodiesel blends in CI engines: Role of injection pressure and EGR in performance enhancement and emission reduction," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 75, p. 107165, Nov. 2025, doi: 10.1016/j.csite.2025.107165.

[24] B. Musthafa and M. Asokan, "Reducing NOx emission from palm biodiesel/diesel blends in CI engine: A comparative study of cetane improvement techniques through hydrogenation and fuel additives," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part E J. Process Mech. Eng.*, vol. 239, no. 5, pp. 2782–2793, Oct. 2025, doi: 10.1177/09544089231223380.

[25] R. Sathiyamoorthi, G. Sankaranarayanan, D. B. Munuswamy, and Y. Devarajan, "Experimental study of spray analysis for Palmarosa biodiesel-diesel blends in a constant volume chamber," *Environ. Prog. Sustain. Energy*, vol. 40, no. 6, Nov. 2021, doi: 10.1002/ep.13696.

[26] N. Cahyo, R. B. Sitanggang, A. A. Simareme, and P. Paryanto, "Impact of crude palm oil on engine performance, emission product, deposit formation, and lubricating oil degradation of low-speed diesel engine: An experimental study," *Results Eng.*, vol. 18, p. 101156, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.rineng.2023.101156.