

ANALISIS PENGGUNAAN LPG TERHADAP PERFORMA DAN EMISI GAS BUANG PADA MOTOR BENSIN 125 CC

Bambang Triono^{1*}, M.Fansyah Ari²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sunan Giri Surabaya
Alamat: I. Brigjen Katamso II, Bandilan, Kedungrejo, Kec. Waru, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur 61256

Korespondensi penulis: bambangtriono@unsuri.ac.id

Abstract. *This study aims to analyze the effect of Liquefied Petroleum Gas (LPG) fuel on the performance (torque and power) and exhaust emissions of a 125 cc Supra X 125 motorcycle (2010 model). An experimental method was applied by testing the engine using two types of fuel, namely gasoline and LPG. The independent variable in this study is the type of fuel, while the dependent variables include torque, power, and exhaust emissions consisting of carbon monoxide (CO), hydrocarbons (HC), and carbon dioxide (CO₂). The tests were conducted at various engine speeds (RPM) using a dynamometer, while emission measurements were analyzed using a gas analyzer. The results show that LPG fuel produces slightly lower torque and power compared to gasoline, especially at low to medium engine speeds. This is attributed to differences in calorific value and air-fuel mixing characteristics. However, at higher engine speeds, LPG shows more stable performance. In terms of emissions, LPG significantly reduces CO and HC emissions, while CO₂ emissions slightly increase, indicating more complete combustion. It can be concluded that LPG has potential as a cleaner alternative fuel, despite a slight reduction in engine performance.*

Keywords: *LPG fuel; gasoline; engine performance; torque; power; exhaust emissions; CO; HC; CO₂; 125 cc motorcycle; experimental study*

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan bahan bakar LPG terhadap performa (torsi dan daya) serta emisi gas buang pada sepeda motor Supra X 125 cc tahun 2010. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan pengujian mesin menggunakan dua jenis bahan bakar, yaitu bensin dan LPG. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jenis bahan bakar, sedangkan variabel terikat meliputi torsi, daya, serta emisi gas buang yang terdiri dari karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), dan karbon dioksida (CO₂). Pengujian dilakukan pada berbagai variasi putaran mesin (RPM) menggunakan dynamometer, sedangkan emisi dianalisis menggunakan gas analyzer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan LPG menghasilkan torsi dan daya yang sedikit lebih rendah dibandingkan bensin, terutama pada putaran rendah hingga menengah. Hal ini dipengaruhi oleh karakteristik nilai kalor dan proses pencampuran udara-bahan bakar LPG. Namun, pada putaran tinggi, performa LPG cenderung lebih stabil. Dari sisi emisi, penggunaan LPG mampu menurunkan emisi CO dan HC secara signifikan, meskipun emisi CO₂ sedikit meningkat sebagai indikasi pembakaran yang lebih sempurna. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa LPG memiliki potensi sebagai bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan, meskipun terdapat sedikit penurunan pada performa mesin.

Kata kunci: LPG; bensin; performa mesin; torsi; daya; emisi gas buang; CO; HC; CO₂; motor 125 cc; penelitian eksperimen

1. LATAR BELAKANG

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi telah menghadirkan tantangan yang semakin kompleks di berbagai sektor, termasuk transportasi. Sektor

ini memiliki peran penting dalam menghubungkan berbagai wilayah melalui mobilitas manusia dan barang dalam kondisi lingkungan, sosial, ekonomi, dan budaya yang beragam. Kondisi yang dinamis tersebut menuntut sistem transportasi untuk mampu beradaptasi secara efisien dalam memenuhi kebutuhan wilayah serta menjawab tantangan akibat perkembangan teknologi (Ogden et al., 2011).

Salah satu aspek penting dalam performa mesin pada modifikasi kendaraan adalah torsi dan daya mesin. Kedua parameter ini sangat berperan dalam menentukan efisiensi konversi energi panas hasil pembakaran bahan bakar menjadi energi mekanik yang menggerakkan kendaraan. Proses ini dimulai dari ruang bakar, di mana pembakaran bahan bakar menghasilkan energi yang diteruskan ke poros engkol sehingga menghasilkan gerakan kendaraan. Proses tersebut menunjukkan bahwa torsi dan daya mesin merupakan faktor utama dalam mencapai performa kendaraan yang optimal, khususnya dalam hal akselerasi dan kecepatan (Heywood, 2018).

Torsi memiliki peran penting dalam kemampuan kendaraan untuk bergerak dari kondisi diam dan membangun momentum. Torsi sangat berkaitan dengan performa pada kecepatan rendah serta kemampuan akselerasi mesin. Pembangkitan torsi dipengaruhi oleh gaya piston dan jarak langkah selama proses pembakaran. Seiring meningkatnya kebutuhan peningkatan performa sepeda motor di Indonesia, diperlukan inovasi teknologi yang mampu mengoptimalkan torsi dan daya mesin (Stone, 2012).

Pada mesin pembakaran dalam, performa optimal dicapai ketika bahan bakar memiliki volatilitas yang baik dan tercampur sempurna dengan udara dalam sistem pembakaran. Untuk meningkatkan torsi dan daya mesin, diperlukan optimasi sistem bahan bakar serta pemilihan bahan bakar dengan nilai kalor yang tinggi. Hal ini bertujuan agar proses pembakaran berlangsung lebih efisien dan menghasilkan performa mesin yang lebih baik (Pulkrabek, 2015).

Untuk mengatasi peningkatan konsumsi bahan bakar dan jumlah kendaraan, pemerintah telah merencanakan pembatasan penggunaan bahan bakar bersubsidi, terutama pada kendaraan lama yang dianggap kurang efisien. Kebijakan ini bertujuan untuk mengurangi beban konsumsi bahan bakar serta dampak lingkungan dari kendaraan dengan teknologi lama. Selain itu, penggunaan bahan bakar

alternatif seperti LPG didorong sebagai upaya meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan sektor transportasi (IEA, 2022).

Selain itu, pembatasan serupa juga direncanakan untuk kendaraan yang diproduksi setelah tahun tertentu sebagai upaya pengendalian konsumsi bahan bakar. Langkah ini diambil untuk mengantisipasi peningkatan jumlah kendaraan yang berdampak pada meningkatnya permintaan bahan bakar. Dengan adanya regulasi yang lebih ketat, diharapkan penggunaan energi di sektor transportasi dapat lebih efisien dan berkelanjutan.

2. KAJIAN TEORITIS

a. Motor Bensin (Spark Ignition Engine)

Motor bensin merupakan jenis mesin pembakaran dalam (internal combustion engine) yang bekerja berdasarkan prinsip konversi energi kimia dari bahan bakar menjadi energi panas melalui proses pembakaran, yang kemudian diubah menjadi energi mekanik. Proses pembakaran ini terjadi di dalam ruang bakar dan dipicu oleh percikan bunga api dari busi pada kondisi campuran udara dan bahan bakar yang telah dikompresi. Energi hasil pembakaran akan mendorong piston yang kemudian diteruskan ke poros engkol untuk menghasilkan gerakan rotasi.

Kinerja motor bensin sangat dipengaruhi oleh berbagai parameter operasional seperti rasio kompresi, kualitas campuran udara-bahan bakar, waktu pengapian, serta karakteristik bahan bakar yang digunakan. Ketidaksempurnaan salah satu parameter tersebut dapat menyebabkan penurunan efisiensi pembakaran serta meningkatkan emisi gas buang yang tidak diinginkan (Heywood, 2018). Oleh karena itu, optimasi sistem pembakaran menjadi faktor penting dalam peningkatan performa mesin.

b. Torsi dan Daya Mesin

Torsi dan daya merupakan dua parameter utama yang digunakan untuk mengevaluasi performa mesin pembakaran dalam. Torsi adalah gaya puntir yang dihasilkan oleh mesin terhadap poros engkol, yang menunjukkan kemampuan mesin dalam menghasilkan percepatan awal atau gaya dorong. Sedangkan daya merupakan laju kerja yang dihasilkan mesin dalam satuan waktu, yang menggambarkan kemampuan mesin dalam mempertahankan performa pada kecepatan tinggi.

Hubungan antara torsi dan daya menunjukkan karakteristik penting dari sebuah mesin, di mana torsi cenderung dominan pada putaran rendah, sedangkan daya meningkat seiring bertambahnya putaran mesin hingga mencapai titik optimum. Dalam aplikasi kendaraan bermotor, keseimbangan antara torsi dan daya sangat diperlukan agar kendaraan memiliki performa yang optimal baik pada kondisi start maupun saat kecepatan tinggi (Stone, 2012).

c. Proses Pembakaran dalam Mesin

Proses pembakaran pada motor bensin terjadi melalui tahapan hisap, kompresi, usaha, dan buang (four-stroke cycle). Pada tahap kompresi, campuran udara dan bahan bakar ditekan hingga mencapai kondisi tertentu sebelum dinyalakan oleh busi. Proses pembakaran yang ideal menghasilkan ekspansi gas yang maksimal sehingga mampu memberikan tekanan tinggi pada piston. Efisiensi pembakaran sangat bergantung pada homogenitas campuran udara dan bahan bakar, serta kondisi termodinamika di dalam ruang bakar. Pembakaran yang tidak sempurna akan menghasilkan energi yang lebih rendah serta meningkatkan emisi gas berbahaya seperti karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) (Pulkrabek, 2015).

d. Bahan bakar LPG

LPG merupakan bahan bakar alternatif yang terdiri dari campuran hidrokarbon ringan seperti propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}). LPG memiliki nilai oktan yang relatif tinggi sehingga lebih tahan terhadap knocking dibandingkan bensin. Selain itu, LPG juga memiliki karakteristik pembakaran yang lebih bersih karena menghasilkan emisi partikulat yang lebih rendah. Penggunaan LPG pada motor bensin telah banyak diteliti sebagai alternatif untuk

meningkatkan efisiensi pembakaran sekaligus mengurangi emisi gas buang. Namun demikian, perbedaan sifat fisik dan kimia LPG dibandingkan bensin dapat mempengaruhi sistem suplai bahan bakar, karakteristik pembakaran, serta performa mesin secara keseluruhan (Turns, 2012). Oleh karena itu, diperlukan kajian eksperimental untuk mengetahui pengaruhnya secara spesifik pada berbagai kondisi operasi mesin.

e. Emisi Gas Buang

Emisi gas buang merupakan produk sisa dari proses pembakaran di dalam mesin yang tidak sepenuhnya sempurna. Komponen utama emisi pada motor bensin meliputi karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), dan karbon dioksida (CO₂). Tingkat emisi ini sangat dipengaruhi oleh rasio udara-bahan bakar, waktu pengapian, serta kualitas pembakaran di dalam ruang bakar.

Pembakaran yang tidak sempurna akan menghasilkan kadar CO dan HC yang lebih tinggi, yang menunjukkan adanya bahan bakar yang tidak terbakar secara optimal. Sebaliknya, pembakaran yang lebih sempurna akan meningkatkan produksi CO₂ sebagai indikator hasil oksidasi sempurna dari karbon dalam bahan bakar (Heywood, 2018). Oleh karena itu, analisis emisi menjadi indikator penting dalam menilai efisiensi pembakaran suatu mesin.

f. Pengaruh Penggunaan LPG terhadap Performa Mesin

Penggunaan LPG sebagai bahan bakar alternatif pada motor bensin telah banyak dikaji dalam berbagai penelitian. Secara umum, LPG memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi pembakaran karena sifatnya yang lebih mudah bercampur dengan udara serta memiliki nilai kalor yang stabil. Hal ini dapat berdampak pada penurunan emisi gas buang serta peningkatan kestabilan pembakaran.

Namun demikian, perubahan jenis bahan bakar juga dapat menyebabkan perubahan karakteristik performa mesin seperti torsi, daya, dan respons akselerasi. Hal ini dipengaruhi oleh sistem konversi bahan bakar, kondisi operasional mesin, serta kesesuaian sistem suplai bahan bakar. Oleh karena itu, diperlukan pengujian eksperimental untuk memperoleh gambaran yang lebih akurat mengenai pengaruh LPG terhadap performa mesin 125 cc secara spesifik (Liu et al., 2019; Wang et al., 2020).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif, yaitu metode penelitian yang berfokus pada pengumpulan data numerik secara sistematis dari lapangan untuk kemudian dianalisis secara statistik. Pendekatan ini memungkinkan dilakukannya pengukuran, perbandingan, serta pengujian hubungan antar variabel secara objektif berdasarkan data empiris. Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kesimpulan yang valid, terukur, dan dapat direplikasi pada kondisi yang serupa (Creswell, 2014; Sugiyono, 2018).

Pendekatan kuantitatif juga memungkinkan konversi data kualitatif menjadi data kuantitatif melalui proses pengkodean atau transformasi variabel, sehingga fenomena yang bersifat kualitatif dapat dianalisis secara numerik. Hal ini bertujuan untuk memperkuat objektivitas hasil penelitian serta meningkatkan akurasi dalam interpretasi data (Sekaran & Bougie, 2016)

Adapun dalam pengujian performa mesin, digunakan alat Dynojet SD325 yang merupakan dynamometer sepeda motor untuk mengukur torsi dan daya mesin pada berbagai tingkat putaran mesin (engine speed) dari kondisi rendah hingga mencapai putaran maksimum (limiter). Alat ini digunakan secara luas dalam pengujian performa kendaraan karena mampu memberikan data yang akurat terkait karakteristik output mesin (Dynojet Research, 2021).

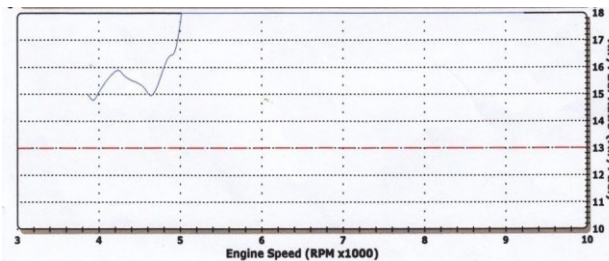
Selain itu, digunakan juga Dynojet 200i yang berfungsi untuk menganalisis dan mengoptimalkan rasio campuran udara dan bahan bakar (air-fuel ratio). Perangkat ini membantu dalam menentukan kondisi pembakaran yang paling optimal dengan menyesuaikan keseimbangan antara udara dan bahan bakar, sehingga mesin dapat beroperasi pada efisiensi tertinggi. Pengaturan rasio campuran yang tepat sangat penting untuk meningkatkan performa mesin sekaligus mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang (Heywood, 2018).

Dengan menggunakan Dynojet 200i, peneliti dapat melakukan analisis mendalam terhadap variasi campuran udara-bahan bakar untuk memperoleh kondisi operasi mesin yang paling optimal. Proses ini memungkinkan penyetelan (tuning) mesin secara presisi sehingga performa kendaraan dapat ditingkatkan sesuai dengan karakteristik bahan bakar yang digunakan, termasuk pada penggunaan LPG sebagai bahan bakar alternatif.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil Penelitian

Berikut merupakan cara pemasangan alat Dynotest yaitu sebagai berikut : pasang kembali semua komponen kendaraan untuk memastikannya layak digunakan di jalan raya dengan bahan bakar LPG. Memposisikan sepeda motor pada *dynojet*. Sejajarkan roda depan dengan kunci dan tempatkan roda belakang pada rol *dynojet*. Amankan sepeda motor dengan sabuk untuk mencegah pergerakan selama pengujian. Pasangkan indikator rpm ke kabel koil. Melakukan uji torsi tinggi pada mesin melibatkan penggunaan gigi ketiga. Mesin dinyalakan pada



kecepatan rendah dan secara bertahap ditingkatkan hingga hampir 4000 rpm. Setelah kecepatan ini tercapai, pedal gas ditekan hingga batas maksimal. Torsi maksimum kemudian diukur langsung pada monitor *dynojet*. Lakukan uji daya mesin secara menyeluruh dengan menggunakan gigi ketiga. Mulailah pengujian dengan menyalakan mesin pada putaran rendah dan secara bertahap tingkatkan hingga hampir 4000 rpm. Kemudian, tekan pedal gas dengan cepat hingga batas maksimal. Output daya yang dihasilkan langsung ditampilkan pada monitor *dynojet*. Hasil dari uji torsi dan daya secara otomatis terekam dalam memori perangkat *Dynojet*, sehingga dapat diambil dan dicetak kemudian. Fitur ini memastikan bahwa semua data uji tersimpan dengan aman dan dapat diakses serta didokumentasikan dengan mudah di lain waktu.

Gambar 1. Grafik AFR Menggunakan Bahan Bakar LPG dengan *PilotJet#118* dan *MainJet#200*

Untuk motor menggunakan bahan bakar LPG diperlukan modifikasi pada karburator agar mesin dapat hidup dengan baik, karena mesin tersebut memang dirancang untuk bahan bakar bensin dan berdasarkan eksperimen empiris ketika menggunakan bahan bakar LPG dengan karburator standar mesin tidak dapat hidup, maka dilakukan modifikasi karburator dengan memperbesar *pilot jet* dan

main jet. Dan mesin mulai dapat hidup dengan baik ketika menggunakan *pilot jet* #118 dan *main jet* # 200. Dalam kesempurnaan pembakaran sangat dipengaruhi perbandingan udara dan bahan bakar (*Air Fuel Ratio/AFR*). Bahan bakar LPG memiliki *AFR stoichiometri* 20,33 : 1, oleh karena itu pada penelitian ini juga mengacu *AFR* yang paling mendekati *AFR stoichiometrinya*.

Hasil pengujian yang diperoleh menggunakan *Dynojet 200i* menghasilkan grafik rasio udara-bahan bakar (*AFR*), tetapi perangkat ini hanya dapat mengukur *AFR* dalam kisaran 10-18 dan memerlukan penggunaan knalpot balap untuk pengujian yang akurat. Menurut grafik, kecocokan terdekat dengan *AFR stoikiometris* untuk LPG dicapai dengan karburator yang dilengkapi dengan *pilot jet* #118 dan *main jet* #200. Oleh karena itu, pembahasan difokuskan pada pengujian kinerja bahan bakar LPG pada sepeda motor *Supra X 125R 2010* saat dilengkapi dengan pengaturan karburator khusus ini.

b. Pembahasan

Berdasarkan Gambar 4.4, terlihat bahwa grafik daya poros menunjukkan peningkatan yang signifikan pada rentang putaran 4000 rpm hingga 4500 rpm. Peningkatan ini terjadi karena pada rentang tersebut torsi mesin mencapai nilai maksimum, sehingga peningkatan torsi secara langsung berdampak pada peningkatan daya keluaran. Hal ini sesuai dengan hubungan dasar antara torsi, putaran mesin, dan daya, di mana daya merupakan fungsi dari torsi dan kecepatan sudut mesin (Heywood, 2018). Namun, pada rentang 4500 rpm hingga 5464 rpm, peningkatan daya poros mulai melandai. Kondisi ini disebabkan oleh penurunan torsi akibat kualitas campuran udara dan bahan bakar yang tidak lagi berada pada kondisi optimal. Pada kecepatan tinggi, efisiensi volumetrik cenderung menurun sehingga proses pembakaran menjadi kurang efektif (Stone, 2012).

Pada rentang 5464 rpm hingga 5514 rpm, daya poros relatif stabil pada nilai 5,83 HP. Hal ini menunjukkan bahwa mesin telah mencapai kondisi mendekati titik operasi optimal, di mana perubahan putaran tidak memberikan peningkatan daya yang signifikan. Selanjutnya, pada putaran di atas 5514 rpm hingga 8250 rpm, terjadi penurunan daya poros. Kondisi ini menunjukkan adanya peningkatan losses pada proses pembakaran dan mekanik akibat ketidaksempurnaan pengisian campuran udara-bahan bakar ke dalam silinder (Pulkrabek, 2015). Secara keseluruhan, daya poros maksimum sebesar 5,83 HP dicapai pada 5464 rpm. Pola grafik daya yang cenderung bergelombang

mencerminkan karakteristik mesin satu silinder, di mana fluktuasi kerja dipengaruhi oleh siklus empat langkah pembakaran (Heywood, 2018).

Hasil analisis juga menunjukkan adanya perbedaan performa antara penggunaan bahan bakar Pertalite dan LPG. Daya maksimum dengan Pertalite mencapai 6,23 HP, sedangkan LPG menghasilkan 5,83 HP. Penurunan ini disebabkan oleh karakteristik LPG yang memiliki kecepatan rambat api lebih tinggi dibandingkan bensin, sehingga dapat mempengaruhi waktu pembakaran apabila sistem pengapian tidak disesuaikan (Turns, 2012). Perbedaan juga terlihat pada torsi maksimum, di mana Pertalite menghasilkan 8,62 N·m pada 4459 rpm, sedangkan LPG sebesar 8,19 N·m pada 4328 rpm. Hal ini menunjukkan bahwa sifat fisik dan kimia bahan bakar sangat mempengaruhi proses pembakaran dan pembentukan tekanan di dalam silinder (Pulkrabek, 2015).

Selain itu, kemampuan operasional mesin dengan LPG hanya bertahan hingga 8250 rpm, sedangkan Pertalite masih mampu mencapai 9000 rpm. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan LPG memerlukan penyesuaian sistem pengapian (ignition timing) agar proses pembakaran dapat berlangsung lebih optimal sesuai karakteristik bahan bakar (Stone, 2012). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan LPG menghasilkan performa yang sedikit lebih rendah dibandingkan Pertalite, terutama pada aspek torsi, daya maksimum, dan batas putaran mesin, yang dipengaruhi oleh karakteristik pembakaran dan kesesuaian sistem pengapian.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari penelitian ini mencerminkan analisis data dan memberikan wawasan berdasarkan tujuan dan ruang lingkup penelitian, antara lain tentang penggunaan Bahan bakar LPG tidak dapat digunakan secara langsung pada motor Supra X 125 2010 karena didesain untuk bahan bakar pertalite. Untuk mengadaptasi motor ini untuk LPG, modifikasi pada karburator diperlukan, terutama dengan menyesuaikan ukuran *pilot jet* dan *main jet*. untuk memperoleh rasio udara-bahan bakar yang diinginkan *stoichiometri* yang tepat yaitu 21:1 untuk LPG. Penggunaan LPG tidak mengakibatkan peningkatan torsi gardan. Secara spesifik, torsi maksimum yang dicapai dengan Pertalite adalah 8,62 N*m pada 4.459 rpm, sedangkan dengan LPG, torsi maksimumnya lebih rendah yaitu 8,19 N*m, terjadi pada 4.328 rpm, yang berarti 0,43 N*m lebih rendah dari torsi yang dihasilkan dengan Pertalite.

Menggunakan bahan bakar LPG tidak meningkatkan daya keluaran maksimum pada roda. Meskipun merupakan sumber bahan bakar alternatif, LPG tidak berkontribusi pada tingkat daya puncak yang lebih tinggi dalam performa kendaraan. Ini menunjukkan bahwa, meskipun LPG dapat menawarkan manfaat lain, ia tidak meningkatkan kemampuan kendaraan untuk menyalurkan daya yang lebih besar ke

roda dibandingkan dengan pilihan bahan bakar lainnya. Dengan bahan bakar Pertalite, tenaga puncak dicapai pada 5.846 rpm, menghasilkan 6,23 HP. Sebaliknya, tenaga tertinggi dengan bahan bakar LPG dicapai pada 5.464 rpm. Penurunan kinerja mesin saat menggunakan bahan bakar LPG dapat disebabkan oleh variasi karakteristik pengapian. Dengan menyesuaikan waktu pengapian, kinerja mesin bertenaga LPG dapat ditingkatkan. Pengaturan pengapian yang tepat dapat mengoptimalkan proses pembakaran, sehingga meningkatkan efisiensi mesin dan kinerja keseluruhan saat menggunakan LPG.

DAFTAR REFERENSI

- Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). SAGE Publications.
- Heywood, J. B. (2018). *Internal combustion engine fundamentals*. McGraw-Hill Education.
- International Energy Agency. (2022). *World energy outlook 2022*. IEA. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>
- Liu, Y., Wang, H., & Zhang, X. (2019). Performance and emission characteristics of alternative fuels in spark ignition engines. *Energy Conversion and Management*, 195, 123–134.
- Ogden, J. M., Williams, R. H., & Larson, E. D. (2011). Transportation energy analysis and sustainable systems. *Energy Policy*, 39(10), 5655–5665.
- Pulkcrabek, W. W. (2015). *Engineering fundamentals of the internal combustion engine* (3rd ed.). Pearson.
- Sekaran, U., & Bougie, R. (2016). *Research methods for business: A skill-building approach* (7th ed.). Wiley.
- Stone, R. (2012). *Introduction to internal combustion engines* (4th ed.). Palgrave Macmillan.
- Turns, S. R. (2012). *An introduction to combustion: Concepts and applications* (3rd ed.). McGraw-Hill Education.
- Wang, H., Li, J., & Zhao, Y. (2020). Emission characteristics of LPG-fueled spark ignition engines. *Fuel*, 268, 117–123.