



EFFECT OF GASOLINE RON 92 AND ETHANOL MIXTURE ON ENGINE PERFORMANCE AND EMISSIONS

Mohammad Fadhil Adinugroho^{1*}, Tatang Permana², Ridwan Adam Muhamad Noor³

Universitas Pendidikan Indonesia, Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri
Jl. Dr. Setiabudhi No. 229 Bandung 40154

Correspondent e-mail: mohammad.fadhil.adinugroho@upi.edu*

ABSTRACT/ABSTRAK

This study aims to examine the effect of varying the ratio of RON 92 petrol and ethanol blends on engine performance and exhaust emissions in a 12K00 type engine. The research method involved a dynamometer test to measure power, torque and air fuel ratio (AFR) and a gas analyser to analyse exhaust emissions (CO, HC, NO_x and CO₂). The population of the study was a 12K00 type engine, with the samples being various blend ratios of RON 92 petrol and ethanol: 100:0, 90:10, 85:15, 80:20, and 75:25. The results showed that increasing the ethanol content of the fuel blend significantly reduced CO and HC emissions, with optimal ratios found at 85:15 and 80:20 blends for the best performance and lowest emissions. A reduction in CO₂ emissions was seen at higher ethanol ratios, despite an initial increase at low blend ratios. This study concludes that the use of ethanol as a petrol blend has a positive impact on engine performance and reduces exhaust emissions, making it a more environmentally friendly fuel solution.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi rasio campuran bensin RON 92 dan etanol terhadap performa *engine* dan emisi gas buang pada *engine* tipe 12K00. Metode penelitian melibatkan uji dynamometer untuk mengukur daya, torsi, dan *air fuel ratio* (AFR) serta *gas analyzer* untuk menganalisis emisi gas buang (CO, HC, NO_x, dan CO₂). Populasi penelitian adalah *engine* tipe 12K00, dengan sampel berupa berbagai rasio campuran bensin RON 92 dan etanol: 100:0, 90:10, 85:15, 80:20, dan 75:25. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kadar etanol pada campuran bahan bakar secara signifikan menurunkan emisi CO dan HC, dengan rasio optimal ditemukan pada campuran 85:15 dan 80:20 untuk performa terbaik dan emisi terendah. Penurunan emisi CO₂ terlihat pada rasio etanol yang lebih tinggi, meskipun awalnya terjadi peningkatan pada rasio campuran rendah. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan etanol sebagai campuran bensin memberikan dampak positif terhadap performa *engine* dan mengurangi emisi gas buang, sehingga dapat menjadi solusi bahan bakar yang lebih ramah lingkungan.

ARTICLE INFO

Article History:

Submitted/Received
03 Mar 2025

First Revised
25 Apr 2025

Accepted
16 May 2025

Online Date
18 May 2025

Publication Date
01 Jun 2025

Keywords:

Gasoline RON 92; Ethanol; Engine performance; Exhaust emission; Air fuel ratio (AFR)

Kata kunci:

Bensin RON 92; Etanol; Performa mesin; Emisi Gas Buang; Air Fuel Ratio (AFR)

1. PENDAHULUAN

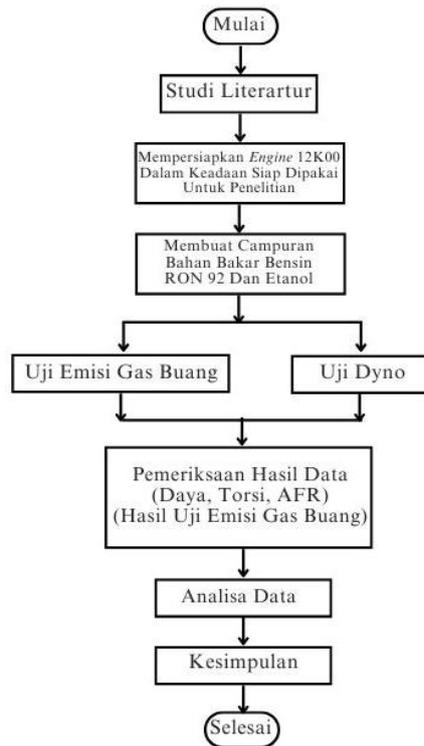
Isu lingkungan menjadi perhatian utama akibat dampak penggunaan bahan bakar fosil. Penggunaan bensin sebagai bahan bakar utama kendaraan bermotor telah menyumbang emisi gas buang yang berkontribusi terhadap pemanasan global dan polusi udara. Salah satu solusi yang mulai diterapkan adalah penggunaan bahan bakar campuran bensin dan etanol. Upaya ini sejalan dengan tren global menuju penggunaan energi terbarukan yang lebih bersih dan berkelanjutan. Etanol, sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan, memiliki potensi untuk meningkatkan angka oktan bensin, memperbaiki *engine performance*, dan mengurangi emisi gas buang berbahaya seperti Karbon Monoksida (CO) dan Hidrokarbon (HC).

Penelitian ini berfokus pada *engine* tipe 12K00, yang menggunakan bahan bakar campuran bensin RON 92 dan etanol dengan berbagai rasio. Pengaruh campuran tersebut terhadap *engine performance*, seperti daya, torsi, dan *air fuel ratio* (AFR), serta emisi gas buang, menjadi fokus utama penelitian. Variasi campuran yang diuji meliputi rasio bensin RON 92 dan etanol sebesar 100:0, 90:10, 85:15, 80:20, dan 75:25. Pengujian dilakukan untuk mengetahui sejauh mana perubahan rasio etanol memengaruhi kinerja dan tingkat emisi dari *engine* tersebut.

Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan etanol pada bensin dapat menurunkan emisi gas buang sekaligus meningkatkan *engine performance* pada rentang putaran *engine* (RPM) tertentu. Namun, rasio optimal antara bensin RON 92 dan etanol yang memberikan performa terbaik dan emisi terendah untuk *engine* tipe 12K00 masih perlu diteliti lebih lanjut. Beberapa studi terdahulu juga menunjukkan bahwa efek pencampuran etanol dapat berbeda tergantung pada karakteristik mesin dan sistem bahan bakar yang digunakan. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan bahan bakar ramah lingkungan yang sesuai untuk kebutuhan kendaraan bermotor di Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

Langkah penelitian ini digambarkan dalam bentuk diagram alir penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Penelitian

Alur penelitian yang dilakukan digambarkan pada Gambar 1 ini dimulai dengan studi literatur yang bertujuan untuk mengkaji teori-teori dan temuan terdahulu terkait penggunaan campuran bensin dan etanol terhadap *engine performance* dan emisi gas buang. Setelah itu, dilakukan persiapan terhadap *engine* tipe 12K00 agar berada dalam kondisi optimal dan siap digunakan untuk proses pengujian. Tahap selanjutnya adalah pembuatan campuran bahan bakar bensin RON 92 dengan etanol dalam berbagai rasio, yang kemudian digunakan pada dua jenis pengujian, yaitu uji emisi gas buang dan uji dyno. Hasil dari kedua pengujian tersebut, meliputi data daya, torsi, *Air Fuel Ratio* (AFR), serta kadar emisi gas buang (CO, HC, CO₂, dan O₂), kemudian diperiksa dan dianalisis untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai pengaruh variasi rasio campuran bahan bakar terhadap karakteristik kerja *engine*. Tahapan akhir dari penelitian ini adalah penarikan kesimpulan berdasarkan hasil analisis data, yang bertujuan untuk menentukan rasio campuran bahan bakar yang paling optimal dalam meningkatkan performa mesin sekaligus menurunkan emisi gas buang.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk menguji pengaruh variasi rasio campuran bensin RON 92 dan etanol terhadap *engine performance* serta emisi gas buang pada *engine* tipe 12K00. Objek penelitian adalah *engine* tipe 12K00 dapat dilihat pada tabel 1 mengenai spesifikasi *engine* tipe 12K000 yang digunakan tanpa modifikasi dengan bahan bakar campuran yang bervariasi. Variasi campuran meliputi rasio bensin dan etanol sebesar 100:0, 90:10, 85:15, 80:20, dan 75:25. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi bagaimana

tiap komposisi bahan bakar memengaruhi efisiensi pembakaran dan kualitas emisi gas buang yang dihasilkan.

Tabel 1. Spesifikasi *Engine* 12K00

Nama	Keterangan
Jenis <i>Engine</i>	: 12K00
Sistem Katup	: (DOHC 4 <i>Valve</i>)
Jumlah Silinder	: 1 Silinder
Kapasitas silinder	: 147,3 cc
Rasio Kompresi	: 11,5 : 1
Tenaga Maksimum	: 18,22 HP @ 10.000 RPM
Torsi Maksimum	: 10,18 FtLb @ 8.500 RPM
Sistem Bahan Bakar	: <i>Fuel Injection</i>
Sistem Starter	: 1 – <i>Push Electric Starter</i>
Standar Emisi Gas Buang	: <i>Euro 3</i>
Transmisi	: 6 Percepatan

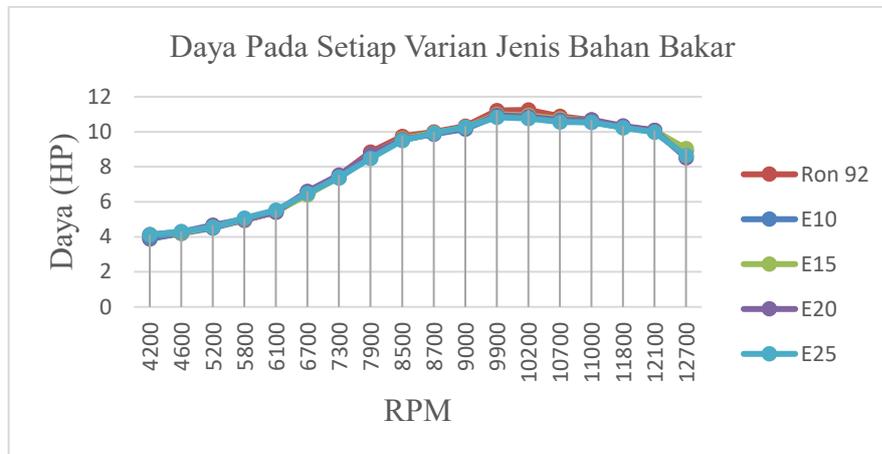
Instrumen penelitian melibatkan penggunaan chassis dynamometer dan *gas analyzer*. Dynamometer digunakan untuk mengukur parameter *engine performance*, termasuk daya, torsi, dan *Air Fuel Ratio* (AFR). Sementara itu, *gas analyzer* digunakan untuk menganalisis emisi gas buang, meliputi karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), karbon dioksida (CO₂) dan oksigen (O₂). Kedua instrumen ini berperan penting dalam memperoleh data kuantitatif yang akurat guna mendukung analisis performa dan tingkat emisi dari setiap varian campuran bahan bakar.

Prosedur penelitian dimulai dengan persiapan alat dan bahan, termasuk pemeriksaan kondisi *engine*, kalibrasi instrumen, serta penyediaan bahan bakar dengan rasio campuran yang ditentukan. Pengujian performa dilakukan menggunakan dynamometer untuk memperoleh data daya, torsi, dan AFR pada berbagai rentang RPM. Pengujian emisi menggunakan *gas analyzer* untuk mengukur konsentrasi gas buang pada masing-masing variasi bahan bakar. Seluruh tahapan pengujian dilakukan secara sistematis dan berulang untuk memastikan konsistensi serta validitas data yang diperoleh.

Data yang diperoleh dari hasil pengujian dianalisis secara deskriptif. Analisis dilakukan untuk menentukan pengaruh rasio campuran bahan bakar terhadap *engine performance* dan emisi gas buang. Hasil penelitian disajikan dalam bentuk grafik untuk mempermudah interpretasi serta memberikan gambaran yang jelas terkait pengaruh variasi bahan bakar terhadap *engine* tipe 12K00. Selain itu, pendekatan deskriptif ini memungkinkan identifikasi tren dan pola yang muncul dari setiap variasi campuran bahan bakar yang diuji.

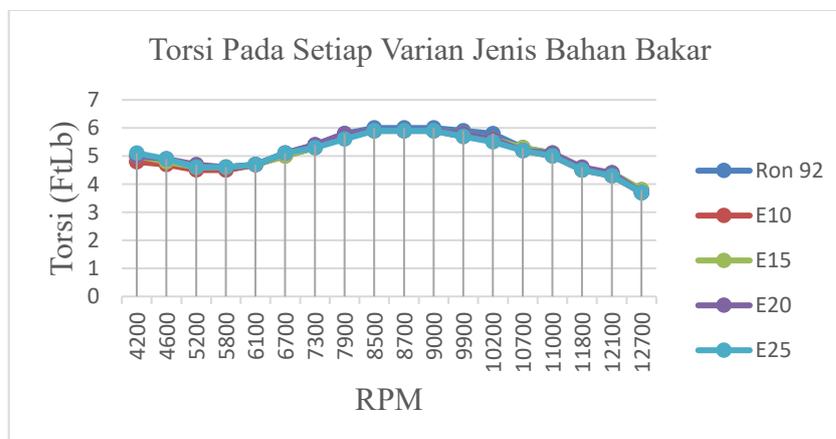
3. HASIL PENELITIAN

Data mengenai pengaruh jenis campuran bahan bakar terhadap daya *engine* dapat dilihat pada Gambar 2.



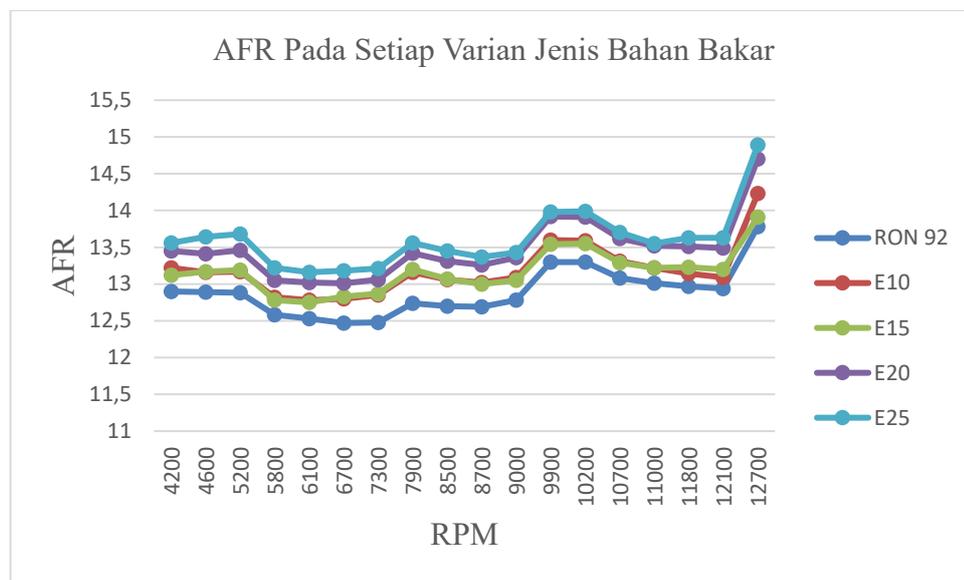
Gambar 2. Grafik Daya Pada Setiap Varian Jenis Bahan Bakar

Gambar 2 menunjukkan grafik daya (*Horse Power/HP*) *engine* pada berbagai varian jenis bahan bakar terhadap putaran *engine* (RPM). Dari grafik tersebut terlihat bahwa seluruh jenis bahan bakar, baik RON 92 maupun campuran etanol E10 hingga E25, menunjukkan peningkatan daya seiring kenaikan RPM hingga mencapai puncaknya pada sekitar 9500–9900 RPM. Setelah mencapai titik maksimum, daya *engine* cenderung menurun pada RPM tinggi untuk semua jenis bahan bakar. Daya tertinggi dicapai oleh bahan bakar RON 92, sementara campuran etanol seperti E15 dan E20 memberikan performa yang cukup kompetitif meskipun sedikit lebih rendah, yang mengindikasikan bahwa penggunaan etanol masih dapat menghasilkan daya yang mendekati bahan bakar murni. Selanjutnya, Gambar 3 menyajikan informasi mengenai perubahan torsi mesin berdasarkan jenis bahan bakar yang digunakan.



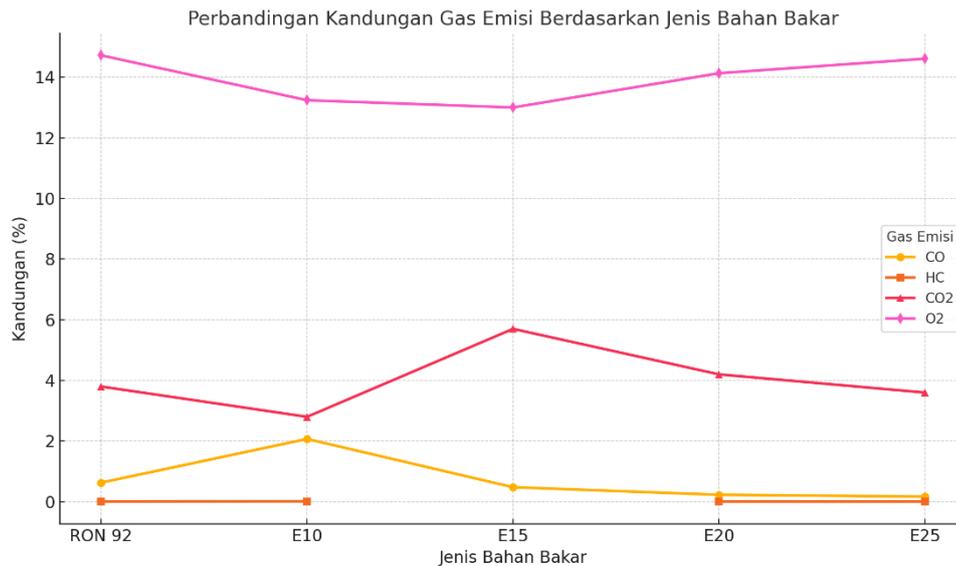
Gambar 3. Grafik Torsi Pada Setiap Varian Jenis Bahan Bakar

Gambar tersebut menunjukkan bahwa torsi *engine* juga mengalami pola peningkatan seiring naiknya RPM, dengan puncak torsi tercapai di kisaran 8500–9000 RPM sebelum akhirnya menurun kembali. Pada kondisi puncak, campuran E20 dan E25 cenderung menghasilkan torsi sedikit lebih tinggi dibandingkan jenis bahan bakar lainnya. Namun, pada RPM rendah hingga menengah, perbedaan torsi antar varian bahan bakar tidak terlalu signifikan, menunjukkan bahwa pengaruh etanol lebih dominan pada putaran tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa campuran etanol tertentu mampu meningkatkan efisiensi pembakaran pada beban tinggi dan putaran *engine* yang tinggi. Berikutnya, data mengenai *air fuel ratio* (AFR) untuk berbagai jenis bahan bakar dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik AFR Pada Setiap Varian Jenis Bahan Bakar

Gambar 4 menunjukkan grafik nilai *Air Fuel Ratio* (AFR) terhadap putaran *engine* (RPM) pada penggunaan bahan bakar RON 92 dan campuran etanol E10, E15, E20, dan E25. Secara umum, seluruh varian bahan bakar menunjukkan nilai AFR yang relatif stabil di kisaran RPM rendah hingga menengah, yaitu antara 12,5 hingga 14. Peningkatan nilai AFR mulai terlihat pada RPM tinggi, khususnya setelah 11000 RPM, di mana campuran E25 menunjukkan lonjakan paling signifikan. Kenaikan AFR pada putaran tinggi ini mengindikasikan bahwa campuran udara dalam ruang bakar menjadi lebih banyak dibandingkan bahan bakar, atau dengan kata lain *engine* cenderung bekerja dalam kondisi lebih "lean" (campuran miskin) pada RPM tinggi. Selanjutnya, data mengenai kandungan gas emisi dari masing-masing jenis bahan bakar dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Kandungan Gas Emisi Berdasarkan Jenis Bahan Bakar

Gambar 5 menunjukkan perbandingan kadar emisi gas CO, HC, CO₂, dan O₂ pada bahan bakar RON 92 serta campuran etanol E10 hingga E25. Terlihat bahwa emisi CO menurun drastis seiring peningkatan kadar etanol, yang menunjukkan proses pembakaran menjadi lebih sempurna. Emisi HC sempat meningkat pada E15 namun kembali menurun pada E20 dan E25, sedangkan kandungan CO₂ dan O₂ menunjukkan pola yang relatif fluktuatif, mencerminkan dinamika efisiensi pembakaran yang dipengaruhi oleh kandungan oksigen dalam etanol.

Kandungan karbon dioksida (CO₂) menunjukkan pola naik-turun, dengan puncak tertinggi pada E15. Ini menunjukkan bahwa pembakaran bahan bakar pada E15 lebih sempurna, menghasilkan emisi CO₂ yang lebih tinggi. Namun, setelah E15, kandungan CO₂ menurun, kemungkinan akibat penurunan efisiensi pembakaran pada campuran bahan bakar dengan etanol yang lebih tinggi. Kandungan oksigen (O₂) relatif stabil di semua varian bahan bakar, dengan sedikit penurunan pada E10 dan E15, kemudian meningkat kembali pada E20 dan E25. Kandungan oksigen ini dipengaruhi oleh molekul oksigen dalam etanol, yang semakin tinggi proporsinya pada bahan bakar dengan kandungan etanol yang lebih besar. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa campuran bahan bakar etanol seperti E15 dapat memberikan kinerja pembakaran yang lebih efisien, ditandai dengan rendahnya kandungan CO dan HC serta tingginya CO₂. Namun, proporsi etanol yang terlalu tinggi, seperti pada E20 dan E25, cenderung menurunkan efisiensi pembakaran. Dengan demikian, campuran bahan bakar etanol seperti E15 dapat menjadi pilihan yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan bensin murni (RON 92).

4. PEMBAHASAN

Penggunaan bahan bakar campuran RON 92 dan etanol memiliki peran signifikan dalam meningkatkan efisiensi pembakaran *engine*, mengurangi emisi gas buang, dan mengoptimalkan performa kendaraan. Salah satu sumber energi terbarukan yang dapat digunakan adalah etanol (Khairi, *et. Al.*, 2013), mampu meningkatkan angka oktan bensin, memberikan kontribusi pada pembakaran yang lebih baik, dan mendukung performa *engine* dengan rasio kompresi tinggi (Koc, *et. al.*, 2009). Hal ini sejalan dengan temuan Calvin, *et. al* (2022), yang menyatakan bahwa pencampuran etanol dapat mempertahankan karakteristik fisika-kimia bahan bakar, seperti titik didih awal, sekaligus meningkatkan angka oktan pada bensin RON 92. Dalam penelitian yang dilakukan Rodriguez, *et. Al* (2020) menyatakan oktan yang lebih tinggi pada bahan bakar bensin meningkatkan performa *engine* dan penghematan bahan bakar, serta mengurangi emisi gas rumah kaca.

Engine 12K00 yang digunakan dalam penelitian ini, dengan sistem bahan bakar injeksi, menunjukkan keunggulan dalam mengontrol suplai bahan bakar dan udara secara akurat, memungkinkan pembakaran yang lebih optimal (Pamungkas, 2017). Karakteristik *engine overbore* ini, dengan diameter piston lebih besar daripada panjang langkahnya, memberikan kemampuan untuk menghasilkan daya dan torsi yang optimal. Bensin dengan angka oktan yang lebih tinggi dapat memungkinkan efisiensi termal yang lebih besar pada *engine* melalui rasio kompresi yang lebih tinggi (Anderson, *et. al.*, 2012), sehingga kombinasi antara desain *engine* dan bahan bakar beroktan tinggi mampu meningkatkan performa sekaligus menurunkan risiko pembakaran tidak sempurna. Penggunaan bahan bakar dengan angka oktan yang tepat, seperti RON 92, pada *engine* dengan sistem *spark ignition* juga mampu mempertahankan performa yang optimal serta efisiensi konsumsi bahan bakar yang lebih baik dibandingkan dengan bahan bakar beroktan lebih rendah (Prihatno dan Hendrawan, 2022). Selain itu, motor dengan perbandingan kompresi yang lebih tinggi memerlukan bahan bakar beroktan tinggi untuk mencegah detonasi dan menghasilkan putaran *engine* yang lebih halus (Muku dan Sukadana, 2009).

Air Fuel Ratio (AFR), yang idealnya berada pada nilai stoikiometri 14,7 (Zhai, *et. Al.*, 2011), menjadi indikator penting dalam mengoptimalkan efisiensi bahan bakar dan mengurangi emisi gas buang. Dalam penelitian ini, penggunaan campuran bensin RON 92 dan etanol memberikan pengaruh signifikan terhadap stabilitas AFR dan kualitas pembakaran. Hal ini mendukung temuan Hou, *et. al* (2006), yang menyatakan bahwa AFR memengaruhi daya keluaran *engine* serta efisiensi termal. Stabilitas AFR sangat penting untuk memastikan pembakaran yang efisien dan emisi yang rendah. Studi oleh He, *et. al*

(2003) menunjukkan bahwa campuran etanol-bensin dapat mempertahankan AFR yang stabil, yang berkontribusi pada pembakaran yang lebih efisien. Penelitian oleh Al-Hasan (2003) juga menemukan bahwa penggunaan etanol dalam bensin meningkatkan stabilitas pembakaran dan mengurangi variasi tekanan silinder. Selain itu, studi oleh Bayraktar (2005) mengindikasikan bahwa campuran etanol-bensin menghasilkan pembakaran yang lebih lengkap, mengurangi emisi CO dan HC.

Penambahan etanol ke dalam bensin secara konsisten menurunkan emisi karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) (Sulistyo, *et. al.*, 2009). Kandungan oksigen dalam etanol mempercepat proses oksidasi partikel pembakaran, sehingga mengurangi jelaga dan prekursor jelaga (Lemaire, *et. al.*, 2010). Selain itu, penelitian Rozikin dan Firdaus (2021) mencatat bahwa pencampuran 20% etanol secara signifikan mengurangi emisi CO, memberikan solusi nyata terhadap permasalahan polusi udara. Etanol juga dapat meningkatkan performa *engine*, di mana campuran bensin dan etanol tidak hanya menurunkan emisi berbahaya tetapi juga memberikan peningkatan kinerja *engine* secara keseluruhan (Mohammed, *et. al.*, 2021).

Penelitian ini juga menguatkan kesimpulan dari Badra, *et. al* (2017), yang menunjukkan bahwa peningkatan Research Octane Number (RON) akibat pencampuran etanol bersifat non-linear, bergantung pada komposisi bensin dasar dan proporsi etanol yang digunakan. Dengan mempertimbangkan standar emisi yang ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Romahadi, *et. Al.*, 2023), penggunaan campuran bensin RON 92 dan etanol dapat memenuhi regulasi sekaligus mendukung keberlanjutan lingkungan. Selain itu, pencampuran ini dinilai sebagai solusi jangka menengah yang realistis menuju transisi energi bersih tanpa perlu perubahan besar pada teknologi *engine* yang ada. Oleh karena itu, optimalisasi rasio campuran menjadi krusial agar kinerja mesin tetap maksimal dengan emisi yang seminimal mungkin.

Tantangan utama dalam penerapan etanol sebagai bahan bakar adalah keterbatasan pasokan dan sumber daya produksi. Produksi etanol skala besar membutuhkan lahan yang luas serta sumber daya yang signifikan. Oleh karena itu, strategi produksi yang berkelanjutan harus diimplementasikan guna memastikan ketersediaan bahan bakar campuran ini tanpa mengorbankan keseimbangan ekologis. Ketergantungan Indonesia yang tinggi terhadap bahan bakar fosil dan kurangnya penyangga minyak strategis juga menghambat transisi menuju energi terbarukan pada tahun 2050, menjadikan diversifikasi bahan bakar seperti etanol sebagai langkah penting dalam perencanaan energi nasional (Rahman, *et. Al.*, 2021).

Penelitian ini menegaskan bahwa pencampuran bensin RON 92 dengan etanol merupakan solusi potensial untuk mengurangi emisi gas buang dan ketergantungan pada bahan bakar fosil. Penemuan ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan teknologi bahan bakar ramah lingkungan, dengan implikasi operasional yang relevan bagi industri otomotif dan energi terbarukan di masa depan. Selain itu, pemanfaatan etanol sebagai aditif bahan bakar dapat meningkatkan efisiensi pembakaran serta mendukung pencapaian target dekarbonisasi sektor transportasi. Oleh karena itu, hasil penelitian ini layak dijadikan sebagai rujukan dalam perumusan kebijakan energi berkelanjutan di Indonesia.

5. KESIMPULAN

Penggunaan bahan bakar bensin RON 92 yang dicampur dengan etanol (E10, E15, E20, dan E25) menunjukkan potensi besar untuk meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Penambahan etanol berkontribusi pada pengurangan emisi polutan berbahaya seperti karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC), yang berdampak langsung pada peningkatan kualitas udara. Selain itu, etanol memiliki angka oktan yang lebih tinggi, sehingga dapat meningkatkan ketahanan terhadap knocking, memungkinkan rasio kompresi yang lebih tinggi, dan sedikit meningkatkan daya serta torsi pada beberapa kondisi operasi *engine*. Dengan demikian, penggunaan etanol sebagai bahan campuran bensin merupakan langkah strategis menuju pemanfaatan bahan bakar yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Hasil kajian juga menunjukkan bahwa pencampuran etanol hingga konsentrasi tertentu, seperti E15 dan E20, memberikan manfaat optimal bagi lingkungan tanpa mengorbankan performa *engine*. *engine* modern dengan sistem manajemen bahan bakar yang canggih mampu menjaga stabilitas *air fuel ratio* (AFR) pada nilai stoikiometrik, terlepas dari variasi kandungan etanol. Dengan demikian, bahan bakar campuran etanol memiliki potensi besar sebagai alternatif bahan bakar yang lebih ramah lingkungan untuk *engine* seperti tipe 12K00. Selain itu, penggunaan etanol dalam campuran bahan bakar juga dapat mengurangi emisi gas buang berbahaya, seperti karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC), yang berdampak positif terhadap kualitas udara.

Perlu diperhatikan bahwa peningkatan konsentrasi etanol dalam bahan bakar harus diimbangi dengan perencanaan yang matang dalam produksi dan distribusi guna menjaga keberlanjutan sumber daya. Dengan potensi manfaat yang ditawarkan, bahan bakar berbasis etanol menjadi langkah strategis dalam mengurangi emisi gas buang sekaligus mendukung

transisi menuju penggunaan energi yang lebih bersih dan berkelanjutan. Namun, adaptasi teknologi kendaraan dan infrastruktur pendukung, seperti tangki penyimpanan dan sistem distribusi, juga perlu diperhatikan agar implementasi bahan bakar etanol dapat berjalan efektif. Kerja sama antara pemerintah, industri otomotif, dan sektor energi menjadi kunci utama untuk mendorong adopsi bahan bakar etanol secara luas.

6. REFERENSI

- Al-Hasan, M. (2003). *Effect Of Ethanol–Unleaded Gasoline Blends On Engine Performance and Exhaust Emission*. *Energy Conversion And Management*, 44(9), 1547–1561.
- Anderson, J., Diccico, D., Ginder, J., Kramer, U., Leone, T., Raney-Pablo, H., & Wallington, T. (2012). *High Octane Number Ethanol–Gasoline Blends: Quantifying The Potential Benefits In The United States*. *Fuel*, 97, 585-594.
- Badra, J., AlRamadan, A., & Sarathy, S. (2017). *Optimization of The Octane Response of Gasoline/Ethanol Blends*. *Applied Energy*, 203, 778–793.
- Bayraktar, H. (2005). *Experimental And Theoretical Investigation of Using Gasoline–Ethanol Blends In Spark-Ignition Engines*. *Renewable Energy*, 30(11), 1733–1747.
- Calvin, Y., Hariyanto, P., Ursman, A., Masurkur, M., Wibowo, C., M., Anggarani, R., Fathurrahman, N., & Surgiarto, B. (2022). *Volatility and Physicochemical Properties of Gasoline-Ethanol Blends With Gasoline RON-based 88, 90, and 92*. *Fuel*, 307, 121850.
- He, B. Q., Wang, J. X., Hao, J. M., Yan, X. G., & Xiao, J. H. (2003). *A Study On Emission Characteristics of An EFI Engine with Ethanol Blended Gasoline Fuels*. *Atmospheric Environment*, 37(7), 949–957.
- Hour, Z., Sern, Q., & Wur, Y. (2006). *Air-Fuel Ratio Identification of Gasoline Engine During Transient Conditions Based On Elman Neural Networks*. *Sixth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications*, 1, 32–36.
- Khairi, R., Maksum, H., & Martias, M. (2013). Pengaruh Penggunaan Campuran Bahan Bakar Premium-etanol terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Emisi Gas Buang pada Motor Bensin Empat Langkah. *Automotive Engineering Education Journals*, 2(2).
- Koc, M., Serkmern, Y., Topgül, T., & Yücersur, H. (2009). *The Effects Of Ethanol–Unleaded Gasoline Blends On Engine Performance And Exhaust Emissions In A Spark-Ignition Engine*. *Renewable Energy*, 34, 2101–2106.
- Lermairer, R., Therssen, E., & Desgroux, P. (2010). *Effect Of Ethanol Addition In Gasoline And Gasoline–Surrogate On Soot Formation In Turbulent Spray Flames*. *Fuel*, 89, 3952–3959.
- Mohammed, M., Balla, H., Al-Dulaimi, Z., Kareem, Z., & Al-Zuhairy, M. (2021). *Effect Of Ethanol-Gasoline Blends On SI Engine Performance And Emissions*. *Case Studies in Thermal Engineering*, 25, 100891.
- Muku, I. D. M. K., & Sukadana, I. G. K. (2009). Pengaruh Rasio Kompresi Terhadap Unjuk Kerja Mesin Empat Langkah Menggunakan Arak Bali Sebagai Bahan Bakar. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra M*, April, 3, 26-32.
- Pamungkas, S. (2017). Analisa Sistem Bahan Bakar Injeksi Pada Mesin Bensin Menggunakan *Scan Tools* dan *Gas Analyzer*. *Jurnal Teknik Mesin Mercuri Buana*, 3(3), 38–45.

- Prihatno, A., & Hendrawan, A. (2022). *Performance of Spark-Ignition Engine at Various Fuel Octane Numbers. Applied Research and Smart Technology (ARSTech)*. 2(1), 34–40.
- Rahman, A., Dargusch, P., & Wadley, D. (2021). *The Political Economy of Oil Supply in Indonesia and The Implications for Renewable Energy Development. Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 144, 111057.
- Rodríguez-Fernández, J., Ramos, Á., Barba, J., Cárdenas, D., & Delgado, J. (2020). *Improving Fuel Economy and Engine Performance through Gasoline Fuel Octane Rating. Energies*, 13, 3499.
- Romahadi, D., Surprihatiningsih, W., Pramono, Y., & Xiong, H. (2023). *Development of a Smart System for Gasoline Car Emissions Diagnosis Using Bayesian Network. SINERGI*. 27(2), 211-218.
- Rozikin, N. A., & Firdaus, R. (2021). *Effect of Additional Variations of Ethanol Fuel on Exhaust Gas Emissions on Yamaha 125cc Motorcycles. Academia Open*, 4, 10–21070.
- Surlistyo, B., Sentanurhady, J., & Susanto, A. (2009). *Pemanfaatan Etanol Sebagai Octane Improver Bahan Bakar Bensin pada Sistem Bahan Bakar Injeksi Sepeda Motor 4 Langkah 1 Silinder. Jurnal Teknik*, 2, 1–2.
- Zhai, Y. J., Yu, D. L., Tafreshi, R., & Al-Hamidi, Y. (2011). *Fast Predictive Control for Air-Fuel Ratio of SI Engines Using a Nonlinear Internal Model. International Journal Of Engineering, Science and Technology*, 3(6), 1–17.