

KARAKTERISTIK EMISI BAHAN BAKAR DENGAN ADITIF METANOL-BUTANOL SEBAGAI SUMBER BAHAN BAKAR ALTERNATIF DAN BERKELANJUTAN

Navik Kholili^{1,a}, Gatot Setyono^{2,b}, Dwi Khusna^{3,c} dan Muharom Muharom^{4,d}

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Wijaya Putra^{1,2,3,4}

Jl. Raya Benowo No. 1-3 Surabaya, Jawa Timur, Indonesia^{1,2,3,4}

[a navikkholili@uwp.ac.id](mailto:navikkholili@uwp.ac.id)

Abstrak.

Krisis energi skala dunia saat ini karena menipisnya cadangan bahan bakar fosil. Selain itu, peningkatan pesat dalam penggunaan bahan bakar fosil mendukung penipisan bahan bakar. Selain itu, meningkatnya harga bahan bakar fosil, emisi gas rumah kaca, serta keamanan dan keragaman energi mendorong untuk mengalihkan untuk mencari sumber bahan bakar alternatif. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan memvariasikan aditif bahan bakar metanol-butanol (5:4, 5:8, dan 5:12)v/v dengan RON-90. Mesin yang digunakan dengan jenis otomatis transmisi kapasitas 109,5 cc. sedangkan alat uji untuk deteksi emisi menggunakan Gas Analyzer 4 Gas Gasoline EPSG4. Variasi MB3 mengalami penurunan sebesar 6% dibandingkan dengan bahan bakar komersial. Penurunan CO sebesar 7% terjadi pada putaran mesin 6000 rpm dengan nilai 1,17%. HC mengalami penurunan 8 % terjadi pada putaran mesin 9000 rpm dengan nilai 276ppm. Penurunan NOx sebesar 8 % terjadi pada putaran mesin 9000 rpm dengan nilai 421ppm. Selanjutnya untuk CO₂ mengalami peningkatan terjadi pada putaran mesin 9000 rpm dengan nilai 11,63%. Hal tersebut menunjukkan bahwa penambahan aditif methanol dan butanol sangat efektif menurunkan emisi mesin SI.

Kata kunci: emisi, aditif, metanol-butanol.

Abstract.

The current global energy crisis is due to the depletion of fossil fuel reserves. In addition, the rapid increase in the use of fossil fuels supports fuel depletion. In addition, the increasing price of fossil fuels, greenhouse gas emissions, and energy security and diversity encourage a shift to find alternative fuel sources. This study uses an experimental method by varying the methanol-butanol fuel additive (5:4, 5:8, and 5:12) v/v with RON-90. The engine is an automatic transmission type with a capacity of 109.5 cc. The test tool for emission detection uses the gas analyzer four gas gasoline EPSG4. The MB3 variation experienced a decrease of 6% compared to commercial fuels. A decrease in CO of 7% occurred at an engine speed of 6000 rpm with a value of 1.17%. HC experienced an 8% decrease at an engine speed of 9000 rpm with a value of 276ppm. A reduction in NOx of 8% occurred at an engine speed of 9000 rpm with a value of 421ppm. Furthermore, CO₂ experienced an increase at 9000 rpm engine speed with a value of 11.63%. It shows that adding methanol and butanol additives reduces SI engine emissions.

Keywords: emissions, additives, methanol-butanol.

Pendahuluan.

Polusi udara, terutama di kota-kota besar di seluruh dunia, dikaitkan dengan masalah serius baik bagi kesehatan manusia maupun lingkungan. Selama beberapa tahun terakhir, telah terjadi

permintaan yang sangat intensif untuk bahan bakar alternatif bagi bahan bakar fosil, karena ketika bahan bakar tersebut dibakar, zat-zat yang mencemari lingkungan akan terlepas. Selain asap dari bahan bakar yang dibakar untuk pemanas dan emisi berbahaya yang dilepaskan oleh instalasi industri, emisi gas buang kendaraan bermotor menciptakan sebagian besar polusi bahan bakar fosil [1]. Bahan bakar alternatif, yang dikenal sebagai bahan bakar non-konvensional dan canggih, berasal dari sumber daya selain bahan bakar fosil. Karena bahan bakar alkohol memiliki beberapa sifat fisik dan propelan yang mirip dengan bensin, bahan bakar alkohol dapat dianggap sebagai salah satu bahan bakar alternatif. Bahan bakar alkohol atau bahan bakar campuran alkohol dapat digunakan dalam mesin bensin untuk mengurangi emisi gas buang. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model mesin bensin untuk memprediksi pengaruh berbagai jenis bahan bakar campuran alkohol terhadap kinerja dan emisi [2].

Butanol merupakan bahan bakar alkohol yang menjanjikan dan merupakan kandidat lain sebagai bahan bakar alternatif. Butanol dapat digunakan dengan bensin tanpa modifikasi mesin atau sistem bahan bakar. Ada dua cara untuk memproduksi butanol: Satu cara adalah dengan menggunakan bahan bakar fosil, dan butanol ini dikenal sebagai petrobutanol. Cara lain untuk memproduksinya adalah dengan menggunakan biomassa, dan butanol ini dikenal sebagai biobutanol. Sifat kimia dari kedua butanol tersebut sama [3]. Dibandingkan dengan etanol dan metanol, butanol kurang korosif terhadap logam dan karet karena kurang higroskopis. Butanol juga kurang rentan terhadap kontaminasi air dan dengan demikian dapat diangkut dengan lebih mudah daripada bensin. Dibandingkan dengan etanol dan metanol, sifat pembakaran butanol lebih dekat dengan bensin. Butanol memiliki sifat start dingin yang lebih baik daripada etanol dan dapat terbakar pada rentang suhu yang lebih luas. Selain itu, butanol memiliki tekanan uap yang lebih rendah dan angka oktan yang cukup tinggi, mendekati angka oktan bensin. Dibandingkan dengan etanol dan metanol, angka oktan n-butanol lebih rendah tetapi mirip dengan bensin. Sifat anti ketukan butanol mirip dengan bensin karena angka oktannya mendekati bensin [4].

Sifat-sifat butanol yang disebutkan membuatnya lebih cocok daripada alkohol lainnya (etanol dan metanol) untuk dicampur dengan bensin. Dapat dilihat bahwa butanol memiliki kalor penguapan terendah, dibandingkan dengan etanol dan metanol [5]. Bahan bakar dengan kalor penguapan yang lebih tinggi cocok untuk mesin dengan sistem PFI (port fuel injection), karena menyebabkan temperatur pengisian masuk yang lebih rendah dan penguapan yang sempurna di port intake. Hal ini meningkatkan massa muatan dan densitas campuran yang mudah terbakar. Karena kecepatan laminar propagasi api butanol lebih tinggi daripada bensin, proses pembakaran selesai lebih awal, dan efisiensi kalor mesin meningkat [6]. Dibandingkan dengan etanol dan metanol, nilai kalor n-butanol lebih tinggi, yang cenderung tidak memengaruhi konsumsi bahan bakar, tetapi akan meningkatkan penghematan bahan bakar. Banyak penelitian telah dilakukan pada berbagai campuran alkohol metanol, etanol, butanol, dan bensin di berbagai mesin pengapian busi [7][8][9].

Metanol dapat diproduksi dari batu bara, biomassa, atau bahkan gas alam dengan biaya energi yang dapat diterima. Sifat kimia dan fisik metanol yang digunakan dalam mesin pembakaran internal menghasilkan emisi yang rendah [10]. Berkat sifatnya yang kurang reaktif daripada bensin, emisi penguapannya berkontribusi lebih sedikit terhadap pembentukan kabut asap. Metanol juga memiliki panas laten penguapan, yang menghasilkan suhu pembakaran yang lebih rendah, sehingga mengakibatkan penurunan pembentukan Nox [11]. Emisi yang dihasilkan oleh penguapan metanol selama pengangkutan, penyimpanan, pembuangan, dan penggunaan adalah setengah dari emisi yang dihasilkan oleh bensin, tetapi meningkat dengan penggunaan campuran bensin/metanol [12]. Karena nilai kalornya lebih rendah, metanol yang dibutuhkan hampir dua kali lebih banyak volumenya untuk mencapai daya yang setara dengan benzena, tetapi kehilangan penguapan metanol mungkin sekitar dua pertiga dari bensin. Selama pembakaran, hidrokarbon bahan bakar yang tidak terbakar (bahan bakar yang tidak terbakar) kurang reaktif karena merupakan metanol primer. Karena reaktivitas spesifik metanol yang lebih rendah, emisi metanol yang tidak terbakar dan metanol yang menguap lebih kecil kemungkinannya untuk membentuk kabut asap/ozon daripada emisi organik dengan bobot yang sama dari mesin bensin [13]. Karena metanol tidak mengandung sulfur, penggunaannya sebagai bahan bakar berkontribusi pada pengurangan sulfur dioksida (SO_2).

Penggunaan metanol juga akan membantu mengurangi hujan asam, karena emisi SO dan NO_x menyebabkan pengendapan asam. Pada efisiensi bahan bakar yang sama, emisi CO₂ yang dikeluarkan oleh kendaraan yang menggunakan metanol secara teoritis sekitar 94% dari emisi kendaraan sejenis yang menggunakan minyak bumi. Produksi metanol (yang diperoleh dari reformasi uap gas alam) melepaskan hampir setengah dari gas rumah kaca yang dilepaskan untuk memproduksi bensin. Ketika seluruh siklus bahan bakar dari sumber bahan bakar disertakan, metanol memiliki emisi gas rumah kaca yang sangat mirip dengan bensin. Mesin pengapian busi yang menggunakan metanol sebagai bahan bakar 15–20% lebih efisien daripada yang menggunakan bensin [14].

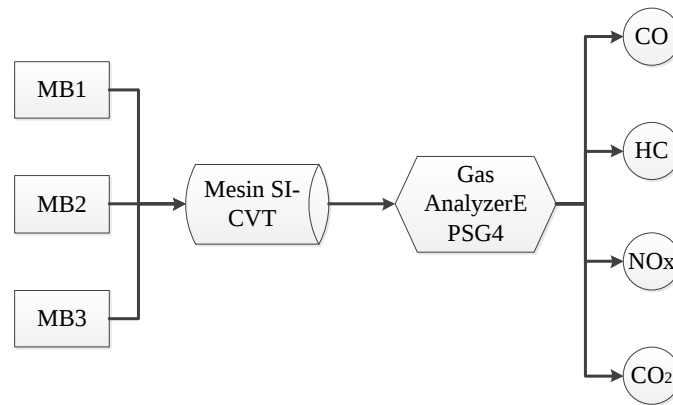
Dalam tinjauan pustaka, tidak ada cukup informasi tentang perbandingan campuran metanol dan butanol dengan bensin dan pengaruhnya terhadap emisi mesin pada mesin SI yang sama dan dalam kondisi yang sama. Perbandingan antara bahan bakar campuran dan bensin bersih dalam mesin pengapian busi penting untuk memahami jenis bahan bakar campuran mana yang lebih tepat untuk mengurangi emisi gas buang mesin SI. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan campuran metanol dan butanol dengan bensin dan pengaruhnya terhadap emisi mesin tanpa modifikasi pada mesin SI. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan memvariasikan aditif bahan bakar metanol-butanol (5:4, 5:8, dan 5:12)v/v dengan RON-90. Mesin yang digunakan dengan jenis otomatis transmisi kapasitas 109,5 cc. sedangkan alat uji untuk deteksi emisi menggunakan Gas Analyzer 4 Gas Gasoline EPSG4

Metode Penelitian.

Penelitian ini mengkaji tentang penambahan methanol dan butanol pada bensin standar yang ditunjukkan pada Tabel 1. Butanol merupakan bahan bakar yang optimal, memiliki kapasitas energi yang lebih kompetitif dan laju penyalaan yang rendah. Karakteristik butanol yang memiliki densitas laminar dan laju penyalaan yang lebih optimal dibandingkan bahan bakar lainnya sehingga butanol memiliki prospek sebagai energi alternatif. Pada penelitian ini, dilakukan pengujian tiga variasi campuran bahan bakar yaitu MB1 (Metanol 5%, butanol 4%v/v dan RON-90 91%v/v), MB2 (Metanol 5%, butanol 8%v/v dan RON-90 87%v/v), MB3 (Metanol 5%, butanol 12%v/v dan RON-90 83%v/v) dan RON-90 (B0). Semua variasi bahan bakar akan dihitung berdasarkan rasio campuran. Kandungan butanol dapat meningkatkan kapasitas oksigen, kalor laten, dan laju penyalaan dalam ruang bakar. Densitas dan temperatur penyalaan otomatis meningkat dengan sedikit peningkatan kandungan butanol. LCV, RON, dan rasio stoikiometri udara/bahan bakar menurun seiring dengan meningkatnya kandungan butanol. Sifat campuran butanol-bensin akan memengaruhi kinerja mesin.

Tabel 1. Karakteristik Metanol dan Butanol [15][16][17]

Properties	Metanol	Buthanol
Octane number	109	96
Flash point (°C)	12	35
Stoichimometric AFR	6.4	11.2
Density (kg/m ³) at 20 °C	792	81.3
Chemical formula	CH ₃ OH	C ₄ H ₉ OH
Lower heating value (MJ/kg)	20	33.1
Oxygen content (wt%)	50	21.6
Auto-ignition temperature (K)	433	343



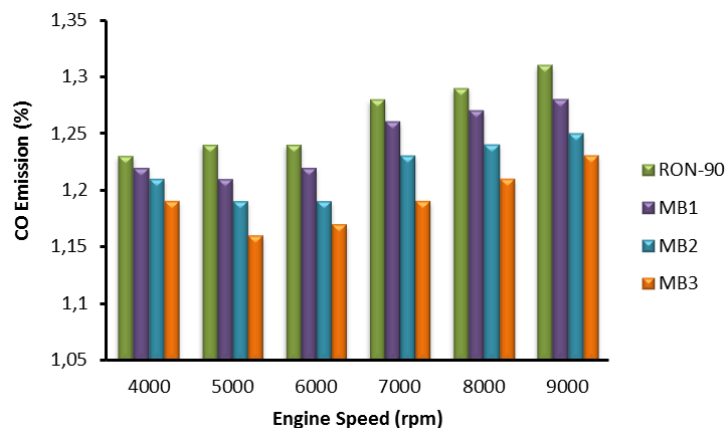
Gambar 1. Skema Uji Emisi Pada Mesin SI.

Tabel 2. Mesin SI Yang Digunakan

Detail	Spesifikasi
Kapasitas Mesin (cm ³)	: 4-Langkah, 124,8
Kompresi Rasio (CR)	: 11 : 1
Daya Maksimal (kW)	: 8,2 kW / 8.500 rpm
Berat Total (kg)	: 112 kg
Sistem Pendinginan	: Udara
Sistem Suplai Bahan Bakar	: Programmed Fuel Injection (PGM-FI)
Sistem Transmisi	: Matic
Model Kopling	: Automatic Centrifugal Clutch Dry Type
Sistem Pengapian	: Busi Iridium

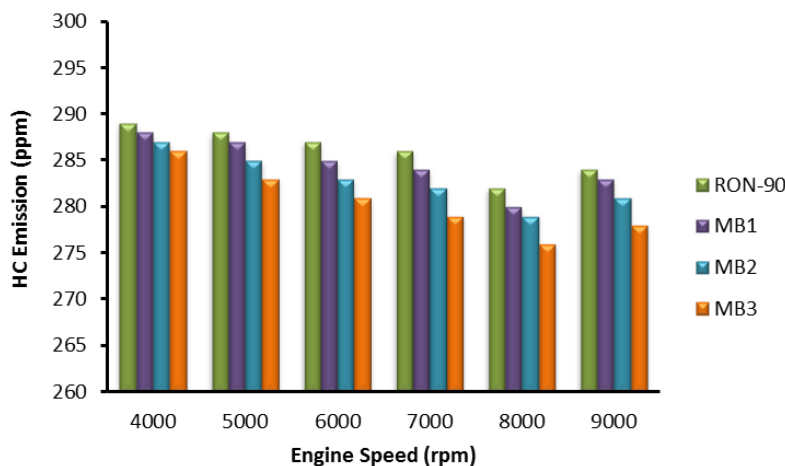
Hasil Dan Pembahasan.

Dapat diamati bahwa ketika persentase metanol dan butanol dalam campuran meningkat, emisi CO menurun dibandingkan dengan bensin bersih. Alasan terbentuknya CO adalah karena pembakaran tidak sempurna akibat kurangnya oksigen dalam campuran bahan bakar dan karena waktu yang tidak cukup untuk menyelesaikan proses pembakaran. Dengan perbaikan proses pembakaran karena penggunaan aditif yang mengandung oksigen seperti metanol dan butanol, terjadi pengurangan dalam pembentukan emisi CO. Terakhir, metanol (CH₃OH), dan butanol (C₄H₉OH) memiliki lebih sedikit karbon daripada bensin (C₈H₁₈), yang juga merupakan alasan berkurangnya emisi CO. Pada variasi MB3 mengalami penurunan sebesar 6% dibandingkan dengan bahan bakar komersial. Penurunan terjadi pada putaran mesin 6000 rpm dengan nilai 1,17%. Selanjutnya penurunan CO terjadi pada variasi MB2 dan MB1.



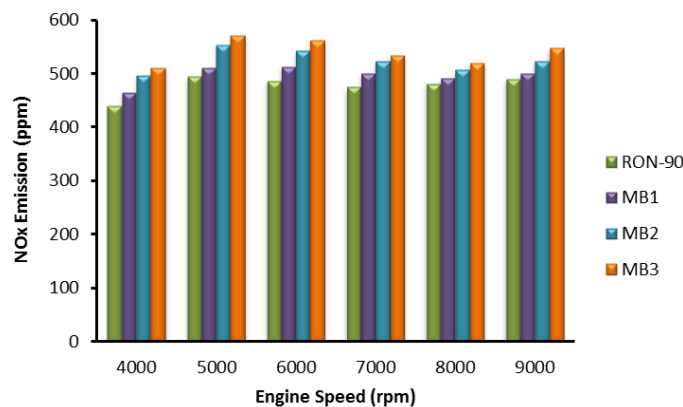
Gambar 2. Perbandingan CO dengan putaran mesin.

Perbandingan emisi HC untuk bahan bakar campuran metanol dan butanol dengan bensin bersih pada kecepatan mesin dari 4000 hingga 9000 rpm ditunjukkan pada Gambar 3. Dapat diamati bahwa ketika persentase metanol dan butanol dalam campuran meningkat, emisi HC menurun dibandingkan dengan bensin bersih. Alasan untuk fenomena ini adalah karena alasan yang sama seperti alasan untuk penurunan emisi CO yang dijelaskan dalam paragraf sebelumnya. Selain itu, ketika rasio udara-bahan bakar relatif meningkat, emisi HC menurun. Berdasarkan hasil yang diperoleh untuk emisi HC, ditemukan bahwa metanol adalah bahan bakar yang paling cocok dibandingkan dengan etanol. Emisi HC yang lebih rendah ditemukan dengan proses pembakaran yang lebih lengkap. Pada variasi MB3 mengalami penurunan sebesar 8% dibandingkan dengan bahan bakar komersial. Penurunan terjadi pada putaran mesin 9000 rpm dengan nilai 276ppm. Selanjutnya penurunan HC terjadi pada variasi MB2 dan MB1.



Gambar 3. Perbandingan HC dengan putaran mesin.

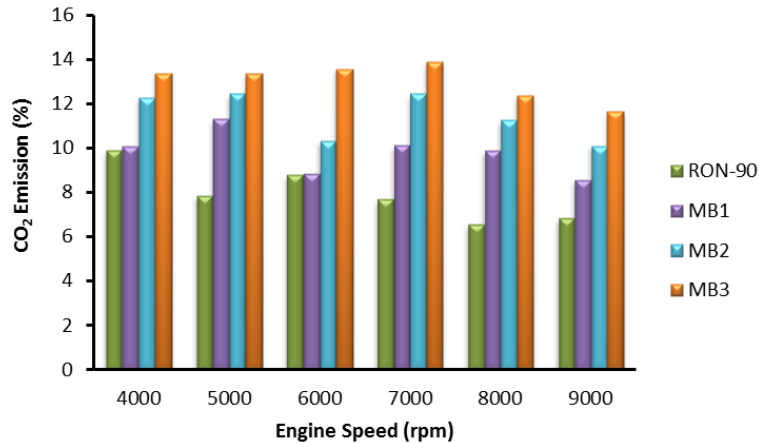
Perbandingan emisi NO_x untuk bahan bakar campuran etanol, metanol, dan n-butanol dengan bensin bersih pada kecepatan mesin dari 4000 hingga 9000 rps ditunjukkan pada Gambar 4. Nitrogen oksida NO_x terbentuk selama oksidasi nitrogen dari udara selama pembakaran. Ada dua faktor penting untuk pembentukan nitrogen oksida: suhu tinggi dan keberadaan oksigen bebas. Oleh karena itu, daerah dengan suhu yang sangat tinggi kemungkinan merupakan sumber pembentukan nitrogen oksida. Pada variasi MB3 mengalami penurunan sebesar 8% dibandingkan dengan bahan bakar komersial. Penurunan terjadi pada putaran mesin 9000 rpm dengan nilai 421ppm. Selanjutnya penurunan HC terjadi pada variasi MB2 dan MB1.



Gambar 4. Perbandingan NO_x dengan putaran mesin.

emisi CO₂ meningkat dibandingkan dengan bensin bersih. Alasan terbentuknya CO₂ adalah karena pembakaran sempurna akibat meningkatnya oksigen dalam campuran bahan bakar dan karena waktu yang cukup untuk menyelesaikan proses pembakaran. Dengan perbaikan proses pembakaran karena penggunaan aditif yang mengandung oksigen seperti metanol dan butanol, terjadi

peningkatan dalam pembentukan emisi CO₂. Methanol (CH₃OH), dan butanol (C₄H₉OH) memiliki lebih sedikit karbon daripada bensin (C₈H₁₈), yang juga merupakan alasan meningkatnya emisi CO₂. Pada variasi MB3 mengalami peningkatan sebesar 8% dibandingkan dengan bahan bakar komersial. Peningkatan terjadi pada putaran mesin 9000 rpm dengan nilai 11,63%. Selanjutnya penurunan CO₂ terjadi pada variasi MB2 dan MB1.



Gambar 5. Perbandingan CO₂ dengan putaran mesin.

Kesimpulan.

Penelitian ini membahas pengaruh campuran bensin dengan metanol dan butanol pada pengoperasian mesin bensin. Efek campuran aditif pada emisi dieksplorasi. Hasil penelitian ini dapat disimpulkan ketika persentase metanol dan butanol dalam campuran meningkat, emisi CO menurun dibandingkan dengan bensin bersih. Ketika persentase metanol dan butanol dalam campuran meningkat, emisi HC menurun dibandingkan dengan bahan bakar komersial. Berdasarkan hasil yang diperoleh tentang emisi HC, ditemukan bahwa metanol adalah bahan bakar yang lebih cocok dibandingkan dengan bahan bakar komersial. Ketika persentase etanol dan metanol dalam campuran meningkat hingga 12% MB3, emisi NO_x meningkat, setelah itu, dengan peningkatan lebih lanjut dari metanolemisi NO_x menurun. Butanol menunjukkan peningkatan emisi NO_x ketika persentase butanol dalam campuran ditingkatkan hingga 12%, setelah itu, dengan peningkatan butanol lebih lanjut, emisi NO_x menurun.

Daftar Pustaka.

- [1] N. I. Masuk, K. Mostakim, and S. D. Kanka, "Performance and emission characteristic analysis of a gasoline engine utilizing different types of alternative fuels: A comprehensive review," *Energy and Fuels*, vol. 35, no. 6, pp. 4644–4669, Mar. 2021, doi: 10.1021/ACS.ENERGYFUELS.0C04112/ASSET/IMAGES/MEDIUM/EF0C04112_0023.GIF.
- [2] S. Iliev, "A Comparison of Ethanol, Methanol, and Butanol Blending with Gasoline and Its Effect on Engine Performance and Emissions Using Engine Simulation," *Process. 2021, Vol. 9, Page 1322*, vol. 9, no. 8, p. 1322, Jul. 2021, doi: 10.3390/PR9081322.
- [3] Z. Tian, X. Zhen, Y. Wang, D. Liu, and X. Li, "Combustion and emission characteristics of n-butanol-gasoline blends in SI direct injection gasoline engine," *Renew. Energy*, vol. 146, pp. 267–279, Feb. 2020, doi: 10.1016/J.RENENE.2019.06.041.
- [4] S. M. N. Rahayu *et al.*, "A Review of automotive green technology: Potential of butanol as biofuel in gasoline engine," *Mech. Eng. Soc. Ind.*, vol. 2, no. 2, pp. 82–97, Jul. 2022, doi: 10.31603/MESI.7155.
- [5] T. Palani, G. S. Esakkimuthu, G. Dhamodaran, and A. Sundaraganesan, "Performance optimization of gasoline engine fueled with ethanol/n-butanol/gasoline blends using response surface methodology," *Biofuels*, vol. 15, no. 1, pp. 33–45, 2024, doi: 10.1080/17597269.2023.2215631.

- [6] X. Yu *et al.*, “Effect of exhaust gas recirculation(EGR) on combustion and emission of butanol/gasoline combined injection engine,” *Energy*, vol. 295, p. 130940, May 2024, doi: 10.1016/J.ENERGY.2024.130940.
- [7] S. Kumaravel *et al.*, “Experimental investigations on in-cylinder flame and emission characteristics of butanol-gasoline blends in SI engine using combustion endoscopic system,” *Therm. Sci. Eng. Prog.*, vol. 49, p. 102449, Mar. 2024, doi: 10.1016/J.TSEP.2024.102449.
- [8] G. Setyono, “Hydroxy Gas (HHO) Supplement of Ethanol Fuel Mixture In A Single-Cylinder Spark-Ignition Matic-Engine,” *J. Mech. Eng. Mechatronics*, vol. 5, no. 2, pp. 114–121, Oct. 2020, doi: 10.33021/JMEM.V5I2.1136.
- [9] G. Setyono and A. A. Arifin, “Effect Of Ethanol-Gasoline Mixes On Performances In Last Generation Spark-Ignition Engines Within The Spark-Plug No Ground-Electrodes Type,” *Mek. J. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 2, pp. 19–26, 2020, doi: <https://doi.org/10.12345/jm.v5i02.3003.g2577>.
- [10] S. Yang *et al.*, “Combustion and emissions characteristics of methanol/gasoline CISI engines under different injection modes,” *Fuel*, vol. 333, p. 126506, Feb. 2023, doi: 10.1016/J.FUEL.2022.126506.
- [11] B. K. Bharath and V. Arul Mozhi Selvan, “Influence of Higher Alcohol Additives in Methanol–Gasoline Blends on the Performance and Emissions of an Unmodified Automotive SI Engine: A Review,” *Arab. J. Sci. Eng. 2021 468*, vol. 46, no. 8, pp. 7057–7085, Feb. 2021, doi: 10.1007/S13369-021-05408-X.
- [12] S. Sarıkoç, “Environmental and enviro-economic effect analysis of hydrogen-methanol-gasoline addition into an SI engine,” *Fuel*, vol. 344, p. 128124, Jul. 2023, doi: 10.1016/J.FUEL.2023.128124.
- [13] İ. Örs, S. Yelbey, H. E. Gülcan, B. Sayın Kul, and M. Ciniviz, “Evaluation of detailed combustion, energy and exergy analysis on ethanol-gasoline and methanol-gasoline blends of a spark ignition engine,” *Fuel*, vol. 354, p. 129340, Dec. 2023, doi: 10.1016/J.FUEL.2023.129340.
- [14] M. A. I. Malik, M. Usman, R. Bashir, M. S. Hanif, and S. W. H. Zubair, “Use of methanol-gasoline blend: a comparison of SI engine characteristics and lubricant oil condition,” *J. Chinese Inst. Eng.*, vol. 45, no. 5, pp. 402–412, Jul. 2022, doi: 10.1080/02533839.2022.2061599.
- [15] G. Setyono, D. Khusna, N. Kholili, L. P. Sanjaya, and F. G. A. Putra, “Effect of Butanol-Gasoline Blend Toward Performance Matic-Transmission Applied in Single Cylinder Capacity Engine,” *Infotekmesin*, vol. 14, no. 1, pp. 28–34, Jan. 2023, doi: 10.35970/INFOTEKMESIN.V14I1.1629.
- [16] G. Setyono, N. Kholili, G. A. Kurniawan, and D. S. Pratama, “Investigation on Exhaust Emission and Performance of SI-Matic Engine Applied Acetone-Butanol-Ethanol (ABE) Fuel Mixtures,” *Infotekmesin*, vol. 15, no. 1, pp. 128–134, Jan. 2024, doi: 10.35970/INFOTEKMESIN.V15I1.2128.
- [17] G. Setyono, D. Khusna, N. Kholili, L. P. Sanjaya, F. Galang, and A. Putra, “Investigation of Exhaust Emissions Combustion Characteristics in Single Spark Ignition-Engine Matic with Butanol-Gasoline Mixture,” *Infotekmesin*, vol. 14, no. 2, pp. 273–279, Jul. 2023, doi: 10.35970/INFOTEKMESIN.V14I2.1903.