

PENGARUH PENAMBAHAN ADITIF METANOL-BUTANOL PADA BAHAN BAKAR SEBAGAI UPAYA PENINGKATAN PERFORMA MESIN SPARK IGNITION

Slamet Riyadi^{1,a}, Siswadi Siswadi^{2,b}, Wahyu Nugroho^{3,c}, Alfi Nugroho^{4,d} dan Mochammad Muchid^{5,e}

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Wijaya Putra^{1,2,3,4,5}
Jl. Raya Benowo No. 1-3 Surabaya, Jawa Timur, Indonesia^{1,2,3,4,5}

slametriyadi@uwp.ac.id

Abstrak.

Krisis energi skala dunia saat ini karena menipisnya cadangan bahan bakar fosil. 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 124.8 cc. sedangkan alat uji untuk performa menggunakan Dynotest Chassis 50L. Daya mengalami peningkatan terbesar pada variasi MB3 sebesar 9% terhadap bahan bakar komersial. Mep mengalami peningkatan terbesar pada variasi MB3 sebesar 18% terhadap bahan bakar komersial. Peningkatan tersebut terjadi pada putaran mesin 5000rpm dengan nilai 915kPa. Sfc mengalami penurunan optimal pada variasi MB3 sebesar 26% terhadap bahan bakar komersial. Penurunan tersebut terjadi pada putaran mesin 8000rpm dengan nilai 0.38kg/kW.h. Efisiensi Termal mengalami peningkatan optimal pada variasi MB3 sebesar 21% terhadap bahan bakar komersial. Peningkatan tersebut terjadi pada putaran mesin 8000rpm dengan nilai 27%. Hal tersebut menunjukkan bahwa penambahan aditif methanol dan butanol sangat efektif meningkatkan performa mesin SI.

Kata kunci: Performa, 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 used is an automatic transmission type with a capacity of 124.8 cc. The test tool for performance uses Dynotest Chassis 50L. Power experienced the most significant increase in the MB3 variation of 9% against commercial fuel. Mep experienced the most significant increase in the MB3 variation of 18% against commercial fuel. The increase occurred at an engine speed of 5000rpm with a value of 915kPa. SFC experienced an optimal decrease in the MB3 variation of 26% against commercial fuel. The decrease occurred at 8000rpm engine speed with a value of 0.38kg/kW.h. Thermal efficiency experienced an optimal increase in the MB3 variation of 21% against commercial fuel. The increase occurred at 8000rpm engine speed with a value of 27%. It shows that adding methanol and butanol additives is very effective in improving the performance of the SI engine.

Keywords: performance, additives, methanol-butanol.

Pendahuluan.

Penggunaan bahan bakar rendah karbon seperti butanol, etanol, dan metanol dapat mengurangi tingkat emisi mesin pembakaran internal dan mesin modern dapat dengan mudah diubah menjadi penggunaan alkohol. Dalam hal ini, transisi ke ekonomi emisi karbon rendah, berdasarkan penggunaan sumber daya energi alternatif yang berkelanjutan dan efisien, dapat dipastikan. Mengenai produksi butanol, ada solusi modern yang dapat digunakan untuk memproduksi butanol dari limbah hayati dengan cara yang berkelanjutan, efisien, dan sederhana [1][2]. Selama beberapa dekade, dari semua alkohol, etanol telah dianggap sebagai "solusi ramah lingkungan" dalam hal kemampuannya untuk digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk mesin berbahan bakar bensin dan telah digunakan dalam proporsi yang berbeda dalam campuran dengan bensin untuk bahan bakar mesin otomotif. Saat ini, karena etanol digunakan dalam campuran dengan bensin dalam skala besar, dipasarkan dengan nama gasohol, banyak penelitian telah menyelidiki penggunaannya dalam mesin pembakaran internal. Saat ini, karena sifat pembakarannya yang baik, butanol dapat menjadi bahan bakar alternatif yang layak untuk mesin pembakaran internal, untuk mesin diesel [3]. Butanol dapat dicampur dengan bahan bakar diesel atau dengan biodiesel; peningkatan sifat pembakaran biodiesel pada penggunaan butanol dapat menjamin peningkatan pengoperasian mesin diesel. Misalnya, digunakan butanol normal terbarukan, n-butanol, untuk menggantikan etanol dalam campuran dengan bensin guna menghilangkan kerugian penggunaan etanol, seperti masalah hidroskopis, dalam bahan bakar gasohol. Seiring meningkatnya persentase alkohol yang dicampur dengan bensin, campuran butanol-bensin mempertahankan angka oktan penelitian yang lebih stabil dibandingkan dengan campuran etanol [4][5].

butanol sebagai bahan bakar dalam mesin pengapian percikan dan mereka mengevaluasi karakteristik pembakaran dan emisi menggunakan rezim kecepatan 1500 1/menit dan beban mesin 10%. Shang menggunakan rasio injeksi butanol yang berbeda 20–100%, dan rasio udara–bahan bakar yang berbeda $\lambda = 0,9–1,3$. Pada rasio injeksi butanol 20%, tekanan dan suhu maksimum selama pembakaran mulai meningkat, bersamaan dengan peningkatan laju pelepasan panas. Jumlah butanol yang kecil, hingga 20%, memastikan sedikit peningkatan tekanan maksimum selama pembakaran untuk semua rasio udara–bahan bakar, tetapi rasio butanol 40% menghasilkan tekanan maksimum serupa yang dicapai saat bensin digunakan. Rasio butanol yang lebih tinggi, 60–100%, menghasilkan pengurangan tekanan pembakaran untuk semua rasio udara–bahan bakar yang digunakan, dan pengurangan tersebut lebih signifikan selama operasi campuran ramping [6]. Metanol memiliki potensi yang signifikan sebagai bahan bakar alternatif untuk mesin pembakaran internal. Penggunaan campuran metanol-bensin dengan teknologi lean-burn pada mesin pengapian busi tradisional dapat meningkatkan penghematan bahan bakar dan mengurangi emisi. Makalah ini menyelidiki dampak lean burn pada pembakaran dan emisi pada mesin bensin injeksi langsung komersial yang menggunakan campuran metanol-bensin. Mode lean-burn disesuaikan dengan mengendalikan strategi injeksi [7]. Angka oktan metanol yang tinggi memungkinkannya terbakar pada rasio kompresi yang lebih tinggi, meningkatkan sifat anti-ketukan dan penghematan bahan bakar. Penelitian tersebut membandingkan efek pembakaran bensin, metanol, dan etanol pada kinerja mesin dan emisi dalam mesin satu silinder, menemukan bahwa efisiensi termal efektif metanol murni lebih tinggi daripada bensin pada rentang kecepatan 1600 hingga 3600 rpm. Ketika kecepatan mesin, pengaturan waktu percikan, dan rasio kompresi dioptimalkan, daya keluaran efektif dengan metanol murni meningkat sebesar 12,25% dibandingkan dengan bensin. Penelitian tersebut menguji injeksi port metanol murni dalam mesin satu silinder berukuran besar 5L, menunjukkan bahwa manfaat metanol sama-sama menguntungkan untuk mesin berukuran besar, dengan efisiensi termal efektif yang lebih tinggi daripada mesin gas alam terancang dengan perpindahan yang sama. Namun, penggunaan metanol dalam mesin pembakaran internal juga menghadirkan tantangan, seperti menghasilkan emisi yang tidak konvensional seperti metanol dan formaldehida yang tidak terbakar [8].

Meningkatnya kekhawatiran lingkungan atas pemanasan global dan menipisnya cadangan bahan bakar fosil mendorong para peneliti untuk menyelidiki bahan bakar hijau seperti bahan bakar alkohol yang tidak hanya menunjukkan penurunan emisi yang nyata tetapi juga meningkatkan

kinerja mesin [9]. Penelitian ini menekankan pengaruh campuran bahan bakar alkohol yang berbeda dalam bensin terhadap kinerja mesin dan emisi untuk kecepatan mesin berkisar antara 1200 hingga 4400 rpm. Hasil kinerja yang diperoleh menunjukkan bahwa daya rem dan efisiensi termal rem (BTE) meningkat dengan peningkatan persentase campuran etanol dan metanol dalam bensin (EM). Konsumsi bahan bakar spesifik rem minimum (BSFC) dipastikan menggunakan bensin murni diikuti oleh E2 dan kemudian E5M5. Daya rem meningkat dengan peningkatan campuran etanol dan metanol dalam bensin. Itu ditingkatkan sebesar 5,7% dan 4,91% untuk E10 dan E5M5, masing-masing, dibandingkan dengan bensin murni. BSFC mencatat minimum untuk bensin murni dibandingkan dengan campuran E dan EM. Di antara semua campuran, EM menunjukkan BSFC yang lebih besar. Meningkatkan sebesar 3,67% dan 1,97% untuk E5M5 dan E10, masing-masing, dibandingkan dengan bensin murni. BTE meningkat seiring dengan meningkatnya campuran etanol dan metanol dibandingkan dengan bensin murni. Hal ini dapat diakreditasi dengan kandungan oksigen dan nilai oktan yang lebih tinggi dalam bahan bakar alkohol. Campuran E menunjukkan BTE yang lebih tinggi yang bersaing dengan campuran EM. BTE untuk E10 dan E5M5 meningkat masing-masing sebesar 2,35% dan 1,53%, dibandingkan dengan bensin murni [10].

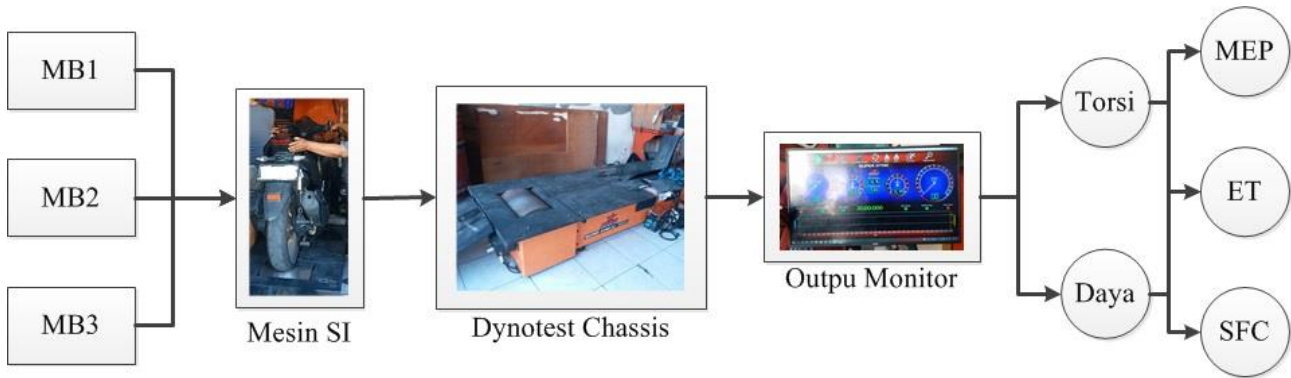
Dalam tinjauan pustaka, tidak ada cukup informasi tentang perbandingan campuran metanol dan butanol dengan bensin dan pengaruhnya terhadap emisi mesin pada mesin SI yang sama dan dalam kondisi yang sama. Perbandingan antara bahan bakar campuran dan bensin bersih dalam mesin pengapian busi penting untuk 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 124.8 cc. sedangkan alat uji untuk performa menggunakan Dynotest Chassis 50L.

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 [5][9]

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



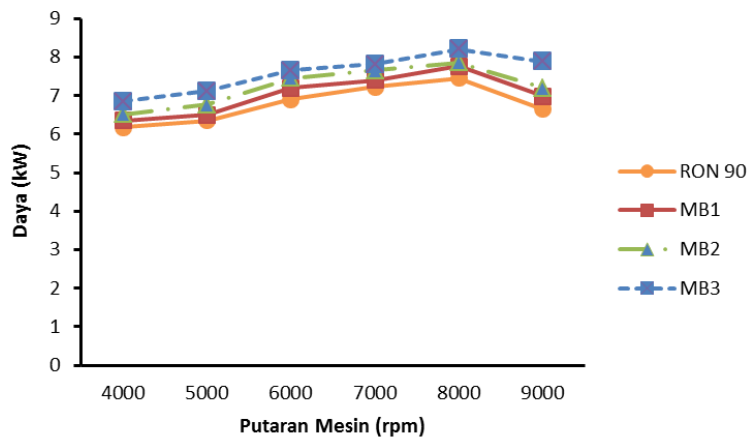
Gambar 1. Skema Uji Performa Pada Mesin SI.

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

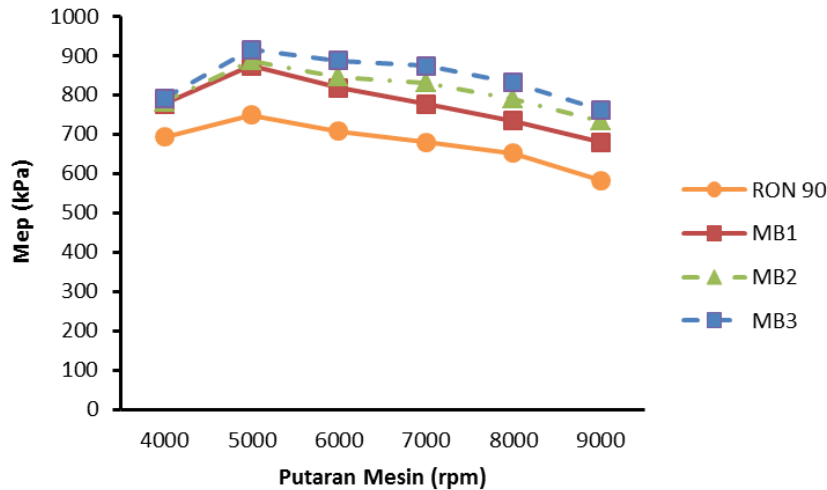
Hasil Dan Pembahasan.

Evaluasi eksperimental operasi bahan bakar ganda pada mesin SI dimulai dengan karakterisasi gradien tekanan yang terbentuk di dalam ruang pembakaran. Parameter ini memberikan perspektif yang jelas tentang kinerja mode bahan bakar sekaligus menghubungkan interaksi pencampuran yang tepat antara bahan bakar dasar (bensin/metanol-butanol) dan udara. Gambar 2 menunjukkan perilaku keseluruhan daya output pada kondisi putaran mesin yang berbeda. Daya mengalami peningkatan terbesar pada variasi MB3 sebesar 9% terhadap bahan bakar komersial. Peningkatan tersebut terjadi pada putaran mesin 8000rpm dengan nilai 8.2kW. Hal yang sama terjadi pada variasi MB2 dan MB1 yang mengalami peningkatan secara signifikan terhadap bahan bakar komersial.



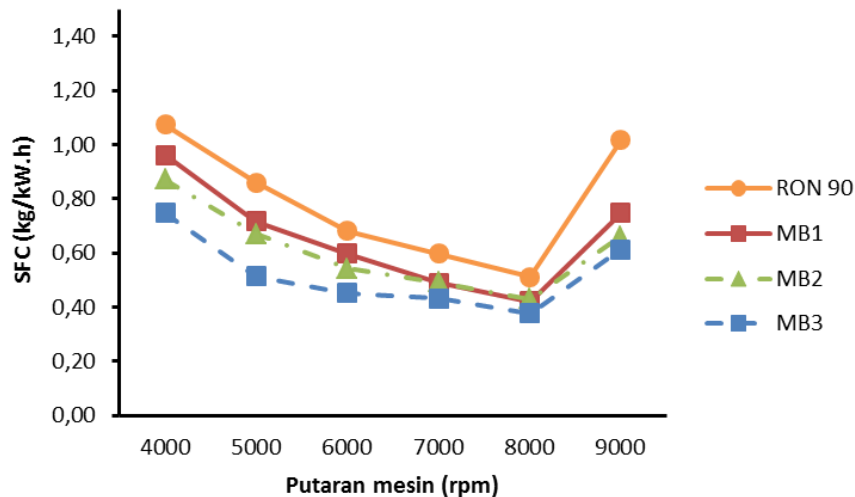
Gambar 2. Perbandingan Daya dengan putaran mesin.

Gambar 3 menunjukkan perilaku keseluruhan Tekanan Efektif Rata-Rata (Mep) output pada kondisi putaran mesin yang berbeda. Mep mengalami peningkatan terbesar pada variasi MB3 sebesar 18% terhadap bahan bakar komersial. Peningkatan tersebut terjadi pada putaran mesin 5000rpm dengan nilai 915kPa. Hal yang sama terjadi pada variasi MB2 dan MB1 yang mengalami peningkatan secara signifikan terhadap bahan bakar komersial.



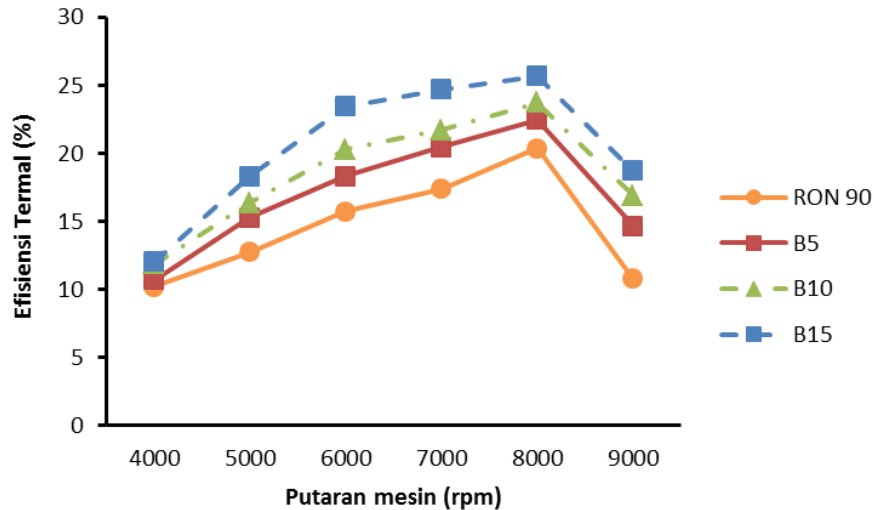
Gambar 3. Perbandingan Mep dengan putaran mesin.

Gambar 4 menunjukkan perilaku keseluruhan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Sfc) output pada kondisi putaran mesin yang berbeda. Sfc mengalami penurunan optimal pada variasi MB3 sebesar 26% terhadap bahan bakar komersial. Penurunan tersebut terjadi pada putaran mesin 8000rpm dengan nilai 0.38kg/kW.h. Hal yang sama terjadi pada variasi MB2 dan MB1 yang mengalami peningkatan secara signifikan terhadap bahan bakar komersial.



Gambar 4. Perbandingan Sfc dengan putaran mesin.

Gambar 4 menunjukkan perilaku keseluruhan Efisiensi Termal output pada kondisi putaran mesin yang berbeda. Efisiensi Termal mengalami peningkatan optimal pada variasi MB3 sebesar 21% terhadap bahan bakar komersial. Peningkatan tersebut terjadi pada putaran mesin 8000rpm dengan nilai 27%. Hal yang sama terjadi pada variasi MB2 dan MB1 yang mengalami peningkatan secara signifikan terhadap bahan bakar komersial.



Gambar 5. Perbandingan Efisiensi Termal 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. Daya mengalami peningkatan terbesar pada variasi MB3 sebesar 9% terhadap bahan bakar komersial. Peningkatan tersebut terjadi pada putaran mesin 8000rpm dengan nilai 8.2kW. Tekanan Efektif Rata-Rata (Mep) output pada kondisi putaran mesin yang berbeda. Mep mengalami peningkatan terbesar pada variasi MB3 sebesar 18% terhadap bahan bakar komersial. Peningkatan tersebut terjadi pada putaran mesin 5000rpm dengan nilai 915kPa. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Sfc) output pada kondisi putaran mesin yang berbeda. Sfc mengalami penurunan optimal pada variasi MB3 sebesar 26% terhadap bahan bakar komersial. Penurunan tersebut terjadi pada putaran mesin 8000rpm dengan nilai 0.38kg/kW.h. Efisiensi Termal output pada kondisi putaran mesin yang berbeda. Efisiensi Termal mengalami peningkatan optimal pada variasi MB3 sebesar 21% terhadap bahan bakar komersial. Peningkatan tersebut terjadi pada putaran mesin 8000rpm dengan nilai 27%

Daftar Pustaka.

- [1] X. Wang *et al.*, "Feasibility of Efficient, Direct, Butanol Production from Food Waste without Nutrient Supplement by *Clostridium saccharoperbutylacetonicum* N1-4," *Sustain.*, vol. 15, no. 7, p. 6061, Apr. 2023, doi: 10.3390/SU15076061/S1.
- [2] 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.
- [3] A. Sule *et al.*, "Dual Effects of N-Butanol and Magnetite Nanoparticle to Biodiesel-Diesel Fuel Blends as Additives on Emission Pattern and Performance of a Diesel Engine with ANN Validation," *Sustain.* 2023, Vol. 15, Page 1404, vol. 15, no. 2, p. 1404, Jan. 2023, doi: 10.3390/SU15021404.
- [4] M. Puglia, N. Morselli, A. Iranzo, and A. Elfasakhany, "Comparative Analysis of the Engine Performance and Emissions Characteristics Powered by Various Ethanol–Butanol–Gasoline Blends," *Process.* 2023, Vol. 11, Page 1264, vol. 11, no. 4, p. 1264, Apr. 2023, doi: 10.3390/PR11041264.
- [5] G. Setyono, D. Khusna, N. Kholili, L. P. Sanjaya, F. Galang, and 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.

- [6] M. Lapuerta, R. Ballesteros, J. Barba, G. Lefebvre, and F. J. Sáez-Martínez, “Strategies to Introduce n-Butanol in Gasoline Blends,” *Sustain.* 2017, Vol. 9, Page 589, vol. 9, no. 4, p. 589, Apr. 2017, doi: 10.3390/SU9040589.
- [7] M. Zhang and J. Cao, “Effects of Lean Burn on Combustion and Emissions of a DISI Engine Fueled with Methanol–Gasoline Blends,” *Energies* 2024, Vol. 17, Page 4023, vol. 17, no. 16, p. 4023, Aug. 2024, doi: 10.3390/EN17164023.
- [8] A. Güdden, S. Pischinger, J. Geiger, B. Heuser, and M. Müther, “An experimental study on methanol as a fuel in large bore high speed engine applications – Port fuel injected spark ignited combustion,” *Fuel*, vol. 303, p. 121292, Nov. 2021, doi: 10.1016/J.FUEL.2021.121292.
- [9] 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.
- [10] M. Usman *et al.*, “Comparative Assessment of Ethanol and Methanol–Ethanol Blends with Gasoline in SI Engine for Sustainable Development,” *Sustain.* 2023, Vol. 15, Page 7601, vol. 15, no. 9, p. 7601, May 2023, doi: 10.3390/SU15097601.