

Efek Penambahan Butanol Terhadap Emisi dan Temperatur Gas Buang Mesin Bensin EFI Menggunakan EGR

Firman Lukman Sanjaya^{1*}, Syarifudin², Faqih Fatkhurrozak³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Harapan Bersama Tegal

^{1,2,3} Jln. Mataram No. 9, Pesurungan Lor, Kota Tegal, 52147, Indonesia

E-mail: sanjaya.ilzamy14@gmail.com¹, syarifudin@poltektegal.ac.id², faqih.fatkhurrozak@poltektegal.ac.id³

Abstrak

Info Naskah:

Naskah masuk: 18 Mei 2021

Direvisi: 17 Agustus 2021

Diterima: 12 Januari 2022

Tingginya angka oktan dan kandungan oksigen pada butanol dapat memperbaiki pembakaran lebih sempurna dan gas sisa hasil pembakaran mesin lebih ramah lingkungan. Penelitian ini menguji efek penambahan butanol 5% sampai dengan 15% dengan interval 5% pada mesin bensin dengan sistem EGR berbahan bakar premium terhadap emisi dan temperatur gas buang. Alat ukur analisis gas buang digunakan untuk mengukur gas hasil pembakaran. Temperatur gas buang diukur menggunakan termokopel yang terpasang pada exhaust manifold. Campuran P85B15 menurunkan kadar CO sebesar 68,11% dan HC sebesar 37,50% dibanding P100. Namun, emisi CO₂ dan temperatur gas buang meningkat. Penggunaan hot dan cold EGR secara umum meningkatkan emisi gas buang mesin. Namun, temperatur gas buang menurun sebesar 4,72% saat mesin menggunakan cold EGR dan 1,33 % saat mesin menggunakan hot EGR.

Abstract

Keywords:

butanol;
gasoline engine;
emissions and exhaust gas;
temperature.

The high octane number and oxygen content of butanol can improve combustion more completely and the residual gas resulting from engine combustion is more environmentally friendly. This study examines the effect of adding 5% to 15% butanol at 5% intervals on a gasoline engine with an EGR system with premium fuel on emissions and exhaust gas temperatures. The exhaust gas analyzer was used to measure the combustion gases. Exhaust gas temperature was measured using a thermocouple mounted on the exhaust manifold. The mixture of P85B15 reduced CO levels by 68.11% and HC by 37.50% compared to P100. However, CO₂ emissions and exhaust gas temperatures increased. The use of hot and cold EGR generally increased engine exhaust emissions. However, the exhaust gas temperature decreased by 4.72% when the engine used cold EGR and 1.33% when the engine used hot EGR.

*Penulis korespondensi:

Firman Lukman Sanjaya

E-mail: firmanlukman@poltektegal.ac.id

1. Pendahuluan

Kendaraan bermotor semakin meningkat seiring dengan tingginya kebutuhan dan populasi manusia. Hal ini mengakibatkan tingginya penggunaan bahan bakar fosil dan terjadinya krisis energi dan polusi udara yang memberi dampak negatif pada kesehatan manusia [1],[2],[3]. Solusi masalah ini beralih pada bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui seperti butanol [4],[5].

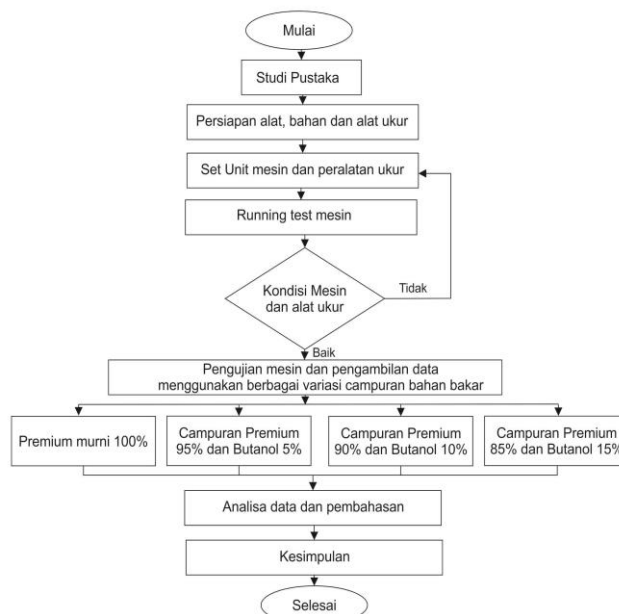
Butanol terbuat dari bahan-bahan nabati sehingga dapat diperbaharui [6], [7]. Butanol menghasilkan pembakaran sempurna sehingga gas sisa hasil pembakaran lebih ramah lingkungan. Hal ini karena butanol teroksidasi sehingga rambat nyala api lebih cepat [8],[9]. Namun, penambahan butanol meningkatkan emisi NO_x (*Nitrogen Oxide*) karena tingginya temperatur pada ruang bakar mengenai campuran nitrogen dan oksigen pada saat proses pembakaran [10]. Solusi pengurangan emisi NO_x adalah penggunaan sistem EGR (*Exhaust Gas Resirculation*) dengan mensirkulasikan kembali sebagian sisa hasil gas pembakaran ke silinder [11]. Penggunaan sistem EGR menurunkan temperatur gas buang mesin sehingga terbentuknya emisi NO_x menurun [12].

Beberapa peneliti memaparkan bahwa bahan bakar bensin yang dicampur dengan butanol dapat memberikan keuntungan. Penambahan butanol dapat memperbaiki pembakaran di ruang bakar [13], hal ini karena butanol memiliki kandungan oksigen yang melimpah sehingga kecepatan rambat nyala api meningkat. Butanol mampu menstabilkan proses pembakaran sehingga emisi gas buang dapat perbaiki [14], tetapi emisi NO_x meningkat. Emisi NO_x dapat dikurangi dengan menyalurkan kembali sebagian sisa gas hasil pembakaran ke silinder dengan sistem EGR [15],[16]. Hal ini disebabkan karena kandungan oksigen yang masuk ke ruang bakar lebih sedikit sehingga panas spesifik meningkat dan temperatur pembakaran menurun [17] [2].

Tujuan penelitian yang diusulkan adalah mengurangi ketergantungan bahan bakar bensin dengan mengganti bahan bakar alternatif butanol. Selain itu, penelitian ini menggunakan mesin bensin yang ditambahkan sistem EGR. Hal ini untuk mengurangi efek negatif dari penggunaan butanol sebagai bahan bakar berupa emisi NO_x . Oleh karena itu, penelitian ini menguji efek penambahan butanol pada bahan bakar premium terhadap emisi dan temperatur gas buang pada mesin bensin dengan menggunakan sistem EGR.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa langkah yaitu studi pustaka, persiapan alat dan bahan, *setting* mesin dan alat ukur, *running test* mesin, pengujian mesin dan pengambilan data menggunakan berbagai variasi campuran bahan bakar, analisis data dan pembahasan, serta kesimpulan. Adapun diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tabel 1. Spesifikasi mesin

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Tipe Mesin	Bensin
2	Produksi	Toyota
3	Jumlah Silinder	4
4	Kapasitas	Mesin 1798 cc
5	Jumlah Katup	8 Katup (SOHC)
6	Daya Maksimum	94 Hp – 5000 rpm
7	Torsi Maksimum	155 Nm – 3200 rpm
8	Sistem Bahan Bakar	EFI

Tabel 2. Prosentase campuran bahan bakar

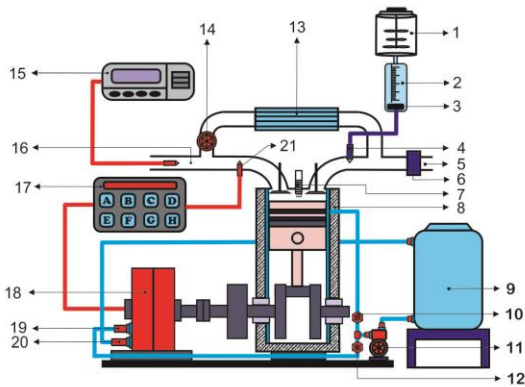
No	Kode Bahan Bakar	Prosentase Bahan Bakar	
		Premium	Butanol
1	P100	100%	0%
2	P95B5	95%	5%
3	P90B10	90%	10%
4	P85B15	85%	15%

Tabel 3. Karakteristik Bahan Bakar

No	Karakteristik	Premium	Butanol
1	Angka Oktan (RON)	88	98,3
2	Massa Jenis 15°C (Kg/m ³)	744	815
3	Nilai Kalor (MJ/Kg)	42,7	33,3
4	Kadar Air (%V)	0,003	>5
5	Viskositas (mm ² /s) pada 40°C	0,22	2,63

Mesin bensin EFI digunakan dalam penelitian ini. Spesifikasi mesin ditunjukkan pada Tabel 1. Prosentase campuran bahan bakar ditunjukkan pada Tabel 2 dan karakteristik bahan bakar ditunjukkan pada Tabel 3. Penelitian ini menguji penggunaan butanol pada emisi dan temperatur sisa gas pembakaran pada mesin bensin

menggunakan sistem EGR. Kecepatan mesin yang digunakan konstan yaitu 3000 rpm. Gambar 2. menunjukkan susunan dan alur pengujian mesin bensin.



Gambar 2. *Experimental Set-Up*

Keterangan:

- | | |
|------------------------|------------------------|
| 1. Mixer | 13. EGR |
| 2. Burret | 14. Katup EGR |
| 3. Pompa Bahan Bakar | 15. Gas Analyzer |
| 4. Injektor | 16. Exhaust manifold |
| 5. Intake manifold | 17. Display |
| 6. Flowmeter | 18. Dynotest |
| 7. Busi | 19. Saluran masuk air |
| 8. Mesin bensin | 20. Saluran keluar air |
| 9. Tangki air | 21. Termokopel |
| 10. Katup aliran air 1 | |
| 11. Pompa air | |
| 12. Katup aliran air 2 | |

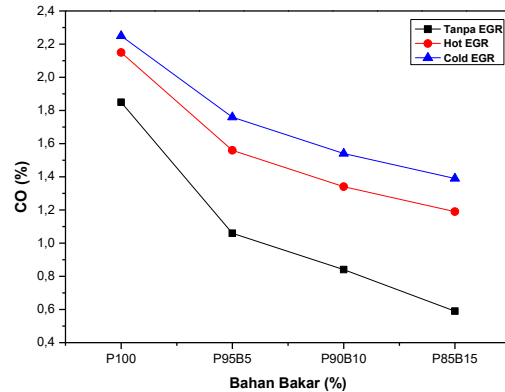
Mixer digunakan untuk mencampurkan senyawa kimia bahan bakar premium dan butanol agar tercampur dengan baik. Campuran bahan bakar didistribusikan oleh pompa bahan bakar menuju injektor dan dikabutkan sebelum masuk ke ruang bakar. Pada *exhaust manifold* terdapat pipa yang terhubung pada *intake manifold* yang digunakan untuk mensirkulasikan kembali beberapa sisa gas buang ke ruang bakar. Proses tersebut merupakan sistem EGR. Sisa hasil pembakaran keluar melalui *exhaust manifold* dan kadar emisi CO, HC, CO₂ diukur menggunakan alat ukur analisa gas buang Stargass 88. Termokopel dipasang pada *exhaust manifold* untuk mengukur temperatur gas buang melewatinya dan ditampilkan pada *display*.

3. Hasil dan Pembahasan

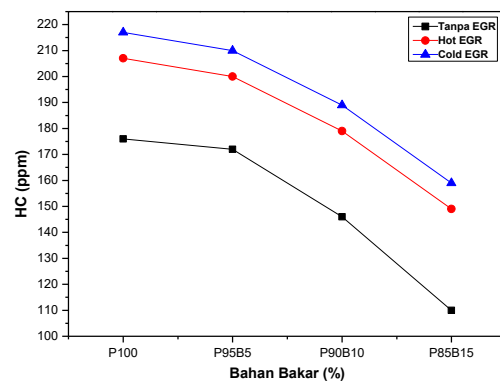
3.1 Emisi Karbon Monoksida (CO)

Penggunaan butanol pada bahan bakar premium menyempurnakan pembakaran diruang bakar sehingga emisi CO dapat dikurangi. Hal ini karena butanol meningkatkan kandungan oksigen pada ruang bakar sehingga nyala api merambat lebih cepat [9]. Penurunan emisi CO tertinggi sebesar 68,11% saat menggunakan bahan bakar P85B15 dibanding P100. Penggunaan EGR meningkatkan proses heterogen udara dan bahan bakar yang masuk ke selinder sehingga sedikit merusak pembakaran dan terbentuknya emisi CO lebih tinggi [8].

Penggunaan *hot* dan *cold* EGR meningkatkan emisi lebih tinggi daripada tanpa EGR. Namun, *cold* EGR meningkatkan emisi CO tertinggi sebesar 135,9% dibanding *hot* ataupun tanpa EGR. Hasil pengujian diaplikasikan dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil uji emisi CO



Gambar 4. Hasil uji emisi HC

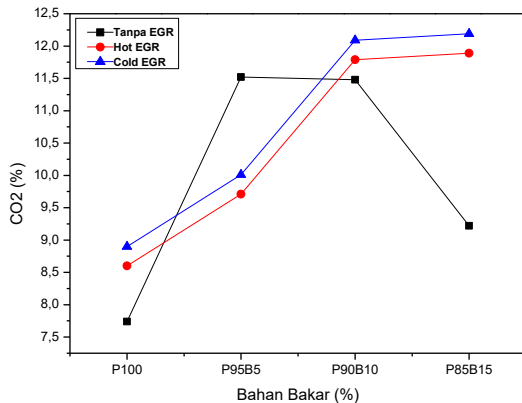
3.2 Emisi Hidro Karbon (HC)

Emisi HC mengalami penurunan akibat butanol yang ditambahkan pada bahan bakar. Butanol memiliki oksigen yang melimpah dibanding premium membuat pembakaran dalam silinder lebih baik. Kandungan oksigen yang tinggi pada bahan bakar meningkatkan perambatan nyala api pada silinder sehingga pembakaran lebih cepat dan merata [19] [20]. Penurunan emisi HC tertinggi sebesar 37,50% saat menggunakan campuran bahan bakar P85B15 dibanding P100. Penggunaan EGR memperburuk oksidasi diruang bakar sehingga pelepasan panas saat proses pembakaran berkurang. Hal ini meningkatkan produksi emisi HC. Penggunaan *cold* EGR meningkatkan emisi HC lebih tinggi dibanding *hot* EGR [21] [22]. Sistem *cold* EGR meningkatkan emisi HC tertinggi hingga 44,55% dibanding *hot* maupun tanpa EGR. Hasil pengujian dipaparkan pada Gambar 4. dalam bentuk grafik.

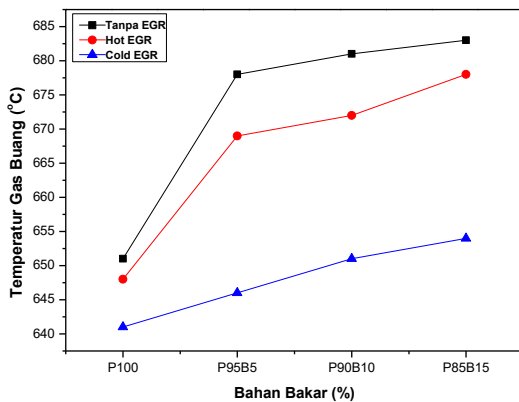
3.3 Emisi Karbondioksida (CO₂)

Uji Emisi CO₂ ini dilakukan pada mesin bensin dengan atau tanpa *hot/cold* EGR pada campuran premium dan butanol. Gambar 5 merupakan grafik hasil uji emisi CO₂ dan secara umum penambahan butanol meningkatkan

emisi CO₂. Campuran P95B5 menyebabkan peningkatan CO₂ tertinggi sebesar 48,84% dibanding dengan P100. Tingginya prosentase oksigen pada butanol bereaksi pada atom karbon yang tidak terbakar selama proses pembakaran sehingga pembentukan emisi CO₂ lebih tinggi. Emisi CO₂ yang tinggi mengindikasikan bahwa proses pembakaran lebih baik [9] [19]. Penggunaan EGR dapat meningkatkan emisi CO₂ karena EGR mengirim kembali gas sisa hasil pembakaran berupa CO₂ dan H₂O. Hal ini dapat meningkatkan emisi CO₂ yang keluar dari ruang bakar [2]. Peningkatan tertinggi terjadi pada bahan bakar P85B5 saat menggunakan *cold* EGR sebesar 32,21% dibanding *hot* maupun tanpa EGR.



Gambar 5. Hasil uji emisi CO₂



Gambar 6. Hasil uji temperatur gas buang

3.4 Temperatur Gas Buang

Gambar 6 menunjukkan hasil uji Temperatur gas buang mesin bensin meningkat saat bahan bakar ditambahkan butanol. Angkat oktan yang tinggi pada butanol mengakibatkan peningkatan temperatur langkah kompresi sehingga temperatur meningkat di ruang bakar [8]. Selain itu, butanol merupakan bahan bakar teroksidasi sehingga kecepatan rambat nyala api dan temperatur dalam ruang bakar meningkat [19] [23]. Temperatur gas buang tertinggi sebesar 4,92% pada penggunaan campuran bahan bakar P85B15 dibanding P100. Namun, temperatur gas buang dapat perbaiki dengan sistem EGR. Gas sisa hasil pembakaran yang disalurkan kembali ke silinder oleh EGR menurunkan temperatur puncak silinder sehingga

temperatur gas buang lebih rendah. Penggunaan *cold* EGR mampu menurunkan EGR lebih efektif daripada *hot* EGR [21] [24]. Penggunaan Cold EGR mengalmi penurunan temperatur gas buang tertinggi sebesar 4,72% dibanding *hot* maupun tanpa EGR.

4. Kesimpulan

Hasil pengujian menunjukkan penggunaan bahan bakar premium dan butanol menurunkan emisi CO dan HC tertinggi sebesar 68,11% dan 37,50% dibanding premium murni. Namun, emisi CO₂ dan temperatur gas buang mesin bensin meningkat masing-masing 48,84% dan 4,92% dibanding premium murni. Penggunaan *hot* dan *cold* EGR secara umum meningkatkan emisi gas buang mesin. Namun, temperatur gas buang menurun sebesar 4,72% saat mesin menggunakan *cold* EGR dan 1,33 % saat mesin menggunakan *hot* EGR.

Daftar Pustaka

- [1] Q. Tang, P. Jiang, C. Peng, H. Chang, and Z. Zhao, "Comparison and analysis of the effects of spark timing and lambda on a high-speed spark ignition engine fuelled with n-butanol/gasoline blends," *Fuel*, vol. 287, no. August, p. 119505, 2021, doi: 10.1016/j.fuel.2020.119505.
- [2] F. Fatkhurozak and Syaiful, "Effect of Diethyl Ether (DEE) on Performances and Smoke Emission of Direct Injection Diesel Engine Fueled by Diesel and Jatropha Oil Blends with Cold EGR System," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 494, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/494/1/012005.
- [3] F. Fatkhurozak, F. L. Sanjaya, "Pengaruh Diethyl Ether pada Mesin Diesel Berbahan Bakar Diesel dan Jatropha Terhadap Smoke Opacity", vol. 9, no. 1, pp. 5–7, 2020.
- [4] F. L. Sanjaya, "Pengaruh Penambahan Butanol sebagai Campuran Bahan Bakar Premium terhadap Torsi dan Daya Mesin Bensin dengan Sistem EGR," vol. 1, no. 1, pp. 7–10, 2020, doi: 10.35970/accurate.v1i1.175.
- [5] 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, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.06.041.
- [6] S. Syarifudin and S. Syaiful, "Pengaruh Penggunaan Energi Terbarukan Butanol Terhadap Penurunan Emisi Jelaga Mesin Diesel Injeksi Langsung Berbahan Bakar Biodiesel Campuran Solar Dan Jatropha," *Infotekmesin*, vol. 10, no. 1, pp. 18–22, 2019, doi: 10.35970/infotekmesin.v10i1.20.
- [7] K. Liu, B. Deng, Q. Shen, J. Yang, and Y. Li, "Optimization based on genetic algorithms on energy conservation potential of a high speed SI engine fueled with butanol-gasoline blends," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 69–80, 2022, doi: 10.1016/j.egy.2021.11.289.
- [8] F. Sanjaya, S. Syaiful, and N. SINAGA, "Effect of butanol on performances and exhaust gas emissions of gasoline engine with egr system," *Int. J. Innov. Eng. Technol.*, vol. 13, no. 4, pp. 117–125, 2019.
- [9] M. N. A. M. Yusoff *et al.*, "Performance and emission characteristics of a spark ignition engine fuelled with butanol isomer-gasoline blends," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 57, no. September, pp. 23–38, 2017, doi: 10.1016/j.trd.2017.09.004.
- [10] J. Cha, J. Kwon, Y. Cho, and S. Park, "The effect of Exhaust Gas Recirculation (EGR) on combustion stability, engine performance and exhaust emissions in a gasoline engine," *KSME Int. J.*, 2001, doi: 10.1007/BF03185686.
- [11] Syarifudin, Syaiful, and E. Yohana, "Effect of butanol on

- fuel consumption and smoke emission of direct injection diesel engine fueled by jatropha oil and diesel fuel blends with cold EGR system,” *SHS Web Conf.*, vol. 49, p. 02010, 2018, doi: 10.1051/shsconf/20184902010.
- [12] L. Chen, T. Li, T. Yin, and B. Zheng, “A predictive model for knock onset in spark-ignition engines with cooled EGR,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 87, pp. 946–955, 2014, doi: 10.1016/j.enconman.2014.08.002.
- [13] Y. Li, Z. Ning, C. fon F. Lee, J. Yan, and T. H. Lee, “Effect of acetone-butanol-ethanol (ABE)–gasoline blends on regulated and unregulated emissions in spark-ignition engine,” *Energy*, vol. 168, pp. 1157–1167, 2019, doi: 10.1016/j.energy.2018.12.022.
- [14] Z. Chen, Y. Zhang, X. Wei, Q. Zhang, Z. Wu, and J. Liu, “Thermodynamic process and performance of high n-butanol/gasoline blends fired in a GDI production engine running wide-open throttle (WOT),” *Energy Conversion and Management*, vol. 152, pp. 57–64, 2017, doi: 10.1016/j.enconman.2017.09.037.
- [15] H. Wei, T. Zhu, G. Shu, L. Tan, and Y. Wang, “Gasoline engine exhaust gas recirculation - A review,” *Appl. Energy*, vol. 99, no. 2015, pp. 534–544, 2012, doi: 10.1016/j.apenergy.2012.05.011.
- [16] T. Li, T. Yin, and B. Wang, “Anatomy of the cooled EGR effects on soot emission reduction in boosted spark-ignited direct-injection engines,” *Appl. Energy*, vol. 190, pp. 43–56, 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.12.105.
- [17] D. Agarwal, S. K. Singh, and A. K. Agarwal, “Effect of Exhaust Gas Recirculation (EGR) on performance, emissions, deposits and durability of a constant speed compression ignition engine,” *Appl. Energy*, vol. 88, no. 8, pp. 2900–2907, 2011, doi: 10.1016/j.apenergy.2011.01.066.
- [18] F. L. Sanjaya, Syaiful, and D. N. Sinaga, “Effect of Premium-Butanol Blends on Fuel Consumption and Emissions on Gasoline Engine with Cold EGR System,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1373, no. 1, pp. 11–17, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1373/1/012019.
- [19] M. S. M. Zaharin, N. R. Abdullah, H. H. Masjuki, O. M. Ali, G. Najafi, and T. Yusaf, “Evaluation on physicochemical properties of iso-butanol additives in ethanol-gasoline blend on performance and emission characteristics of a spark-ignition engine,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 144, pp. 960–971, 2018, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2018.08.057.
- [20] H. Sharudin, N. R. Abdullah, G. Najafi, R. Mamat, and H. H. Masjuki, “Investigation of the effects of iso-butanol additives on spark ignition engine fuelled with methanol-gasoline blends,” *Appl. Therm. Eng.*, 2017, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2016.12.017.
- [21] A. S. Ayodhya, V. T. Lamani, P. Bedar, and G. N. Kumar, “Effect of exhaust gas recirculation on a CRDI engine fueled with waste plastic oil blend,” *Fuel*, vol. 227, no. X, pp. 394–400, 2018, doi: 10.1016/j.fuel.2018.04.128.
- [22] C. Hergueta, M. Bogarra, A. Tsolakis, K. Essa, and J. M. Herreros, “Butanol-gasoline blend and exhaust gas recirculation, impact on GDI engine emissions,” *Fuel*, vol. 208, pp. 662–672, 2017, doi: 10.1016/j.fuel.2017.07.022.
- [23] G. Dhamodaran, G. S. Esakkimuthu, Y. K. Pochareddy, and H. Sivasubramanian, “Investigation of n-butanol as fuel in a four-cylinder MPFI SI engine,” *Energy*, vol. 125, pp. 726–735, 2017, doi: 10.1016/j.energy.2017.02.134.
- [24] S. Verma, L. M. Das, S. C. Kaushik, and S. S. Bhatti, “The effects of compression ratio and EGR on the performance and emission characteristics of diesel-biogas dual fuel engine,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 150, no. January, pp. 1090–1103, 2019, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2019.01.080.