

Brake Thermal Efficiency dan Exhaust Gas Temperature Mesin Bensin Berbahan Bakar Gasoline-Butanol

Firman Lukman Sanjaya^{1*}, Faqih Fatkhurrozak², Syarifudin³, Amin Nur Akhmadi⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Harapan Bersama Tegal

^{1,2,3,4} Jln.Mataram No. 9, Pesurungan Lor, Kota Tegal, 52147, Indonesia

E-mail: sanjaya.firman51@gmail.com^{1*}, faqihyani14@gmail.com², masudinsyarif88@gmail.com³, aminnurakhmadi@gmail.com⁴

Info Naskah:

Naskah masuk: 30 Nopember 2023

Direvisi: 2 Desember 2023

Diterima: 29 Desember 2023

Abstrak

Pengembangan butanol sebagai aditif *gasoline* didorong oleh pemerintah guna mengurangi polusi dan krisis bahan bakar. Hal ini karena butanol merupakan *greenfuel* yang ramah lingkungan dan dapat diproduksi. Selain itu, *octane number* dan konsentrasi oksigen yang tinggi pada butanol mengoptimalkan performa mesin serta memperbaiki emisi. Penelitian ini mengkorelasikan daya dan *Brake specific fuel consumption* (BSFC) mesin terhadap *Brake Thermal Efficiency* (BTE) mesin berbahan bakar *gasoline*-butanol dan mengidentifikasi kandungan senyawa No_x pada gas buang melalui *Exhaust Gas Temperature* (EGT) mesin. Persentase butanol pada *gasoline* 5% -15%. Kecepatan mesin dari 1000-3000 rpm. *Dynotest* digunakan untuk mengukur BTE sedangkan termokopel untuk mengukur temperatur gas buang. Penelitian ini membuktikan penambahan butanol meningkatkan penyerapan energi yang dikonversikan menjadi tenaga dengan efektifitas konsumsi bahan bakar yang berarti BTE meningkat. Peningkatan BTE tertinggi sebesar 21,7% pada campuran B15. EGT menurun sebesar sebesar 8,6% pada campuran B16 dibanding B0. Hal ini mengidentifikasi bahwa konsentrasi No_x pada gas buang juga menurun.

Keywords:

gasoline;

butanol;

brake thermal efficiency;

exhaust gas temperature.

Abstract

The development of butanol as a gasoline additive is encouraged by the government to reduce pollution and the fuel crisis. This is because butanol is a green fuel that is environmentally friendly and can be produced. In addition, the octane number and high oxygen concentration in butanol optimize engine performance and improve exhaust emissions. This research correlates engine power and Brake specific fuel consumption (BSFC) with the BTE of gasoline-butanol-fueled engines and identifies the content of No_x compounds in exhaust gases through engine Exhaust Gas Temperature (EGT). The percentage of butanol in gasoline is 5% -15%. Engine speed from 1000-3000 rpm. Dynotest is used to measure BTE while the thermocouple is used to measure exhaust gas temperature. This research proves that the addition of butanol increases energy absorption which is converted into power with effective fuel consumption which means BTE increases. The highest BTE increase was 21.7% in the B15 blend. EGT decreased by 8.6% in the B16 mixture compared to B0. This identifies that the concentration of No_x in the exhaust gas also decreases.

*Penulis korespondensi:

Firman Lukman Sanjaya

E-mail: sanjaya.firman51@gmail.com

1. Pendahuluan

Bahan bakar alternatif banyak dikembangkan oleh pemerintah untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil [1]. Selain itu, pemerintah juga mendorong para peneliti dan akademisi untuk melakukan penelitian terkait pengembangan bahan bakar alternatif sebagai sumber utama maupun tambahan untuk mesin transportasi [2][3]. Program peralihan penggunaan bahan bakar alternatif ini guna menyongsong bumi yang sehat bebas dari polusi dan krisis bahan bakar. Hal ini karena *gasoline* menghasilkan karbon monoksida dan No_x dari proses pembakaran [4]. Selain itu, *gasoline* juga tidak dapat diproduksi hanya dapat diolah dari minyak mentah menjadi bahan bakar sehingga pada saatnya minyak bumi habis akan terjadi krisis. Oleh karena itu, pengembangan bahan bakar alternatif sangat didorong. Bahan bakar alternatif yang banyak dikembangkan adalah butanol [5].

Butanol merupakan golongan alkohol yang memiliki *octane number* tinggi sehingga saat ditambahkan pada *gasoline* dapat meningkatkan *octane number* campuran bahan bakar sehingga dapat meningkatkan kemampuan menerima tekanan di ruang bakar dan ledakan yang dihasilkan optimal serta meningkatkan daya mesin [6]. Selain itu, kandungan oksigen pada butanol cukup tinggi dan mempercepat perambatan nyala api sehingga *gasoline* terbakar menyeluruh dan lebih sempurna. *Gasoline* terbakar seluruhnya dan tidak ada yang terbuang melalui *exhaust* sehingga daya mesin lebih optimal yang berarti konsumsi bahan bakar lebih hemat [7]. Butanol juga memiliki nilai kalor rendah yang mengakibatkan temperatur pembakaran tidak meningkat secara signifikan namun daya mesin tetap optimal sehingga *Exhaust Gas Temperature* mesin lebih rendah. Hal ini karena saat mesin berkecepatan tinggi, oksigen dalam butanol ikut berperan dalam pembakaran sehingga daya mesin optimal namun temperatur gas buang lebih rendah [8]. Selain itu, butanol memiliki panas laten penguapan yang tinggi sehingga butanol mudah menguap pada temperatur relatif rendah. Temperatur nyala butanol rendah yang mengakibatkan suhu pembakaran maksimum rendah sehingga *exhaust gas temperature* menurun [9] [10]. *Exhaust Gas Temperature* sebagai identifikasi kandungan emisi No_x pada gas buang. Semakin tinggi *exhaust gas temperature* semakin tinggi pula No_x yang dihasilkan mesin. No_x merupakan gas mono-nitrogen oksida yang terbentuk dari reaksi nitrogen dan oksigen pada proses pembakaran dengan temperatur tinggi [11].

Pada penelitian lain, Butanol digunakan sebagai campuran *gasoline* RON-90 untuk mesin dengan kapasitas 110 cc dan terbukti dapat meningkatkan daya mesin tersebut. Daya tertinggi mesin bensin dihasilkan oleh *gasoline* yang dicampur butanol 18% sebesar 8,23 kW. Penambahan butanol pada *gasoline* meningkatkan LCV yang mengakibatkan kecepatan mesin dan proses pembakaran meningkat. Tingkat LCV campuran *gasoline* menandakan tingkat pelepasan energi panas dari pembakaran dalam silinder [12]. Gatot Setyono, dkk (2023) [13] mencampurkan butanol pada *gasoline* yang diujikan pada mesin bensin dengan kapasitas 110 cc. Performa mesin meningkat pada penggunaan campuran B18 sebesar 10% untuk daya mesin dan 24% untuk *brake thermal efficiency* dibanding *gasoline*.

Peningkatan performa mesin karena *octane number* pada butanol lebih tinggi dibanding *gasoline* sehingga campuran bahan bakar mampu menerima tekanan lebih tinggi saat dikompresikan. Selain itu, penambahan butanol meningkatkan panas laten penguapan dalam silinder. Hal ini menyebabkan butanol mudah menguap dan terbakar secara merata sehingga daya mesin yang dihasilkan optimal dengan konsumsi bahan bakar lebih efisien.

Isam E. Yousif, dkk (2023) [4] melakukan eksperimen penambahan butanol 25% (G75B25) dan 50% (G50B50) pada *gasoline* untuk mesin bensin. *Brake Thermal Efficiency* meningkat 3,63% pada G75B25 dan 1,8% pada G50B50 dibanding G100. Penambahan butanol mengoptimalkan daya mesin dengan konsumsi bahan bakar yang lebih sedikit. Hal ini berarti *Brake Thermal Efficiency* mesin meningkat dibanding penggunaan *gasoline* murni. Butanol dalam ruang bakar meningkatkan proses oksidasi dan mempercepat pembakaran. Proses ini terjadi karena butanol memiliki kandungan oksigen yang lebih banyak dibanding *gasoline* [14]. Selain itu, penambahan butanol pada *gasoline* menurunkan nilai kalor yang menyebabkan penurunan temperatur gas buang. Penurunan *Exhaust Gas Temperature* mesin tertinggi sebesar 0,4% pada G75B25 dan 0,3% pada G50B50. Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan butanol meningkatkan kinerja mesin tanpa meningkatkan temperatur gas buang mesin.

Butanol merupakan alkohol yang terbuat dari bahan nabati dan sedang dikembangkan sebagai campuran *gasoline*. Karakteristik butanol hampir sama dengan *gasoline* sehingga butanol memungkinkan digunakan sebagai campuran *gasoline*. *Octane number* dan oksigen yang tinggi pada butanol mampu meningkatkan karakteristik *gasoline* sehingga kinerja mesin lebih baik [15]. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menguji *brake thermal efficiency* dan *exhaust gas temperature* mesin bensin berbahan bakar *gasoline* dan butanol.

2. Metode

Mesin bensin kapasitas 160 CC dengan sistem bahan bakar karburator digunakan dalam penelitian ini. Proses pengujian menggunakan variasi kecepatan mesin 1000, 2000 dan 3000 rpm. Spesifikasi mesin uji dipaparkan pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Mesin Uji

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Tipe Mesin	Bensin
2	Sistem Bahan Bakar	Karburator
3	Jumlah Silinder	1
4	Kapasitas Mesin	156,7 cc (160 cc)
5	Jumlah Katup	2 Katup
6	Daya Maksimum	13,3 Ps @ 8500 rpm
7	Torsi Maksimum	1,3 kg.f/m @6500 rpm
8	Sistem Pendingin	Udara
9	Sistem Pengapian	CDI-DC, Battery

Butanol menjadi aditif untuk *gasoline*. Prosentase butanol 5%, 10% dan 15% dari total volume bahan bakar yang digunakan. *Gasoline* yang digunakan adalah bahan bakar bensin dengan nilai RON-90. Adapun detail persentase campuran bahan bakar ditunjukkan pada tabel 2.

Propertis butanol sangat mempengaruhi proses pembakaran di silinder. *Octan number*, kandungan oksigen dan massa jenis butanol memiliki nilai yang lebih tinggi dibanding *gasoline*. Namun, propertis lain seperti nilai kalor, dan viskositas butanol lebih rendah dibanding *gasoline*. Propertis *gasoline* dan butanol dipaparkan pada tabel 3.

Tabel 2. Kode Bahan Bakar

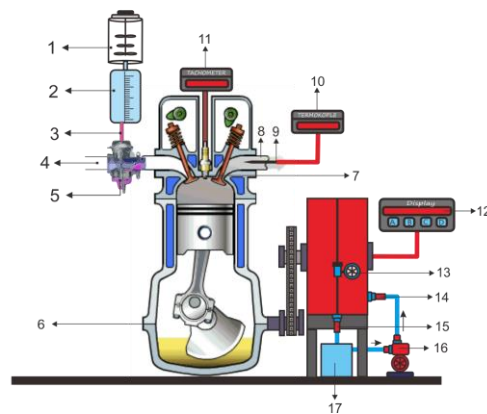
No	Kode Bahan Bakar	Persentase	
		Gasoline	Butanol
1	B0	100%	-
2	B5	95%	5%
3	B10	90%	10%
4	B15	85%	15%

Tabel 3. Propertis *Gasoline* dan Butanol

No	Propertis	Satuan	Gasoline	Butanol
1	Octane Number	RON	90	98,3
2	Calorific Value	MJ/Kg	43,4	33,3
3	Oxygen Content	%	2	21,6
4	Density	Kg/m ³	715-765	815
5	Viscosity at 40°C	mm ² /s	0,4	2,63

Pengujian dilakukan dalam skala laboratorium. Mesin dan alat uji dikalibrasi sebelum proses pengujian sehingga mesin dalam keadaan prima. Setting mesin uji dipaparkan pada gambar 1. *Running test* juga dilakukan guna mengetahui kondisi mesin dan alat uji. Bila mesin dan alat uji belum sesuai dengan standar dapat dikalibrasi kembali hingga kondisi mesin dan alat uji dalam keadaan optimal. Selanjutnya, *Blending* bahan bakar *gasoline* dan butanol dengan persentase yang telah dan dimasukan pada mixer sehingga tercampur secara homogen. Waktu konsumsi bahan bakar diukur menggunakan stopwatch. Campuran bahan bakar mengalir pada karburator untuk dikabutkan sebelum masuk ke silinder. Pembakaran pada silinder menghasilkan gaya dorong piston untuk menggerakkan poros engkol dan diteruskan pada dynotest. Dynotest berguna untuk memberikan beban pada mesin sehingga prestasi mesin dapat dianalisis.

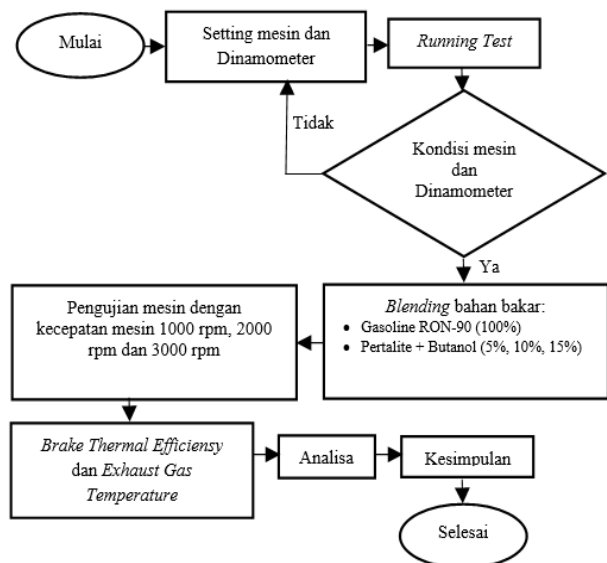
Pengujian dilakukan dengan variasi kecepatan mesin dan campuran bahan bakar. *Brake thermal efficiency* (BTE) dan *exhaust gas temperature* (EGT) adalah nilai yang dicari dalam pengujian ini. BTE mengindikasikan seberapa besar energi dari bahan bakar yang dikonversikan menjadi tenaga mesin. BTE didapat dari korelasi antara daya mesin dengan *Brake specific fuel consumption* (BSFC) dan LHV bahan bakar. Data yang sudah di dapat dianalisa dan dikomparasikan dengan penelitian sebelumnya sehingga didapat kesimpulan hasil pengujian tersebut. Alur penelitian dijelaskan pada Gambar 2.



Gambar 1. Setting mesin dan alat uji

Keterangan:

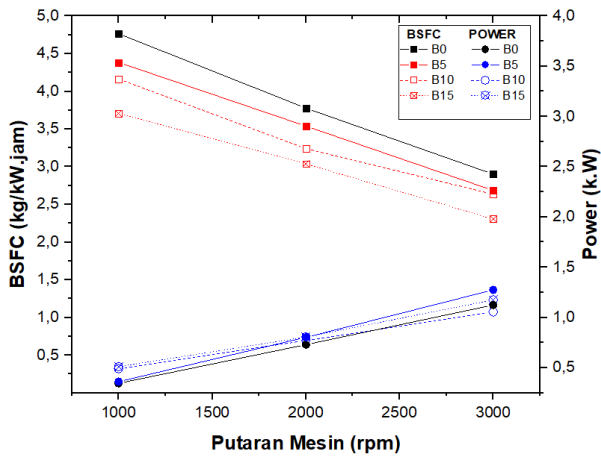
- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| 1. Mixer | 10. Display termokople |
| 2. Burret | 11. Tachometer |
| 3. Selang bahan bakar | 12. Display Dinamometer |
| 4. Intake | 13. Katup pembebanan |
| 5. Karburator | 14. Input pendingin |
| 6. Mesin | 15. Output pendingin |
| 7. Busi | 16. Pompa pendingin |
| 8. Exhaust | 17. Bak Pendingin |
| 9. Sensor termokople | |



Gambar 2. Alur Penelitian

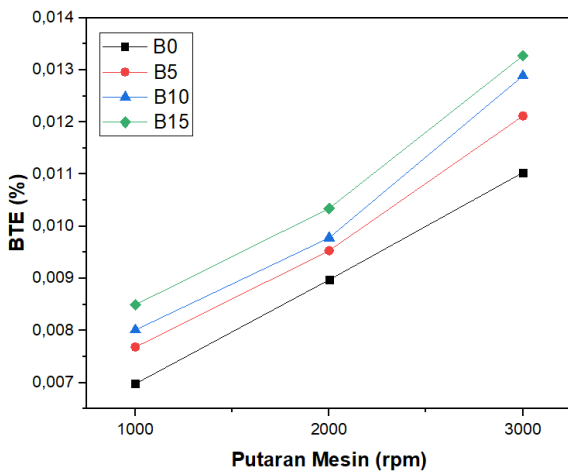
3. Hasil dan Pembahasan

Butanol adalah bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dan dapat diproduksi. Butanol dikembangkan sebagai aditif *gasoline*. Hal ini karena propertis butanol seperti *octane number* dan kandungan oksigen yang lebih tinggi dapat mengoptimalkan kinerja mesin [16]. Oleh karena itu, penelitian ini menganalisa performa mesin bensin berbahan bakar *gasoline* dengan aditif butanol 5%, 10% dan 15%. Penelitian ini menganalisa korelasi energi yang diserap menjadi tenaga mesin sehingga nilai *brake thermal efficiency* terjadi. Adapun korelasi daya mesin dan BSFC serta BTE ditunjukkan pada gambar 3 dan gambar 4.



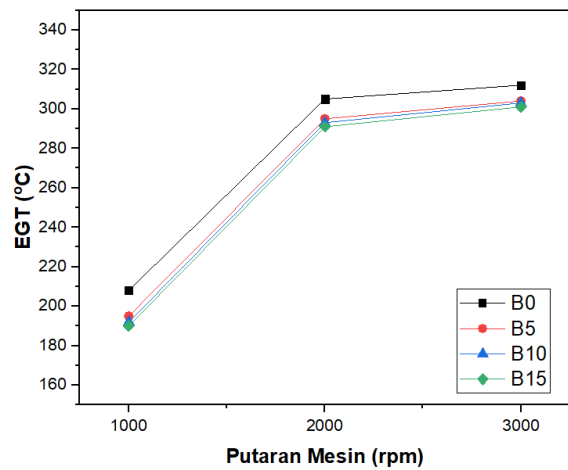
Gambar 3. Daya dan BSFC mesin dengan variasi campuran bahan bakar gasoline dan butanol

Peningkatan tertinggi pada setiap variasi persentase campuran bahan bakar terjadi pada campuran B15 sebesar 21,7% dengan kecepatan 1000 rpm, campuran B10 sebesar 16,8% dengan kecepatan 3000 rpm dan campuran B5 sebesar 10,1% dengan kecepatan 1000 rpm dibanding dengan B0. Tingginya oksigen pada butanol meningkatkan oksidasi dalam silinder sehingga nyala api merambat lebih cepat dan pembakaran lebih optimal. Selain itu, *octane number* butanol lebih tinggi dari gasoline yang mengakibatkan *octane number* dalam silinder meningkat pula. Proses tersebut meningkatkan BTE walaupun *octane number* meningkat tidak signifikan tapi mampu meningkatkan BTE mesin [19] [20]. *Octane number* merupakan angka ketahanan bahan bakar saat menerima tekanan. Selain itu, tingginya *octane number* meningkatkan kekuatan bahan bakar dalam menerima tekanan sehingga energi ledakan meningkat dan piston mendapatkan gaya dorong kuat saat langkah usaha [21] [5].



Gambar 4. BTE mesin bensin dengan variasi campuran gasoline dan butanol

Gambar 3. menunjukkan bahwa bertambahnya kecepatan mesin sejalan dengan meningkatnya daya mesin namun BSFC menurun. Penambahan butanol pada gasoline meningkatkan daya mesin dan menurunkan BSFC. Hal ini membuktikan bahwa penambahan butanol mampu meningkatkan daya serap energi yang dipancarkan bahan bakar menjadi tenaga mesin [7]. Butanol meningkatkan kandungan oksigen dalam gasoline sehingga mempercepat perambatan nyala api dalam silinder [17]. Selain itu, panas laten penguapan juga meningkat dan proses penguapan bahan bakar lebih cepat dari biasanya sehingga nyala api lebih merata dan dikonversikan menjadi tenaga lebih optimal [13]. Korelasi peningkatan daya mesin dengan penggunaan bahan bakar yang lebih rendah mengindikasikan BTE mesin mengalami peningkatan [18]. Daya mesin tertinggi terjadi pada kecepatan mesin 3000 rpm sebesar 1,27 kW sedangkan BSFC mengalami penurunan tertinggi pada kecepatan mesin 1000 rpm sebesar 3,54 kg/kWh dibanding penggunaan gasoline murni. Gambar 4. menunjukkan BTE mesin bensin dengan variasi campuran gasoline dan butanol. BTE meningkat sejalan dengan penambahan kecepatan mesin. Selain itu, penambahan butanol mempengaruhi BTE yang terjadi pada mesin. Peningkatan persentase butanol pada gasoline mengakibatkan peningkatan BTE mesin.



Gambar 5. EGT mesin bensin dengan variasi campuran gasoline dan butanol

Exhaust Gas Temperature (EGT) merupakan temperatur gas sisa hasil pembakaran yang keluar melalui saluran *exhaust*. EGT mengindikasikan kandungan No_x pada gas buang. Hasil EGT digambarkan pada gambar 5. Kecepatan putar mesin meningkat dan menghasilkan EGT yang tinggi. Namun, penambahan persentase butanol pada gasoline dapat menurunkan nilai EGT mesin. Penurunan EGT tertinggi terjadi pada kecepatan 1000 rpm pada setiap variasi campuran. Temperatur gas buang mesin dengan menggunakan campuran B0 sebesar 208°C, B5 sebesar 195 °C, B10 sebesar 192 °C dan B15 sebesar 190 °C. Hal ini berarti EGT turun sebesar 6,25% untuk B5, 7,69% untuk B10 dan 8,65% untuk B15 dibanding B0. Penurunan EGT terjadi karena nilai kalor butanol lebih rendah daripada gasoline. Walaupun nilai kalor butanol lebih rendah dibanding gasoline, namun oksigen yang tinggi pada butanol membantu pembakaran. Konsentrasi oksigen pada silinder meningkatkan penyebaran nyala api [22]. Hal ini menyebabkan temperatur pembakaran lebih rendah namun daya yang dihasilkan masih lebih baik sehingga EGT lebih rendah. Penurunan EGT mengidentifikasi rendahnya konsentrasi No_x pada gas buang [23] [24].

4. Kesimpulan

Korelasi antara daya dengan BSFC yang dihasilkan mesin dapat mengidentifikasi nilai BTE mesin tersebut. Selain itu, nilai EGT juga dapat mengindikasikan terbentuknya No_x pada gas buang karena No_x terjadi akibat temperatur tinggi pada silinder. Hasil penelitian membuktikan bahwa penambahan butanol meningkatkan daya dengan BSFC yang efisien sehingga nilai BTE meningkat. Hal ini karena penyerapan energi yang dikonversikan menjadi tenaga mesin optimal. Campuran B15 merupakan campuran bahan bakar yang meningkatkan BTE tertinggi yaitu sebesar 21,7% dibanding B0. Hal ini juga terjadi pada nilai EGT, penurunan EGT paling banyak sebesar 8,6% dibanding B0. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan 15% butanol pada *gasoline* meningkatkan performa dan menurunkan kan EGT paling optimal dibanding *gasoline* murni. Namun, perlu adanya penelitian yang lebih mendalam tentang emisi No_x yang terbentuk dari pengaruh penambahan butanol pada *gasoline*.

Ucapan Terimakasih

Dukungan dan bimbingan selalu dilakukan oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Politeknik Harapan Bersama dalam penelitian ini. Oleh karena itu, diucapkan terima kasih.

Daftar Pustaka

- [1] 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.egyr.2021.11.289.
- [2] E. Yohana and F. Fatkhurrozak, "Korelasi Konsentrasi Etanol 5 % Pada Bahan Bakar Gasolin Terhadap Performa , dan Emisi Gas Buang Mesin Bensin 150cc," vol. 14, no. 01, pp. 149–154, 2023, doi: 10.35970/infotekmesin.v14i1.1737.
- [3] F. L. Sanjaya, M. K. Usman, F. Fatkhurrozak, S. Syarifudin, and A. B. Hendrawan, "Efek Pencampuran Butanol dan Diethyl Ether (DEE) Pada Pertalite Terhadap Torsi, Daya dan Brake Spesific Fuel Consumption Mesin Bensin 160cc," *Infotekmesin*, vol. 14, no. 2, pp. 280–284, 2023, doi: 10.35970/infotekmesin.v14i2.1906.
- [4] I. E. Yousif and A. M. Saleh, "Butanol-gasoline blends impact on performance and exhaust emissions of a four stroke spark ignition engine," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 41, no. September 2022, p. 102612, 2023, doi: 10.1016/j.csite.2022.102612.
- [5] H. C. Zhao, S. B. Wang, T. Z. Yu, and P. Sun, "Study on combustion and emissions characteristics of acetone-butanol-Ethanol(ABE)/gasoline premixed fuel in CISI engines," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 51, no. September, p. 103591, 2023, doi: 10.1016/j.csite.2023.103591.
- [6] A. Verma, N. S. Dugala, and S. Singh, "Experimental investigations on the performance of SI engine with Ethanol-Premium gasoline blends," *Mater. Today Proc.*, vol. 48, no. xxxx, pp. 1224–1231, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.08.255.
- [7] M. Moslemin Koupaie, A. Cairns, J. Xia, H. Vafamehr, and T. Lanzanova, "Cyclically resolved flame and flow imaging in an alcohol fuelled SI engine," *Fuel*, vol. 237, no. October 2018, pp. 874–887, 2019, doi: 10.1016/j.fuel.2018.10.075.
- [8] 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," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 144, pp. 960–971, 2018, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2018.08.057.
- [9] A. Elfasakhany, "Exhaust emissions and performance of ternary iso-butanol-bio-methanol-gasoline and n-butanol-bio-ethanol-gasoline fuel blends in spark-ignition engines: Assessment and comparison," *Energy*, vol. 158, pp. 830–844, 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.05.120.
- [10] J. Infotekmesin, F. L. Sanjaya, and F. Fatkhurrozak, "Efek Penambahan Butanol Terhadap Emisi dan Temperatur Gas Buang Mesin Bensin EFI Menggunakan EGR," vol. 13, no. 01, pp. 8–12, 2022, doi: 10.35970/infotekmesin.v13i1.677.
- [11] R. Raman and N. Kumar, "Performance and emission characteristics of twin cylinder diesel engine fueled with mahua biodiesel and DEE," *Transp. Eng.*, vol. 2, no. August, p. 100024, 2020, doi: 10.1016/j.treng.2020.100024.
- [12] G. Setyono, D. Khusna, N. Kholili, L. Putra Sanjaya, and F. G. Argil 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, 2023, doi: 10.35970/infotekmesin.v14i2.1903.
- [13] 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, 2023, doi: 10.35970/infotekmesin.v14i1.1629.
- [14] F. L. Sanjaya, S. Syaiful, and S. Syarifudin, "Brake spesific fuel consumption, brake thermal efficiensy, dan emisi gas buang mesin bensin EFI dengan sistem EGR berbahan bakar premium dan butanol," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 170–176, 2020, doi: 10.24127/trb.v9i2.1178.
- [15] 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.
- [16] 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," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, vol. 1373, no. 1. doi: 10.1088/1742-6596/1373/1/012019.
- [17] H. Feng, H. Zhang, J. Wei, B. Li, and D. Wang, "The influence of mixing ratio of low carbon mixed alcohols on knock combustion of spark ignition engines," *Fuel*, vol. 240, no. 66, pp. 339–348, 2019, doi: 10.1016/j.fuel.2018.12.005.
- [18] S. Syarifudin and S. Syaiful, "Pengaruh Penggunaan Energi Terbarukan Butanol Terhadap Penurunan Emisi Jelaga Mesin Diesel Injeksi Langsung Berbahan Bakar Biodiesel Campuran Solar Dan Jatropa," *Infotekmesin*, vol. 10, no. 1, pp. 18–22, 2019, doi: 10.35970/infotekmesin.v10i1.20.
- [19] F. L. Sanjaya, "Brake spesific fuel consumption , brake thermal efficiensy , dan emisi gas buang mesin bensin EFI dengan sistem EGR berbahan bakar premium dan butanol," vol. 9, no. 2, pp. 170–176, 2020.
- [20] Syarifudin1, F. L. Sanjaya1, Y. S. , Faqih Fatkhurrozak1 , M. Khumaidi Usman1, and Hasan Koten, "Automotive Experiences," *Automot. Exp.*, vol. 2, no. 2, pp. 41–46, 2021.
- [21] F. Fatkhurrozak and Syaiful, "Effect of Diethyl Ether (DEE) on Performances and Smoke Emission of Direct Injection Diesel Engine Fueled by Diesel and Jatropa 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.
- [22] H. Huang, Z. Li, W. Teng, R. Huang, Q. Liu, and Y. Wang, "Effects of EGR rates on combustion and emission

- characteristics in a diesel engine with n-butanol/PODE3-4/diesel blends,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 146, pp. 212–222, 2019, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2018.09.126.
- [23] L. Zhao, W. Qi, X. Wang, and X. Su, “Potentials of EGR and lean mixture for improving fuel consumption and reducing the emissions of high-proportion butanol-gasoline engines at light load,” *Fuel*, vol. 266, no. November 2019, p. 116959, 2020, doi: 10.1016/j.fuel.2019.116959.
- [24] G. Li, T. H. Lee, Z. Liu, C. F. Lee, and C. Zhang, “Effects of injection strategies on combustion and emission characteristics of a common-rail diesel engine fueled with isopropanol-butanol-ethanol and diesel blends,” *Renew. Energy*, vol. 130, pp. 677–686, 2019, doi: 10.1016/j.renene.2018.06.099.