

Komparasi Efek *Gasoline-Butanol* dan *Gasoline-Ethanol* Terhadap *Exhaust Gas Temperature* dan *Emissions* Mesin EFI

Firman Lukman Sanjaya^{1*}, Faqih Fatkhurrozak², Syarifudin³, M. Khumaidi Usaman⁴, Agus Wibowo⁵

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

⁵Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Pancasakti

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

⁵Jl. Halmahera KM. 01, Mintaragen, Kec. Tegal Timur, Kota Tegal

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

Info Naskah:

Naskah masuk: 30 Mei 2024

Direvisi: 27 Juni 2024

Diterima: 8 Juli 2024

Abstrak

Penggunaan *gasoline* pada kendaraan menghasilkan emisi CO, HC dan No_x yang berbahaya bagi lingkungan. Penggunaan alkohol *butanol* dan *ethanol* sebagai tambahan *gasoline* dapat mereduksi emisi polutan. Hal ini karena alkohol memiliki *oxygen content* yang tinggi dan membantu pembakaran lebih sempurna. Penelitian ini mengkomperasikan hasil *Exhaust Gas Temperature* dan *Emissions* mesin EFI menggunakan *gasoline-butanol* dan *gasoline-ethanol*. Mesin EFI yang digunakan berkapasitas 150CC. Alkohol yang digunakan *butanol* dan *ethanol* dengan persentase 5%, 10% dan 15% pada setiap pengujian. Hasil uji menunjukkan penurunan EGT tertinggi terjadi pada campuran E15 sebesar 23,98% dan B15% sebesar 8,65. Sedangkan emisi CO mengalami penurunan tertinggi pada E10 sebesar 53,6% dan B15 sebesar 44,6%. Emisi HC juga mengalami penurunan tertinggi pada E15 sebesar 70,5% dan B15 sebesar 66,7% dibanding *gasoline*. Namun, emisi CO₂ meningkat hingga 17,07% pada campuran E15 dan 11,46% pada B15. Hal ini membuktikan penambahan *ethanol* menghasilkan pembakaran lebih sempurna dibandingkan penambahan *butanol*.

Keywords:

gasoline;

butanol;

ethanol;

exhaust gas temperature;

emissions.

Abstract

The use of gasoline in vehicles produces CO, HC, and NO_x emissions which are dangerous for the environment. Using butanol and ethanol as additional gasoline can reduce pollutant emissions. This is because alcohol has a high oxygen content and helps combustion more completely. This research compares the Exhaust Gas Temperature and Emissions results of EFI engines using gasoline-butanol and gasoline-ethanol. The EFI engine used has a capacity of 150CC. The alcohol used was butanol and ethanol with a percentage of 5%, 10%, and 15% in each test. The test results showed that the highest EGT reduction occurred in the E15 mixture at 23.98% and B15% at 8.65. Meanwhile, CO emissions experienced the highest reduction in E10 by 53.6% and B15 by 44.6%. HC emissions also experienced the highest reduction in E15 by 70.5% and B15 by 66.7% compared to gasoline. However, CO₂ emissions increased to 17.07% in the E15 mixture and 11.46% in B15. This proves that the addition of ethanol produces more complete combustion than the addition of butanol.

*Penulis korespondensi:

Firman Lukman Sanjaya

E-mail: sanjaya.firman51@gmail.com

1. Pendahuluan

Transportasi merupakan penyumbang utama semakin buruknya kualitas udara di Indonesia. Hal ini mendorong pemerintah mengambil tindakan untuk mengatasi masalah tersebut seperti meningkatkan fasilitas transportasi publik untuk mengurangi penggunaan transportasi pribadi dalam menjalankan kegiatan sehari-hari [1]. Selain itu, pemerintah juga menggenjot penggunaan transportasi yang ramah lingkungan salah satunya adalah penggunaan bahan bakar hijau untuk transportasi [2]. Untuk mendukung program bahan bakar hijau yang dicanangkan pemerintah, para akademisi didorong untuk meneliti bahan bakar alternatif yang dapat menggantikan *gasoline* dan ramah lingkungan [3]. *Biofuel* merupakan salah satu bahan bakar alternatif pencampuran *gasoline* dan alkohol. Alkohol yang banyak dikembangkan sebagai *biofuel* adalah butanol dan etanol [4]; [5].

Butanol dan etanol memiliki sifat fisik yang menyerupai *gasoline* sehingga hasil pencampuran *biofuel* homogen. Butanol dan etanol mempunyai nilai *octane number* yang tinggi. Hal ini meningkatkan nilai *octane* dan oksigen pada *gasoline* saat dicampurkan. Peningkatan ini berdampak positif pada tingginya gaya tekan yang dapat diterima campuran *gasoline* saat piston mengkompresnya pada TMA. Tingginya kompresi campuran *gasoline* meningkatkan kemungkinan ledakan yang terjadi semakin besar dan gaya dorong piston ke TMB ikut meningkat. Hasil proses tersebut menambah nilai torsi mesin [6]; [7]. Selain itu, butanol dan etanol memiliki *oxygent content* lebih besar dibanding *gasoline* sehingga penambahkannya pada *gasoline* dapat menaikkan nilai *oxygent content*. Peran *oxygent content* pada pembakaran adalah agen pengoksidasi yang bereaksi pada *gasoline* untuk menghasilkan panas dan meningkatkan reaksi eksotermik yang melepas energi panas di silinder. Selain itu, *oxygent content* berperan sebagai media perambakan nyala api sehingga bertambahnya *oxygent* meningkatkan penyebaran nyala api pada silinder. Hal ini mengakibatkan campuran *gasoline* terbakar seluruhnya [8]; [9].

Gatot Setyono, dkk., (2023) [10] menguji dampak butanol yang dikombinasikan dengan *gasoline* terhadap *exhaust gas emissions* mesin bensin. Hasil uji nilai CO berkurang hingga 1,8% dibanding *gasoline* murni. Kadar oksigen pada campuran *gasoline* dan udara (rasio A/F) mempengaruhi kadar CO yang dihasilkan. Kekurangan oksigen pada campuran tersebut mengakibatkan reaksi oksigen dan karbon yang tidak sempurna sehingga terbentuklah CO. Dengan penambahan butanol pada *gasoline* meningkatkan *oxygent content* didalamnya sehingga reaksi oksigen dan karbon sempurna. Hal ini meminimalisir terbentuknya emisi CO. Menurut Isam E.Y, dkk., (2023) [11] penambahan butanol pada *gasoline* menurunkan LHV sehingga temperatur bakar pada silinder cenderung turun dan temperatur gas sisa pembakaran yang keluar pun menurun. Namun, tingginya *oxygent content* pada butanol menaikkan pembakaran silinder saat kecepatan mesin meningkat sehingga temperatur gas buang pun naik pula.

Mortadha, dkk., (2021) [12] membuktikan bahwa etanol dapat menaikkan *oxygent content gasoline* didalam

silinder. Hal ini mengoptimalkan proses oksidasi sehingga lebih pembakaran sempurna. Reaksi tersebut merubah karbon dalam *gasoline* diubah menjadi CO₂ dan semua hidrogen juga diubah menjadi H₂O sehingga tidak ada sisa *gasoline* yang tidak terbakar atau kandungan yang berbahaya lainnya. Penelitian tersebut menunjukkan penurunan CO hingga 26,33% setelah etanol dicampurkan dengan *gasoline*. Faruk oral, dkk., (2024) [13] pun membuktikan bahwa etanol yang ditambahkan pada *gasoline* mereduksi CO mesin hingga rata-rata 17,56% dibanding *gasoline* murni. Etanol memiliki lebih banyak oksigen dan lebih sedikit karbon dalam struktur kimianya dibandingkan *gasoline*, yang menjamin pembakaran campuran *gasoline* yang efisien dan mengurangi emisi CO. Selain itu, penelitian ini juga menunjukkan bahwa penambahan etanol pada *gasoline* berdampak menurunkan HC hingga 6,4%. Penambahan etanol meningkatkan laju pembentukan OH, menghasilkan pembakaran campuran *gasoline* yang lebih efisien dan akibatnya mengurangi emisi HC. Selain itu, Fakta bahwa etanol mengandung lebih banyak oksigen dalam struktur kimianya dibandingkan dengan *gasoline*, memiliki titik didih rendah, dan memiliki panas laten penguapan yang tinggi, meningkatkan efisiensi pembakaran campuran bahan bakar dan menyebabkan penurunan emisi HC [14]. Etanol juga dapat menurunkan nitrogen oxide (No_x). Hal ini disebabkan oleh peningkatan efek aliran energi pendinginan bahan bakar campuran, yang sedikit mengurangi tekanan gas silinder dan durasi pembakaran. Selain itu, emisi No_x yang rendah dapat didukung pada tingkat yang lebih tinggi dengan menunda waktu pengapian tanpa mengurangi peningkatan efisiensi termal, karena perambatan api hidrogen yang cepat memungkinkan pembakaran yang stabil [15].

Sifat fisik alkohol *butanol* dan *Ethanol* menyerupai *gasoline* bahkan beberapa sifat fisiknya lebih baik seperti *octane number* dan *oxygent content*. Hal ini dapat mengoptimalkan efisiensi pembakaran dan mereduksi *emissions*. Oleh karena itu, penelitian ini mengkomparasi *gasoline-butanol* dan *gasoline-ethanol* terhadap *exhaust gas temperatur* dan *emissions* mesin bensin sehingga dapat diketahui alkohol yang paling tinggi mereduksi *exhaust gas temperatur* dan *emissions* mesin bensin.

2. Metode

Mesin volume silinder 150 CC dengan sistem bahan bakar *Electric Fuel Injection* (EFI) adalah mesin yang digunakan dalam penelitian ini. Mesin tersebut juga merupakan mesin 4 langkah yang memiliki 2 katup dan satu piston. Sistem pendingin mesin menggunakan air sehingga pendinginan mesin lebih baik. Detail mesin tersebut dirinci pada tabel 1.

Etanol dan butanol digunakan sebagai suplemen *gasoline*. Total volume campuran *gasoline* adalah 100 ml pada setiap pengujian. *Gasoline* dengan RON-92 dipilih sebagai bahan bakar utama. Etanol dan butanol *pro analys* sebagai aditif campuran *gasoline*. Kode dan persentase campuran *gasoline* dijelaskan pada tabel 2. Penambahan *ethanol* dan *butanol* secara teori mampu mempengaruhi sifat fisik *gasoline*. *ethanol* dan *butanol* memiliki beberapa sifat fisik yang lebih tinggi dari *gasoline* seperti *octane*

number dan oxygen content. Namun, *Low Heating Value* (LHV) alkohol lebih rendah dibanding *gasoline*. Sifat fisik *gasoline-butanol-ethanol* dirinci pada tabel 3.

Tabel 1. Detail Mesin

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Tipe Mesin	Bensin
2	Tipe Langkah Mesin	4 Langkah
3	Sistem Bahan Bakar	PGM-FI
4	Jumlah Silinder	1
5	Kapasitas Mesin	149,8 cc (150 cc)
6	Jumlah Katup	2 Katup
7	Daya Maksimum	11,1 kW @ 8500 rpm
8	Torsi Maksimum	13,1 Nm @6500 rpm
9	Sistem Pendingin	Air
10	Transmisi	Manual (5 Speed)

Tabel 2. Kode Campuran *Gasoline*

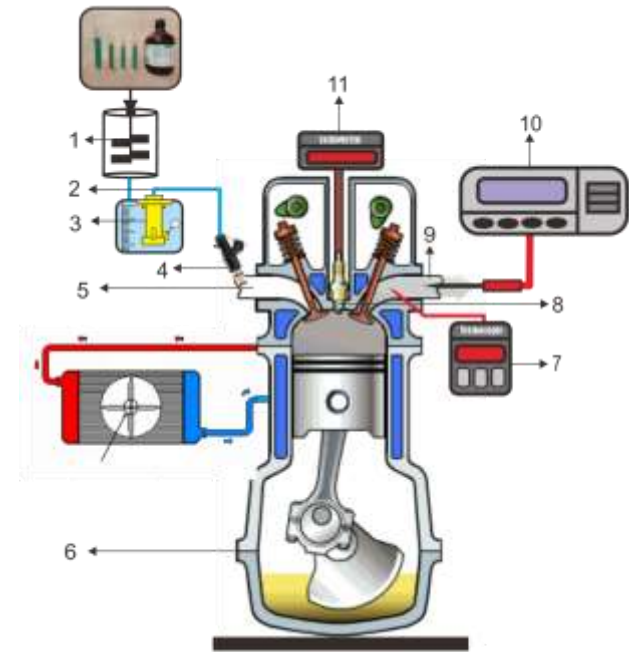
No	Kode Bahan Bakar	Persentase		
		<i>Gasoline</i>	<i>Butanol</i>	<i>Ethanol</i>
1	G100	100%	-	-
2	B5	95%	5%	-
3	B10	90%	10%	-
4	B15	85%	15%	-
5	E5	95%	-	5%
6	E10	90%	-	10%
7	E15	85%	-	15%

Tabel 3. Sifat Fisik *Gasoline-Butanol-Ethanol*

No	Propertis	Satuan	<i>Gasoline</i>	<i>Butanol</i>	<i>Ethanol</i>
1	Octane Number	RON	92	98,3	100
2	Low Heating Value (LHV)	MJ/Kg	43,4	33,3	31,4
3	Oxygent Content	%	-	21,6	34,8
4	Density	Kg/m ³	715-765	815	795
5	Viscosity	mm ² /s	1,08	2,63	0,4

Exhaust Gas Temperature (EGT) dan *Emissions* merupakan data yang digunakan dalam mengkomperasi efek penggunaan *gasoline-butanol* dan *gasoline-ethanol* pada pengujian ini. Pengukuran EGT menggunakan termokople yang dipasang pada *exhaust manifold* dan pengukuran *emissions* menggunakan *gas analyzer* dengan data yang ditampilkan adalah karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), dan karbon dioksida (CO₂). Alat ukur dikalibrasi untuk memastikan hasil pengukuran akurat. Mesin EFI diuji untuk memastikan kondisi bekerja sesuai fungsinya dan standar. Konfigurasi mesin dan alat uji ditunjukkan pada gambar 1. Pencampuran *gasoline-butanol-ethanol* dibantu menggunakan *mixer* yang bertujuan meningkatkan homogenitas campuran tersebut. Campuran *gasoline* didorong menggunakan *fuel pump* menuju *intake manifold* dan bercampur dengan udara segar sehingga penguapan menjadi fase gas sebelum masuk ke silinder. Pembakaran terjadi saat campuran *gasoline* terkompres akibat dorongan piston yang mengakibatkan tekanan dan temperatur dalam silinder meningkat. Reaksi pembakaran antara *gasoline* dan udara menghasilkan energi panas untuk memberikan gaya piston saat langkah usaha.

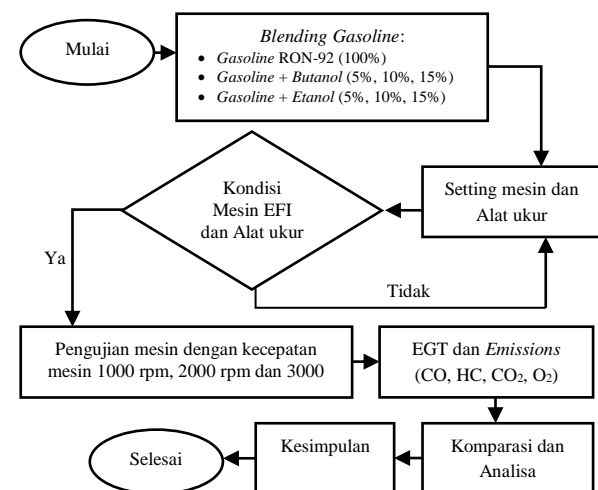
Selain itu, reaksi pembakaran menghasilkan produk CO₂ dan H₂O namun, juga ada beberapa kandungan lain yang dihasilkan pembakaran tersebut seperti CO dan HC. Kadar *emissions* yang dikeluarkan dapat mengidentifikasi pembakaran yang terjadi sempurna atau tidak. Sedangkan EGT dapat mengidentifikasi terbentuknya *Nitrogen Oxide* (NO_x). Pengujian dilakukan pada variasi kecepatan putaran mesin yaitu 1000, 2000 dan 3000 rpm. Diagram penelitian dipaparkan pada gambar 2.



Gambar 1. Konfigurasi mesin dan alat uji

Keterangan:

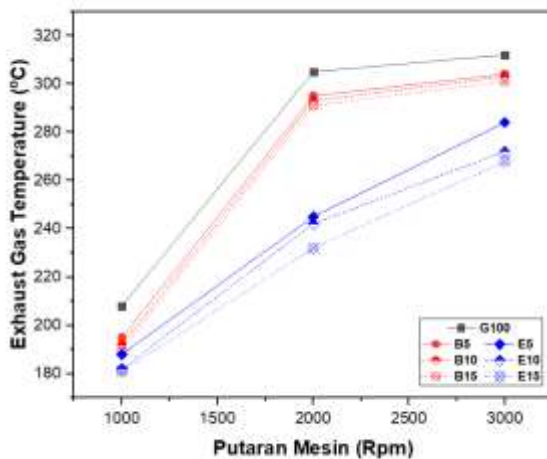
- | | |
|-------------------------|---------------------|
| 1. Mixer | 7. Termocople |
| 2. Fuel Line | 8. Spark Ignition |
| 3. Burret and Fuel Pump | 9. Exhaust Manifold |
| 4. Injector | 10. Gas Analyzer |
| 5. Intake Manifold | 11. Tachometer |
| 6. Engine | |



Gambar 2. Diagram Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

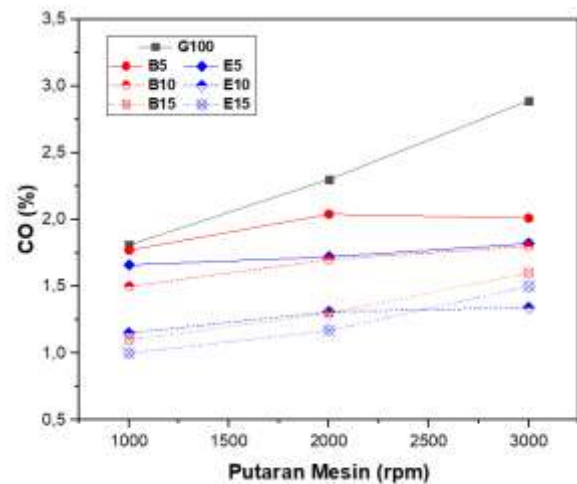
Butanol dan *Ethanol* merupakan alkohol yang dapat digunakan sebagai campuran *gasoline* dan ramah lingkungan. Penelitian ini mengkomparasi penggunaan *gasoline-butanol* dan *gasoline-ethanol* terhadap EGT dan *emissions* mesin EFI. Penambahan *butanol* dan *ethanol* pada *gasoline* menurunkan EGT mesin EFI. Penurunan terbesar terjadi pada campuran E15 sebesar 23,98% dan campuran B15 sebesar 8,56% pada putaran 1000 rpm. *Gasoline-ethanol* terbukti menurunkan EGT dibanding campuran *gasoline-butanol* dan *gasoline* murni. Hasil komparasi EGT mesin EFI dengan variasi campuran *gasoline-butanol* dan *gasoline-ethanol* ditunjukkan pada gambar 3. *Butanol* dan *ethanol* memiliki LHV lebih rendah dibanding *gasoline* sehingga energi panas yang dihasilkan campuran alkohol tidak lebih tinggi daripada *gasoline* [16]. Hal ini karena LHV memberikan gambaran realistis tentang banyaknya energi yang dilepaskan dan dimanfaatkan dari bahan bakar. Meskipun *octane number* alkohol lebih tinggi daripada *gasoline* dapat meningkatkan tekanan kompresi pada silinder sehingga temperatur pembakaran meningkat. Namun, efek LHV yang rendah secara signifikan menurunkan EGT bahkan efek *octane number* yang tinggi belum bisa menutupi dampak dari rendahnya LHV sehingga EGT yang dihasilkan dari penggunaan campuran *gasoline-butanol* dan *gasoline-ethanol* lebih rendah dibanding *gasoline* murni [17]; [18].



Gambar 3. EGT mesin EFI dengan variasi campuran *gasoline-butanol* dan *gasoline-ethanol*

Emisi CO dan HC merupakan produk hasil pembakaran yang keluar bersama dengan produk pembakaran lainnya. Nilai CO dan HC pada penelitian ini untuk mengidentifikasi pembakaran pada silinder sempurna atau tidak. Penggunaan campuran *gasoline-butanol* dan *gasoline-ethanol* terbukti menurunkan CO secara signifikan. Penurunan tertinggi emisi CO sebesar 53,6 % dan terjadi pada putaran mesin 3000 rpm saat menggunakan campuran E10. Campuran B15 pun mengalami penurunan emisi CO meskipun tidak lebih besar dibanding campuran E15. Penurunan emisi CO tersebut sebesar 44,67% pada putaran 3000 rpm. Hasil uji emisi CO menggunakan campuran campuran *gasoline-butanol* dan *gasoline-ethanol* ditunjukkan pada gambar 4. Panas laten penguapan alkohol

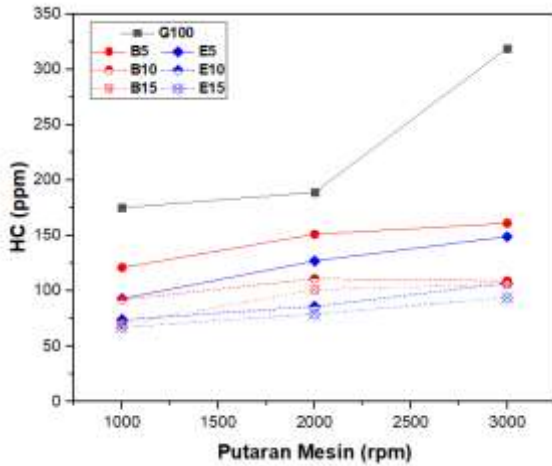
yang tinggi meningkatkan kecepatan perubahan campuran *gasoline* menjadi fase uap sehingga penyalaan api dalam silinder lebih cepat dan efisiensi pembakaran meningkat [19]; [20]. *Oxygen content* yang bereaksi pada karbon *gasoline* untuk menghasilkan panas dan energi mekanis. Pembakaran sempurna terjadi saat *gasoline* sepenuhnya dengan oksigen dan menghasilkan karbon dioksida dan air serta tidak menghasilkan CO dan HC. Hal ini membuktikan bahwa penambahan alkohol meningkatkan kadar oksigen dalam silinder dan mengoptimalkan pembakaran sempurna sehingga emisi CO menurun [19].



Gambar 4. Emisi CO mesin EFI dengan variasi campuran *gasoline-butanol* dan *gasoline-ethanol*

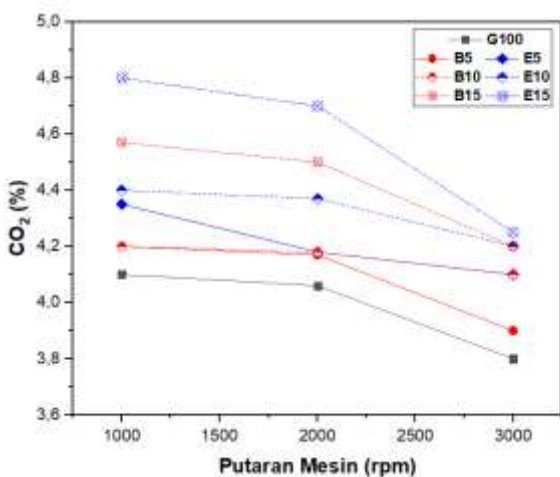
Hidrokarbon (HC) merupakan senyawa kimia yang terdiri dari atom karbon dan hidrogen hasil produk pembakaran yang tidak sempurna. Emisi HC berdampak pada negatif bagi kesehatan manusia dan lingkungan [21]. Upaya pengendalian emisi HC adalah dengan menggunakan *gasoline* ramah lingkungan salah satunya menggunakan alkohol *butanol* dan *ethanol* sebagai campuran *gasoline*. Hasil uji penggunaan *gasoline-butanol* dan *gasoline-ethanol* pada mesin EFI menunjukkan penurunan HC pada sisa hasil pembakaran kendaraan. *Butanol* dan *ethanol* memiliki *oxygen content* yang tinggi dibanding *gasoline*. Kandungan oksigen dari alkohol tersebut membantu pembakaran lebih lengkap dan meminimalisir terbentuknya HC [7]. Selain itu, bertambahnya *oxygen content* pada campuran *gasoline* membantu perambatan nyala api dalam silinder sehingga campuran *gasoline* terbakar sepenuhnya dan mencegah terbentuknya HC. Tingginya suhu pembakaran *butanol* dan *ethanol* juga membantu campuran *gasoline* dalam silinder terbakar dengan baik [22]; [23].

Hasil uji HC mesin EFI menggunakan *gasoline-butanol* dan *gasoline-ethanol* dipaparkan pada gambar 5. Emisi HC turun secara signifikan menggunakan *gasoline-butanol* dan *gasoline-ethanol*. Penurunan tertinggi terjadi pada campuran E15 sebesar 70,5% dan campuran B15 sebesar 66,7% dibanding *gasoline* murni pada putaran mesin 3000 rpm. *Ethanol* menurunkan HC lebih baik dibanding *butanol* karena *oxygen content* milik *ethanol* lebih tinggi dibanding *butanol*.



Gambar 5. Emisi HC mesin EFI dengan variasi campuran gasoline-butanol dan gasoline-ethanol

Karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O) merupakan hasil produk pembakaran yang sempurna sehingga nilai emisi CO_2 menjadi indikator pembakaran mesin sempurna atau tidak. Penggunaan campuran gasoline-butanol dan gasoline-ethanol dapat meningkatkan emisi CO_2 dibanding gasoline murni. Hasil uji penggunaan campuran gasoline-butanol dan gasoline-ethanol pada mesin EFI ditunjukkan pada gambar 6. Hasil pengujian menjelaskan bahwa alkohol pada gasoline meningkatkan keberhasilan terbakarnya campuran gasoline menyeluruh dalam silinder dan menghasilkan CO_2 lebih banyak. Hal ini membuktikan bahwa proses pembakaran lebih baik. Peningkatan kadar oxygen content dalam silinder mengoptimalkan reaksi oxygen dengan karbon gasoline sehingga pembakaran lebih optimal juga [24]; [25]. Penggunaan campuran E15 meningkatkan emisi CO_2 sebesar 17,1% dibanding gasoline. Penggunaan B15 juga meningkatkan emisi CO_2 sebesar 11,5% dibanding gasoline.



Gambar 6. Emisi CO_2 mesin EFI dengan variasi campuran gasoline-butanol dan gasoline-ethanol

4. Kesimpulan

Pembakaran sempurna dalam ruang bakar menghasilkan CO_2 dan H_2O dan meminimalisir terbentuknya emisi CO, HC dan NO_x . Nilai EGT mesin mengidentifikasi terbentuknya NO_x . Semakin tinggi nilai EGT kemungkinan terbentuknya NO_x juga tinggi. Penelitian ini bertujuan mengkomperasikan hasil EGT dan emissions mesin EFI menggunakan campuran gasoline-butanol dan gasoline-ethanol sehingga dapat diketahui alkohol yang paling tinggi mereduksi exhaust gas temperatur dan emissions mesin bensin. Penurunan EGT tertinggi terjadi pada campuran E15 sebesar 10,57% dan B15% sebesar 8,56 dibanding gasoline. Penurunan EGT mengidentifikasi hasil pembakaran menurunkan kemungkinan terbentuknya NO_x . Sedangkan emisi CO mengalami penurunan tertinggi pada E15 sebesar 53,6% dan B15 sebesar 44,6% daripada gasoline. Penambahan alkohol butanol dan ethanol pada gasoline juga menurunkan emisi HC. Penurunan tertinggi pada E15 sebesar 70,5% dan B15 sebesar 66,7% dibanding gasoline. Hal ini terjadi karena penambahan alkohol menambah oxygen content gasoline dalam silinder dan meningkatkan efisiensi pembakaran lebih lengkap dan sempurna. Selain itu, efek tersebut juga meningkatkan emisi CO_2 hingga 17,07% pada campuran E15 dan 11,46% pada B15.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih diberikan pada Lembaga Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat Politeknik Harapan Bersama.

Daftar Pustaka

- [1] F. L. Sanjaya, "Brake specific fuel consumption , brake thermal efficiency , dan emisi gas buang mesin bensin EFI dengan sistem EGR berbahan bakar premium dan butanol," vol. 9, no. 2, pp. 170–176, 2020.
- [2] F. Fatkhurrozak, F. L. Sanjaya, S. Syarifudin, A. B. Hendrawan, M. K. Usman, and G. Gunawan, "Pengaruh Penambahan methanol Terhadap Emisi Bahan Bakar Mesin Sepeda Motor Berbahan Bakar Pertamina 150 CC," *Infotekmesin*, vol. 14, no. 2, pp. 189–193, 2023, doi: 10.35970/infotekmesin.v14i2.1719.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] R. S. Jatmiko, K. Winangun, and M. Malyadi, "Pengaruh Pencampuran Bahan Bakar Peralite Dengan Bio Etanol Terhadap Peforma Mesin Injeksi Yamaha Vixion 150Cc Tahun 2011," *Komputek*, vol. 3, no. 1, p. 33, 2019, doi: 10.24269/jkt.v3i1.200.
- [6] F. L. Sanjaya and S. Syarifudin, "Brake Specific Fuel Consumption Gasoline Engine with," 2024.
- [7] D. Suresh and E. Porpatham, "Influence of high compression ratio on the performance of ethanol-gasoline fuelled lean burn spark ignition engine at part throttle condition," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 53, no. November 2023, p. 103832, 2024, doi: 10.1016/j.csite.2023.103832.
- [8] A. Chaimanatsakun, B. Sawatmongkhon, S. Sittichompo,

- and K. Theinnoi, "Effects of reformed exhaust gas recirculation (REGR) of ethanol-gasoline fuel blends on the combustion and emissions of gasoline direct injection (GDI) engine," *Fuel*, vol. 355, no. August 2023, p. 129506, 2024, doi: 10.1016/j.fuel.2023.129506.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] M. K. Mohammed, H. H. Balla, Z. M. H. Al-Dulaimi, Z. S. Kareem, and M. S. Al-Zuhairy, "Effect of ethanol-gasoline blends on SI engine performance and emissions," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 25, no. May 2020, p. 100891, 2021, doi: 10.1016/j.csite.2021.100891.
- [13] F. Oral, "Effect of using gasoline and gasoline-ethanol fuel mixture on performance and emissions in a hydrogen generator supported SI engine," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 55, no. November 2023, p. 104192, 2024, doi: 10.1016/j.csite.2024.104192.
- [14] 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.
- [15] P. Sakthivel, K. A. Subramanian, and R. Mathai, "Experimental study on unregulated emission characteristics of a two-wheeler with ethanol-gasoline blends (E0 to E50)," *Fuel*, vol. 262, no. August 2019, p. 116504, 2020, doi: 10.1016/j.fuel.2019.116504.
- [16] F. Fatkhurrozak, F. L. Sanjaya, E. Yohana, J. Prof, S. No, and K. Semarang, "Karakteristik Emisi CO dan HC Mesin bensin SOHC 110cc Berbahan bakar Pertalite-Alkohol," vol. 13, no. 01, pp. 189–193, 2022, doi: 10.35970/infotekmesin.v13i1.1067.
- [17] A. UYUMAZ, "Experimental Research With Diethyl Ether on Engine Performance and Emissions in a Spark Ignition Engine," *Int. J. Automot. Sci. Technol.*, vol. 7, no. 3, pp. 167–174, 2023, doi: 10.30939/ijastech..1325362.
- [18] Y. Li, Y. Chen, G. Wu, C. fon F. Lee, and J. Liu, "Experimental comparison of acetone-n-butanol-ethanol (ABE) and isopropanol-n-butanol-ethanol (IBE) as fuel candidate in spark-ignition engine," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 133, pp. 179–187, 2018, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.12.132.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] F. Fatkhurrozak 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.
- [22] 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.
- [23] Z. Guo *et al.*, "Experimental study on combustion and emissions of an SI engine with gasoline port injection and acetone-butanol-ethanol (ABE) direct injection," *Fuel*, vol. 284, no. July 2020, p. 119037, 2021, doi: 10.1016/j.fuel.2020.119037.
- [24] T. T. Huynh, M. D. Le, and D. N. Duong, "Effects of butanol-gasoline blends on SI engine performance, fuel consumption, and emission characteristics at partial engine speeds," *Int. J. Energy Environ. Eng.*, vol. 10, no. 4, pp. 483–492, 2019, doi: 10.1007/s40095-019-0309-9.
- [25] 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.