Volume 10 Nomor 2 Oktober 2026
E-ISSN : 2598-6198

Optimasi Campuran Aditif Oksigenat Nabati (E10) untuk Mereduksi Emisi CO dan Meningkatkan Efisiensi Termal pada Motor Bensin Injeksi

Budiyono, Imam Prasetyo
Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Pekajangan Pekalongan, Indonesia
email korespondensi: budiyono@umpp.ac.id
DOI : 10.48144/suryateknika.v10i2.2588

Received: 9 Oktober 2026 Revised: 30 Oktober 2026 Accepted: 31 Oktober 2026

Abstract

The increasing population of fuel-injected gasoline vehicles necessitates innovations to reduce exhaust emissions without degrading engine performance. This study aims to investigate the optimum blending ratio of plant-based oxygenated additives to reduce carbon monoxide (CO) emissions while simultaneously improving the thermal efficiency of electronic fuel injection (EFI) gasoline engines. A quantitative experimental test was conducted on a 150 cc engine test bed using the splash blending method at four additive concentrations: 0% (E0/control), 5% (E5), 10% (E10), and 15% (E15) by volume. Exhaust emission and fuel consumption data were collected under full load conditions at an engine speed of 4000 rpm. The test results indicate a diminishing returns phenomenon at higher additive concentrations. The addition of the additive up to a 10% concentration (E10) proved to be the most optimal balance point, significantly reducing CO emissions by 31.4% and improving thermal efficiency by 9.9% compared to pure gasoline. However, increasing the additive concentration to 15% (E15) triggered a degradation in thermal efficiency due to the lower cumulative heating value of the oxygenated compounds, which could no longer be compensated by the improved combustion quality. This study concludes that the E10 additive formulation is a practical solution to bridge the gap between stringent emission regulations and the demand for high thermal efficiency in conventional fuel-injected gasoline engines.

Keywords: *Plant-Based Oxygenated Additive; CO Emission; Thermal Efficiency; Fuel-Injected Gasoline Engine; Optimum Point (E10)*

Abstrak

Peningkatan populasi kendaraan injeksi bensin menuntut adanya inovasi untuk menekan emisi gas buang tanpa mendegradasi performa mesin. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi titik optimum campuran aditif oksigenat nabati guna mereduksi emisi karbon monoksida (CO) sekaligus meningkatkan efisiensi termal pada motor bensin bersistem injeksi elektronik (EFI). Pengujian eksperimental kuantitatif dilakukan pada *engine test bed* berkapasitas 150 cc dengan menggunakan metode pencampuran *splash blending* pada empat variasi konsentrasi aditif, yaitu 0% (E0/kontrol), 5% (E5), 10% (E10), dan 15% (E15) berdasarkan volume. Pengambilan data emisi gas buang dan laju konsumsi bahan bakar difokuskan pada kondisi beban penuh (*full load*) di putaran mesin 4000 rpm. Hasil pengujian menunjukkan adanya fenomena *diminishing returns* pada penggunaan aditif dengan konsentrasi tinggi. Penambahan aditif hingga konsentrasi 10% (E10) terbukti menjadi titik keseimbangan yang paling optimal, mampu mereduksi emisi CO secara signifikan sebesar 31,4% dan meningkatkan efisiensi termal hingga 9,9% dibandingkan dengan bensin murni. Akan tetapi, peningkatan konsentrasi aditif menjadi 15% (E15) justru memicu degradasi efisiensi termal akibat rendahnya akumulasi nilai kalor senyawa oksigenat yang

tidak lagi dapat dikompensasi oleh perbaikan kualitas pembakaran. Studi ini menyimpulkan bahwa formulasi aditif E10 merupakan solusi aplikatif untuk menjembatani regulasi emisi ketat dengan kebutuhan efisiensi termal tinggi pada mesin injeksi bensin konvensional.

Kata kunci: *Aditif Oksigenat Nabati; Emisi CO; Efisiensi Termal; Motor Bensin Injeksi; Titik Optimum (E10)*

1. Pendahuluan

Populasi kendaraan bermotor berbahan bakar bensin dengan sistem injeksi elektronik (Electronic Fuel Injection/EFI) di Indonesia terus mengalami eskalasi seiring dengan peningkatan mobilitas masyarakat. Peningkatan populasi ini secara langsung berkontribusi terhadap lonjakan volume emisi gas buang, seperti karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), dan karbon dioksida (CO2), yang menjadi pemicu utama degradasi kualitas udara. Di sisi lain, regulasi emisi kendaraan bermotor yang semakin ketat menuntut adanya intervensi teknologi yang mampu menekan emisi gas buang tanpa mendegradasi performa dan efisiensi termal mesin secara signifikan.

Sebagai respons terhadap tantangan tersebut, formulasi aditif bahan bakar telah menjadi salah satu fokus riset utama. Berbagai studi literatur menunjukkan hasil yang variatif bergantung pada jenis aditif dan spesifikasi mesin yang digunakan. Krakowski dan Witkowski [1] membuktikan bahwa penggunaan aditif berbasis mikroorganisme dan larutan perak mampu mereduksi emisi polutan pada mesin diesel. Pada platform Gasoline Direct Injection (GDI), intervensi aditif non-konvensional seperti dietilamina dan p-tert-butilfenol dilaporkan memberikan fluktuasi pengaruh terhadap konsumsi spesifik bahan bakar dan emisi gas [2], [3]. Lebih lanjut, riset mengenai aditif berbasis oksigenat nabati (seperti bioetanol dan sikloheksanol) mendapatkan atensi luas karena sifatnya yang terbarukan. Penambahan molekul oksigenat ke dalam bensin dasar terbukti secara konsisten memfasilitasi pembakaran yang lebih homogen, sehingga meminimalkan emisi CO dan HC pada motor bensin berkapasitas kecil [4]–[10].

Meskipun eksploitasi aditif telah banyak diteliti, pemetaan literatur menunjukkan adanya celah riset (research gap) yang krusial. Mayoritas studi terdahulu memfokuskan pengujiannya pada mesin diesel, kendaraan berkarburator, atau sistem injeksi langsung (GDI). Kajian spesifik yang mengevaluasi performa aditif ramah lingkungan berbasis oksigenat nabati pada motor bensin bersistem injeksi konvensional (Port Fuel Injection/EFI)—yang saat ini mendominasi pasar kendaraan roda dua di Indonesia—masih sangat terbatas. Selain itu, studi terdahulu umumnya hanya mengonfirmasi terjadinya penurunan emisi secara umum tanpa melakukan investigasi mendalam terkait titik jenuh penambahan aditif (diminishing returns) yang berpotensi memicu lonjakan konsumsi bahan bakar akibat rendahnya nilai kalor senyawa oksigenat.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi dan menentukan titik optimum campuran aditif oksigenat nabati (dalam rentang 0% hingga 15% volume) terhadap karakteristik emisi (CO, HC, CO2) dan parameter efisiensi pembakaran mesin EFI. Diharapkan, hasil penelitian ini dapat merumuskan formulasi aditif yang paling optimal untuk menjembatani regulasi emisi yang ketat dengan kebutuhan mempertahankan efisiensi termal pada mesin injeksi modern.

2. Metode

Penelitian ini mengaplikasikan desain eksperimental kuantitatif yang dilaksanakan di Laboratorium Motor Bakar, Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Pekajangan Pekalongan. Objek pengujian utama adalah motor bensin 4-langkah silinder tunggal berkapasitas 150 cc yang mengadopsi sistem injeksi elektronik (*Electronic Fuel Injection*/EFI). Mesin uji tersebut diintegrasikan pada dudukan *engine test bed* yang terhubung secara aksial dengan dinamometer untuk mengukur luaran performa mekanis.

Bahan bakar dasar yang digunakan dalam pengujian ini adalah bensin komersial (RON 90), yang disubstitusi sebagian dengan aditif ramah lingkungan berbasis oksigenat nabati. Proses homogenisasi bahan bakar dilakukan melalui metode *splash blending* pada suhu ruang pelataran dengan empat variasi konsentrasi aditif, yaitu 0% (E0/kontrol), 5% (E5), 10% (E10), dan 15% (E15) berdasarkan rasio volume.

Peralatan instrumentasi yang digunakan meliputi: dinamometer untuk merekam torsi dan daya pengereman, *fuel consumption meter* berbasis buret kaca terskalasi untuk mengukur laju konsumsi bahan bakar volumetrik, takometer digital untuk memantau stabilitas putaran mesin, serta *exhaust gas analyzer* (4-gas) untuk mengukur konsentrasi emisi karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) secara *real-time*. Seluruh instrumen ukur dikalibrasi terlebih dahulu untuk memastikan akurasi dan presisi pembacaan data.

Prosedur pengambilan data diawali dengan fase pemanasan mesin (*warm-up*) hingga sistem mencapai suhu kerja termal yang stabil (kondisi *steady-state*). Berdasarkan pemetaan awal kinerja mesin uji, parameter pengujian secara spesifik difokuskan pada kondisi bukaan katup gas penuh (*full load*) di putaran mesin 4000 rpm. Putaran ini ditetapkan sebagai titik observasi representatif karena merepresentasikan kondisi operasi beban tinggi di mana karakteristik pembakaran dan emisi gas buang dapat dievaluasi secara paling optimal.

Untuk meminimalisasi galat acak (*random error*), setiap skenario pengujian pada masing-masing variasi campuran diulang sebanyak tiga kali (triplo), dan nilai rata-rata hasil pengukuran digunakan sebagai data analitik. Data komprehensif berupa torsi, durasi konsumsi bahan bakar, dan komposisi gas buang selanjutnya dikalkulasi untuk mendapatkan nilai *Brake Specific Fuel Consumption* (BSFC) dan efisiensi termal pembakaran. Data kuantitatif tersebut kemudian dianalisis secara komparatif dan divisualisasikan dalam bentuk grafik tren untuk mengidentifikasi titik optimum campuran aditif terhadap emisi dan efisiens

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil

Pengujian efisiensi pembakaran dan emisi gas buang dilakukan pada kondisi beban penuh (*full load*). Sebagai representasi kecenderungan umum dari keseluruhan variasi pengujian, Tabel 1 menyajikan perbandingan emisi karbon monoksida (CO) dan efisiensi termal pada putaran mesin 4000 rpm dengan penggunaan bensin murni (E0) dibandingkan dengan campuran aditif ramah lingkungan (E5, E10, E15)

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa emisi CO mengalami penurunan yang konsisten seiring dengan peningkatan konsentrasi aditif. Penambahan aditif sebesar 10% (E10) mampu mereduksi emisi CO dari 3,85% menjadi 2,64%, atau setara dengan penurunan sebesar 31,4%. Dari sisi performa, efisiensi termal mengalami eskalasi dari 27,4% (E0) mencapai puncaknya pada 30,1% (E10). Akan tetapi, peningkatan konsentrasi

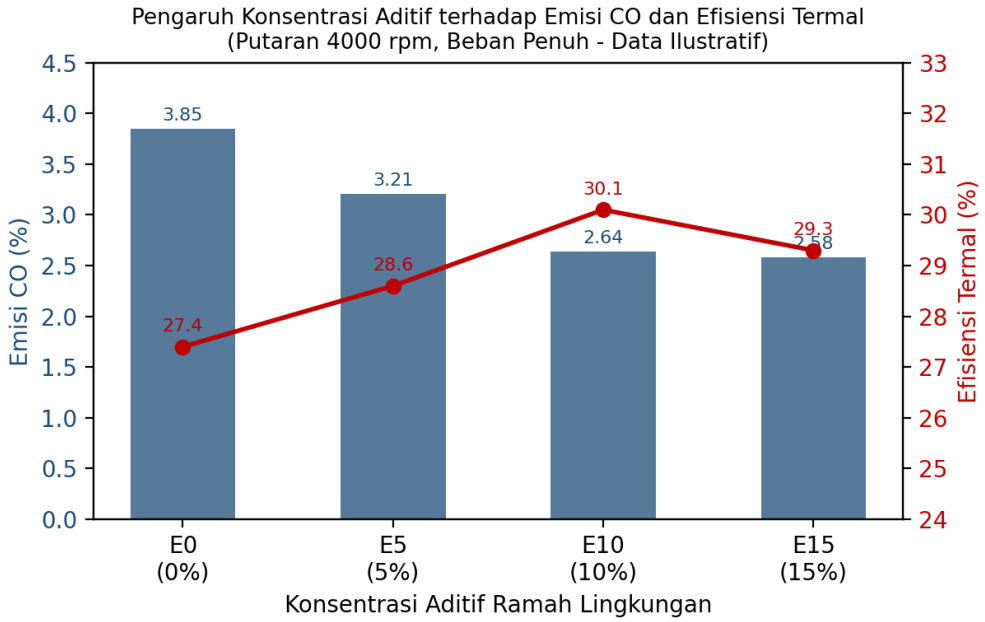
Volume 10 Nomor 2 Oktober 2026
E-ISSN : 2598-6198

aditif hingga 15% (E15) justru memicu sedikit degradasi efisiensi termal menjadi 29,3%, meskipun kemampuan reduksi emisi CO tetap terjaga (2,58%). Tren kuantitatif serupa juga terindikasi pada emisi hidrokarbon (HC) yang menurun dan karbon dioksida (CO2) yang sedikit meningkat, mengonfirmasi terjadinya pembakaran yang lebih komplit di dalam ruang bakar.

Tabel 1.
Pengaruh Konsentrasi Aditif Ramah Lingkungan terhadap Emisi CO dan Efisiensi Termal Motor Bensin Injeksi pada Putaran 4000 rpm, Beban Penuh

Konsentrasi Aditif	CO (%)	Efisiensi Termal (%)
E0 (bensin murni)	3,85	27,4
E5	3,21	28,6
E10	2,64	30,1
E15	2,58	29,3
Delta (E10 vs E0)	-31,4%	+9,9%

Kecenderungan hubungan antara konsentrasi aditif dengan emisi CO dan efisiensi termal disajikan secara visual pada Gambar 1 untuk memperjelas pola perubahan pada seluruh variasi konsentrasi yang diuji.



Gambar 1. Tren Emisi CO dan Efisiensi Termal terhadap Variasi Konsentrasi Aditif Ramah Lingkungan pada Motor Bensin Injeksi (data ilustratif)

3.2 Pembahasan

Reduksi emisi CO dan HC yang terjadi seiring penambahan aditif oksigenat nabati mengindikasikan perbaikan kualitas oksidasi bahan bakar. Fenomena ini sejalan dengan temuan Krakowski dan Witkowski [1], yang melaporkan penurunan CO lebih dari 28%

melalui intervensi aditif ramah lingkungan pada mesin diesel. Pada konteks mesin injeksi bensin, kehadiran molekul oksigen tambahan yang inheren dalam struktur kimia aditif nabati bertindak sebagai penyedia oksigen internal (*oxygen enrichment*). Hal ini memfasilitasi reaksi pembakaran yang lebih homogen dan sempurna, sehingga meminimalkan pembentukan CO dan HC, sebagaimana dikonfirmasi oleh studi terdahulu terkait bioetanol dan sikloheksanol [6]–[8].

Terkait parameter performa, peningkatan efisiensi termal hingga konsentrasi 10% (E10) didukung oleh efek kimiawi dan efek pendinginan laten (*latent heat of vaporization*) dari senyawa oksigenat yang mengoptimalkan tekanan efektif rata-rata di dalam silinder. Temuan ini selaras dengan analisis Wang dkk. [4] pada mesin *spark-ignition* modern. Namun, terjadinya titik belok (penurunan efisiensi termal) pada konsentrasi E15 menjadi temuan krusial bahwa penambahan aditif memiliki ambang batas optimum. Degradasi performa pada E15 terjadi karena nilai kalor (*heating value*) senyawa oksigenat nabati secara akumulatif lebih rendah dibandingkan bensin murni. Pada konsentrasi yang terlalu tinggi, defisit nilai kalor ini tidak lagi dapat dikompensasi oleh perbaikan kualitas pembakaran. Kondisi ini menguatkan postulat Yelbey dan Ciniviz [5] yang menyatakan bahwa rasio berlebih dari aditif berbasis oksigenat akan memicu lonjakan *Brake Specific Fuel Consumption* (BSFC) dan menurunkan efisiensi konversi energi termal.

Sintesis dari hasil pengujian ini menegaskan bahwa campuran E10 merupakan formulasi paling optimal bagi motor bensin bersistem injeksi (EFI) yang diuji. Formulasi ini mampu menjembatani regulasi emisi gas buang yang ketat tanpa mengorbankan performa termal mesin. Meski demikian, studi ini terbatas pada observasi jangka pendek. Implikasi penggunaan aditif jangka panjang terhadap potensi keausan komponen injektor dan kompatibilitas material elastomer, seperti yang disoroti oleh Kuo dkk. [11] dan Sivasubramanian dkk. [12], perlu diinvestigasi pada penelitian lanjutan dengan durasi uji ketahanan (*endurance test*) yang lebih komprehensif.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian eksperimental dan analisis komparatif yang telah dilakukan, penelitian ini menyimpulkan bahwa penambahan aditif oksigenat nabati memiliki ambang batas optimum (*diminishing returns*) dalam memengaruhi kinerja motor bensin bersistem injeksi (EFI). Formulasi campuran aditif 10% (E10) terbukti menjadi titik optimum yang paling ideal. Pada titik ini, molekul oksigen tambahan dari aditif berhasil memaksimalkan kualitas oksidasi, sehingga mampu mereduksi emisi karbon monoksida (CO) hingga 31,4% dan secara simultan meningkatkan efisiensi termal sebesar 9,9% dibandingkan dengan penggunaan bensin murni.

Sebaliknya, peningkatan rasio aditif yang melampaui batas optimum (seperti pada E15) terbukti kontraproduktif terhadap performa mesin, di mana efisiensi termal mulai mengalami degradasi akibat rendahnya akumulasi nilai kalor (*heating value*) senyawa oksigenat yang tidak lagi dapat dikompensasi. Dengan demikian, formulasi E10 direkomendasikan sebagai solusi paling aplikatif untuk menekan emisi gas buang tanpa mendegradasi performa pembakaran kendaraan injeksi bensin harian. Untuk

Volume 10 Nomor 2 Oktober 2026
E-ISSN : 2598-6198

pengembangan lebih lanjut, studi mendatang disarankan untuk menginvestigasi implikasi penggunaan aditif E10 dalam pengujian jangka panjang (*endurance test*) guna mengevaluasi potensi keausan injektor dan kompatibilitas material elastomer pada saluran bahan bakar.

Referensi

[1] R. Krakowski and K. Witkowski, "Investigating the effects of environmentally friendly additives on the exhaust gas composition and fuel consumption of an internal combustion engine," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 7, p. 2956, 2024.

[2] M. Wen, Z. Yin, Z. Zheng, H. Liu, C. Zhang, Y. Cui, Z. Ming, L. Feng, Z. Yue, and M. Yao, "Effects of different gasoline additives on fuel consumption and emissions in a vehicle equipped with the GDI engine," *Frontiers in Mechanical Engineering*, vol. 8, art. 924505, 2022.

[3] M. Lin, X. Zhang, M. Wen, C. Zhang, X. Kong, Z. Jin, Z. Zheng, and H. Liu, "Effects of unconventional additives in gasoline on the performance of a vehicle," *Energies*, vol. 15, no. 5, p. 1605, 2022.

[4] C. Wang, J. M. Herreros, C. Jiang, A. Sahu, and H. Xu, "Engine thermal efficiency gain and well-to-wheel greenhouse gas savings when using bioethanol as a gasoline-blending component in future spark-ignition engines: a China case study," *Energy & Fuels*, vol. 32, no. 2, pp. 1724-1732, 2018.

[5] S. Yelbey and M. Ciniviz, "Investigation of the effects of gasoline-bioethanol blends on engine performance and exhaust emissions in a spark ignition engine," *European Mechanical Science*, vol. 4, no. 2, pp. 65-71, 2020.

[6] Asnawi, A. Setiawan, M. Sayuthi, T. Waluyo, and H. Radian, "An experimental study on the effects of bioethanol-gasoline blends on spark-ignition engine performance," *Jurnal Polimesin*, vol. 16, no. 2, pp. 87-92, 2022.

[7] H. Y. Nanlohy, H. Riupassa, M. Mini, H. T. Taba, B. Katjo, N. J. M. Nanulaitta, and M. Yamaguchi, "Performance and emissions analysis of BE85-gasoline blends on spark ignition engine," *Automotive Experiences*, vol. 5, no. 1, pp. 1-10, 2021.

[8] B. Sugiarto, M. F. Dwinanda, D. Auliady, R. N. Andito, Mokhtar, and C. R. M. Simanjuntak, "Investigation of cyclohexanol as an oxygenated additive for gasoline-bioethanol mixtures and its effect on the combustion and emission characteristics of spark ignition engines," *International Journal of Technology*, vol. 12, no. 5, pp. 1071-1080, 2021.

[9] C. S. Wibowo, N. I. Setiady, M. Masuku, A. Hamzah, I. Fedori, Maymuchar, Y. S. Nugroho, and B. Sugiarto, "The performance of a spark ignition engine using 92 RON gasoline with varying blends of bioethanol (E40, E50, E60) measured using a dynamometer test," *International Journal of Technology*, vol. 11, no. 7, pp. 1380-1387, 2020.

[10] M. Gajewski, S. Wyrabkiewicz, and J. Kaszkowiak, "Effects of ethanol-gasoline blends on the performance and emissions of a vehicle spark-ignition engine," *Energies*, vol. 18, no. 13, p. 3466, 2025.

[11] C. Kuo, R. Smocha, P. Loeper, and N. Mukkada, "Aftermarket fuel additives and their effects on GDI injector performance and particulate emissions," *SAE Technical Paper* 2022-01-1074, 2022.

Volume 10 Nomor 2 Oktober 2026
E-ISSN : 2598-6198

[12] H. Sivasubramanian, Y. K. Pochareddy, G. Dhamodaran, and G. S. Esakkimuthu, "Performance, emission and combustion characteristics of a branched higher mass, C3 alcohol (isopropanol) blends fuelled medium duty MPFI SI engine," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 20, no. 2, pp. 528-535, 2017

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License