



Pengaruh Campuran Pertamina-Metanol terhadap Peningkatan Nilai Oktan dan Penurunan Emisi Gas Buang pada Sepeda Motor Injeksi

Effect of Pertamina-Methanol Blends on Octane Enhancement and Exhaust Emission Reduction in Fuel-Injection Motorcycles

Yosua Partogi^{1*}, Martias¹, Toto Sugiarto¹, Donny Fernandez¹

Abstrak

Penelitian ini menganalisis pengaruh campuran Pertamina 92-metanol terhadap nilai oktan dan emisi gas buang pada sepeda motor Suzuki Satria FU injeksi 2018. Emisi kendaraan bermotor, terutama CO, HC, dan NO_x, merupakan kontributor utama polusi udara di perkotaan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi potensi bahan bakar alternatif berbasis metanol dalam meningkatkan kualitas pembakaran sekaligus menurunkan emisi. Metode yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan variasi campuran metanol 0-20% volume, diukur menggunakan *Octane Number Meter* dan *Gas Analyzer* pada kondisi stasioner. Hasil menunjukkan kenaikan nilai oktan dari 92 menjadi 110 RON pada campuran 20% metanol. Pada campuran optimum, emisi CO turun hingga 0,46% dan HC hingga 217 ppm, seluruhnya masih di bawah baku mutu emisi nasional. Temuan ini mengindikasikan bahwa campuran Pertamina-metanol berpotensi diterapkan pada motor injeksi sebagai solusi peningkatan efisiensi pembakaran dan pengurangan emisi yang lebih ramah lingkungan.

Kata Kunci

Pertamax 92, campuran metanol, nilai oktan, emisi gas buang, bahan bakar alternatif, motor injeksi.

Abstract

This study analyzes the effect of a Pertamina 92-methanol blend on octane number and exhaust emissions in a Suzuki Satria FU fuel-injection motorcycle (2018). Exhaust gases from road vehicles, particularly CO, HC, and NO_x, are major contributors to urban air pollution. The aim is to evaluate the potential of alternative fuel based on methanol to improve combustion quality while reducing emissions. An experimental laboratory method was applied using volumetric methanol blends of 0-20%, measured with an Octane Number Meter and Gas Analyzer under steady-state conditions. The results show that the octane number increases from 92 to 110 RON at 20% methanol. At the optimum blend, CO emissions decrease to 0.46% and HC to 217 ppm, both well below the national emission limits. These findings indicate that Pertamina-methanol blends are promising for fuel-injected motorcycles to enhance combustion efficiency and reduce pollutant emissions.

Keywords

Pertamax 92, methanol blend, octane number, exhaust emissions, alternative fuel, fuel-injection motorcycle.

¹ Departemen Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang
Jln. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar, Padang Sumatera Barat, Indonesia

* yosuapartogi872@gmail.com

Dikirimkan: 1 September 2025. Diterima: 23 Oktober 2025. Diterbitkan: 20 November 2025.



PENDAHULUAN

Di tengah meningkatnya kekhawatiran global terhadap polusi udara, emisi gas buang kendaraan bermotor menjadi salah satu fokus utama karena kontribusinya yang signifikan terhadap penurunan kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat. Kendaraan bermotor merupakan salah satu sumber utama pencemar udara melalui emisi gas berbahaya seperti karbon monoksida (CO), *hydrocarbon* (HC), dan nitrogen oksida (NO_x), yang tidak hanya menurunkan kualitas udara, tetapi juga berpotensi memicu gangguan pernapasan dan berbagai penyakit kronis lainnya [1]. Di Indonesia, dampak sektor transportasi terhadap pencemaran udara semakin nyata. Data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2020 menunjukkan bahwa sektor transportasi menyumbang lebih dari 60% emisi CO di kawasan perkotaan, seiring dengan dominasi sepeda motor yang mencapai lebih dari 85% dari total populasi kendaraan bermotor [2]. Untuk mengendalikan emisi tersebut, pemerintah menetapkan baku mutu emisi gas buang sepeda motor melalui Peraturan Menteri LHK Nomor 8 Tahun 2023 tentang Baku Mutu Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Kategori L (termasuk sepeda motor > 2016), yang mensyaratkan kadar CO maksimum 3% dan HC maksimum 1000 ppm [2]. Kebijakan ini menegaskan perlunya inovasi teknologi dan bahan bakar yang mampu menekan emisi tanpa mengorbankan kinerja mesin.

Dalam konteks tersebut, pengembangan dan pemanfaatan bahan bakar alternatif menjadi salah satu strategi yang banyak dikaji. Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah penggunaan campuran metanol dengan bahan bakar bensin beroktan tinggi seperti Pertamax 92. Metanol dikenal sebagai bahan bakar yang relatif lebih bersih dan memiliki karakteristik yang berpotensi menurunkan emisi gas berbahaya ketika dicampurkan dengan bensin konvensional [3]. Penelitian mengenai campuran metanol-Pertamax 92 diarahkan untuk mengevaluasi kemampuannya dalam meningkatkan efisiensi pembakaran serta mengurangi emisi gas buang kendaraan bermotor, sehingga dapat mendukung penerapan teknologi transportasi yang lebih ramah lingkungan [4].

Polusi udara sendiri didefinisikan sebagai perubahan komposisi alami atmosfer akibat keberadaan zat kimia, partikulat, atau agen biologis dalam konsentrasi tertentu yang menimbulkan risiko bagi kesehatan manusia, merusak ekosistem, dan menurunkan kualitas hidup [5]. *United States Environmental Protection Agency (EPA)* mendeskripsikan polusi udara sebagai keberadaan satu atau lebih polutan di udara luar ruangan dalam kadar dan durasi tertentu yang dapat membahayakan kesehatan manusia, organisme lain, serta menimbulkan kerusakan material dan lingkungan [6]. Dalam konteks transportasi, polusi udara terutama disebabkan oleh emisi gas buang hasil pembakaran bahan bakar fosil di mesin kendaraan [7]. Emisi utama yang dihasilkan, seperti CO, HC, NO_x, dan karbon dioksida (CO₂), terbukti memberikan kontribusi nyata terhadap permasalahan kesehatan masyarakat dan pencemaran lingkungan [2][6].

Pertamax 92 merupakan bensin beroktan tinggi yang diproduksi PT Pertamina (Persero) dan diperuntukkan bagi mesin dengan rasio kompresi menengah hingga tinggi, sekitar 9:1 hingga 10:1. Bahan bakar ini memiliki nilai *Research Octane Number* (RON) 92, yang merefleksikan ketahanannya terhadap *knocking* atau pembakaran prematur di ruang bakar. Nilai oktan yang relatif tinggi memungkinkan Pertamax 92 menghasilkan proses pembakaran yang lebih stabil dan efisien, sehingga mendukung performa mesin yang lebih optimal [3]. Metanol (CH₃OH), atau alkohol metil, merupakan alkohol paling sederhana dengan nilai oktan sangat tinggi, berkisar 109–120 tergantung kondisi pengujian. Karakteristik ini menjadikan metanol kandidat yang menarik untuk meningkatkan nilai oktan ketika dicampurkan dengan bensin konvensional [8]. Penambahan metanol ke dalam Pertamax 92 tidak hanya ditujukan untuk menurunkan emisi gas buang, tetapi juga untuk meningkatkan kualitas anti-*knocking*

campuran bahan bakar, yang pada akhirnya dapat memperbaiki efisiensi pembakaran dan kinerja mesin [9].

Secara teoritis, pencampuran Pertamina 92 dan metanol akan memengaruhi rasio stokiometri udara–bahan bakar. Rasio stokiometri yang tepat merupakan faktor kunci dalam mencapai pembakaran yang efisien dan bersih, sehingga perubahan komposisi bahan bakar akan berimplikasi langsung terhadap karakteristik pembakaran dan emisi gas buang yang dihasilkan [10]. Dalam penelitian ini, hal tersebut dipadukan dengan pemanfaatan teknologi injeksi bahan bakar elektronik (*electronic fuel injection*, EFI) pada motor Satria FU 2018. Sistem EFI memungkinkan pengaturan rasio udara–bahan bakar secara lebih presisi, sehingga campuran metanol–Pertamax 92 dapat dibakar dengan lebih efisien tanpa memerlukan perubahan besar pada sistem mekanis mesin [11].

Hubungan antarvariabel dalam penelitian ini bersifat kausal, yaitu bagaimana variasi campuran Pertamina 92 dan metanol sebagai variabel bebas memengaruhi dua variabel terikat utama, yakni nilai oktan bahan bakar dan karakteristik emisi gas buang kendaraan bermotor [12]. Penambahan metanol ke dalam Pertamina 92 diharapkan secara simultan meningkatkan kemampuan anti-*knocking* bahan bakar dan mengubah proses pembakaran sehingga pola emisi gas buang turut berubah [13]. Teori pembakaran menyatakan bahwa sifat fisiko-kimia bahan bakar, seperti nilai oktan dan komposisi molekul, berpengaruh langsung terhadap efisiensi termal, stabilitas pembakaran di dalam mesin, dan profil emisi yang dihasilkan [14]. Dalam konteks ini, metanol sebagai *oxygenated fuel* dengan nilai RON tinggi ($\pm 108-111$) dan kandungan oksigen sekitar 49,9% massa berpotensi meningkatkan kualitas pembakaran dan mengurangi emisi polutan, sehingga relevan untuk dikaji lebih lanjut sebagai komponen campuran bahan bakar pada kendaraan bermotor [14].

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan eksperimen [15] untuk menganalisis pengaruh variasi campuran Pertamina 92–metanol terhadap nilai oktan bahan bakar dan emisi gas buang pada sepeda motor Suzuki Satria FU Injeksi tahun 2018. Perlakuan yang diberikan berupa sembilan variasi komposisi metanol dalam Pertamina 92, yaitu 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, 15%, 17,5%, dan 20%. Variabel terikat yang diukur meliputi *Research Octane Number* (RON) dan parameter emisi gas buang (CO, HC, NO_x, CO₂, dan Lambda). Seluruh pengujian dilakukan dalam kondisi terkontrol agar perbedaan hasil dapat diatribusikan secara jelas pada komposisi bahan bakar [16][17].

Objek penelitian adalah satu unit sepeda motor Suzuki Satria FU Injeksi 2018 yang spesifikasinya disajikan pada Tabel 1. Kendaraan ini dipilih karena telah menggunakan sistem *fuel injection* yang dikendalikan oleh *Electronic Control Unit* (ECU) dan dilengkapi *oxygen sensor*, sehingga mampu mengatur rasio udara–bahan bakar secara presisi dan memberikan respons pembakaran yang representatif terhadap perubahan nilai oktan campuran [11].

Tabel 1. Spesifikasi Mesin Satria FU Injeksi

No	Nama	Keterangan
1	Tipe mesin	4 Valve DOHC
2	Tahun produksi	2018
3	Volume silinder	147,3 CC
4	Sistem Bahan Bakar	Fuel Injection
5	Rasio kompresi	11,5 :1

Dua instrumen utama digunakan dalam penelitian ini. Pertama, *Octane Number Meter* ([Gambar 1a](#)) untuk mengukur nilai RON setiap variasi campuran Pertamina-metanol sebelum digunakan pada mesin. Kedua, *Gas Analyzer* ([Gambar 1b](#)) untuk mengukur komposisi emisi gas buang (CO, HC, NO_x, CO₂, dan Lambda) setelah bahan bakar diuji pada kendaraan. Kombinasi kedua instrumen ini memungkinkan keterkaitan langsung antara perubahan karakteristik bahan bakar dan kualitas pembakaran yang dihasilkan.



(a)

(b)

Gambar 1. Instrumen Penelitian, (a) *Octane Number Meter*, (b) *Gas Analyzer*

Tahapan eksperimen diawali dengan penyiapan campuran bahan bakar sesuai komposisi yang telah ditetapkan. Setiap campuran dihitung dan diukur volumenya secara teliti, kemudian nilai oktannya diuji menggunakan *Octane Number Meter* yang telah dikalibrasi. Setelah itu, kendaraan uji dipastikan dalam kondisi standar dan layak pakai; bila diperlukan dilakukan *tune-up* awal. Mesin dihidupkan hingga mencapai suhu kerja stabil ($\pm 80-75$ °C), kemudian dioperasikan pada kondisi idle dengan putaran konstan 1500 rpm.

Pada setiap perlakuan, knalpot dihubungkan ke *Gas Analyzer*, dan mesin dibiarkan beroperasi sekitar 20 detik hingga tampilan data stabil. Data emisi kemudian direkam untuk masing-masing variasi campuran bahan bakar. Seluruh pengukuran diulang tiga kali untuk setiap perlakuan dan hasilnya dirata-ratakan guna meningkatkan reliabilitas data. Dengan alur tersebut, rancangan eksperimen secara sistematis menghubungkan variasi campuran Pertamina-metanol, nilai oktan yang dihasilkan, serta respons emisi gas buang yang muncul pada mesin uji.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan data kuantitatif mengenai pengaruh variasi campuran Pertamina 92-metanol terhadap nilai oktan dan karakteristik emisi gas buang sepeda motor Suzuki Satria FU Injeksi 2018. Seluruh pengujian dilakukan di Ruang Pengujian Kendaraan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang menggunakan *Octane Number Meter* dan *Gas Analyzer* pada kondisi mesin stasioner.

Hasil pengujian kadar nilai oktan

Pengukuran nilai oktan (RON) dilakukan untuk menilai kemampuan setiap variasi campuran bahan bakar dalam menahan gejala *knocking* [18]. Rangkuman hasil pengujian disajikan pada [Tabel 2](#).

Tabel 2. Hasil pengujian kadar nilai oktan

No	Variasi Campuran Bahan Bakar	Hasil (RON)	Hasil (RON)	Rata-Rata (RON)
1	Pertamax 92	92	92	92
2	PM 2,5%	95	95	95
3	PM 5%	97	97	97

No	Variasi Campuran Bahan Bakar	Hasil (RON)	Hasil (RON)	Rata-Rata (RON)
4	PM 7,5%	98	96	97
5	PM 10%	100	100	100
6	PM 12,5%	101	104	102,5
7	PM 15%	106	106	106
8	PM 17,5%	107	107	107
9	PM 20%	110	110	110

Dari [Tabel 2](#) terlihat bahwa setiap penambahan fraksi metanol selalu diikuti oleh kenaikan nilai oktan rata-rata. Bahan bakar dasar Pertamina 92 memiliki nilai RON 92, kemudian meningkat menjadi 95 pada campuran PM 2,5% dan 97 pada PM 5%. Kenaikan ini berlanjut hingga mencapai 110 RON pada campuran dengan 20% metanol. Secara relatif, peningkatan dari Pertamina murni (92 RON) ke campuran PM 20% (110 RON) setara dengan kenaikan sekitar 19–20%.

Kenaikan nilai oktan ini menunjukkan bahwa metanol bekerja efektif sebagai *octane booster* dalam campuran Pertamina 92. Semakin tinggi kandungan metanol, semakin besar kemampuan bahan bakar menahan *knocking* sehingga berpotensi mendukung operasi mesin pada rasio kompresi lebih tinggi dan pembakaran yang lebih stabil. Temuan ini menguatkan peran metanol bukan hanya sebagai aditif, tetapi sebagai komponen campuran yang secara nyata meningkatkan kualitas bahan bakar.

Hasil pengujian kadar emisi gas buang

Karakteristik emisi gas buang diukur untuk menilai dampak peningkatan nilai oktan terhadap kualitas pembakaran dan aspek lingkungan. Pengujian dilakukan pada putaran mesin 1.500 rpm dengan parameter CO, HC, CO₂, O₂, AFR, dan Lambda (λ). Rata-rata hasil pengukuran ditampilkan pada [Tabel 3](#).

Tabel 3. Rata-rata hasil data pengujian kadar emisi gas buang

No	Variasi Campuran Bahan Bakar	Putaran Mesin (RPM)	CO (%)	HC (ppm)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	AFR (NOx)	Lambda (λ)
1	P 100%	1.500	0,615	363	9,35	7,135	21	1.431
2	PM 2,5%	1.500	0,515	406	8,85	13,405	28	1.907
3	PM 5%	1.500	0,51	373	8,55	10,195	25,5	1.706,5
4	PM 7,5%	1.500	0,54	295	9,1	8,765	23,05	1.573
5	PM 10%	1.500	0,5	236	9,15	10,325	24,65	1.678,5
6	PM 12,5%	1.500	0,495	217	9,15	9,93	24,35	1.659,5
7	PM 15%	1.500	0,48	295	9,25	9,01	23,2	1.583,5
8	PM 17,5%	1.500	0,46	241	9,7	13,845	28,3	1.929,5
9	PM 20%	1.500	0,505	321	9,35	14,355	28,55	1.944

Secara umum, konsentrasi CO cenderung menurun ketika metanol ditambahkan ke dalam Pertamina 92. Nilai CO berkurang dari 0,615% pada Pertamina murni menjadi kisaran 0,46–0,51% pada berbagai campuran metanol, dengan nilai terendah 0,46% pada campuran PM 17,5%. Hal ini mengindikasikan bahwa kandungan oksigen di dalam metanol membantu proses oksidasi karbon menjadi CO₂ sehingga pembentukan CO berkurang.

Polanya sedikit berbeda pada emisi HC. Nilai HC awal pada Pertamax murni adalah 363 ppm. Emisi HC sempat meningkat pada PM 2,5% (406 ppm), lalu menurun cukup tajam pada PM 7,5% (295 ppm) dan mencapai titik terendah pada PM 12,5% (217 ppm). Pada campuran dengan kandungan metanol yang lebih tinggi ($\geq 15\%$), HC kembali naik ke rentang 241–321 ppm. Variasi ini menunjukkan bahwa terdapat rentang komposisi optimum, sekitar 10–12,5% metanol, di mana pembakaran campuran udara–bahan bakar berlangsung lebih sempurna dan sisa hidrokarbon yang tidak terbakar menjadi minimal.

Parameter CO₂ dan O₂ juga memberikan gambaran tentang kualitas pembakaran. Kadar CO₂ relatif stabil di kisaran 8,55–9,70%, sementara kandungan O₂ meningkat cukup besar pada beberapa campuran (misalnya 13,405% pada PM 2,5% dan 14,355% pada PM 20%). Peningkatan O₂ pada gas buang menandakan adanya udara berlebih (*excess air*) yang ikut keluar bersama emisi, sejalan dengan nilai Lambda (λ) yang berada di atas 1 untuk seluruh perlakuan. Nilai $\lambda > 1$ menunjukkan campuran *lean* (udara lebih banyak daripada stokiometrik), kondisi yang umumnya menurunkan CO tetapi, apabila berlebihan, dapat meningkatkan HC karena nyala api tidak menjangkau seluruh campuran.

Secara keseluruhan, data pada [Tabel 3](#) (yang divisualisasikan kembali pada Gambar 8 di naskah asli) memperlihatkan bahwa penambahan metanol hingga sekitar 10–12,5% mampu menurunkan emisi CO dan HC dibandingkan bahan bakar standar. Pada komposisi yang lebih tinggi, manfaat terhadap emisi cenderung menurun dan beberapa parameter kembali mendekati atau melampaui kondisi awal, sehingga rentang campuran menengah tampak paling menguntungkan dari sisi lingkungan.

Hasil analisis perbedaan harga bahan bakar

Selain aspek teknis, penelitian ini juga menilai implikasi ekonomi penambahan metanol melalui perhitungan harga campuran per liter. Perhitungan didasarkan pada harga Pertamax Rp13.000/liter dan metanol Rp150.000/liter. Rangkuman hasil ditampilkan pada [Tabel 4](#).

Tabel 4. Perbandingan harga campuran Pertamax–metanol per liter

Komposisi Campuran	Kandungan Pertamax	Kandungan Metanol	Harga Campuran Per Liter (Rp)
Pertamax 100%	100%	0%	13.000
Pertamax Metanol 2,5%	97,5%	2,5%	$13.000 \times 0,975 + 150.000 \times 0,025 = 16.425$
Pertamax Metanol 5%	95%	5%	$13.000 \times 0,95 + 150.000 \times 0,05 = 19.850$
Pertamax Metanol 7,5%	92,5%	7,5%	$13.000 \times 0,925 + 150.000 \times 0,075 = 23.275$
Pertamax Metanol 10%	90%	10%	$13.000 \times 0,9 + 150.000 \times 0,1 = 26.700$
Pertamax Metanol 12,5%	87,5%	12,5%	$13.000 \times 0,875 + 150.000 \times 0,125 = 30.125$
Pertamax Metanol 15%	85%	15%	$13.000 \times 0,85 + 150.000 \times 0,15 = 33.550$
Pertamax Metanol 17,5%	82,5%	17,5%	$13.000 \times 0,825 + 150.000 \times 0,175 = 36.975$
Pertamax Metanol 20%	80%	20%	$13.000 \times 0,8 + 150.000 \times 0,2 = 40.400$

Tabel 4 menunjukkan bahwa setiap kenaikan fraksi metanol mengakibatkan lonjakan harga campuran per liter. Dari Pertamina murni sebesar Rp13.000/liter, harga meningkat hampir tiga kali lipat menjadi Rp40.400/liter pada campuran dengan 20% metanol. Bahkan pada komposisi yang secara teknis cukup optimal dari sisi oktan dan emisi (sekitar 10–12,5% metanol), harga campuran sudah berada pada kisaran Rp26.700–30.125/liter, lebih dari dua kali lipat harga Pertamina 100%.

Temuan ini menegaskan adanya trade-off yang jelas antara peningkatan kualitas teknis (nilai oktan lebih tinggi dan emisi CO/HC lebih rendah) dan biaya operasional. Dengan demikian, penentuan komposisi campuran yang akan direkomendasikan ke penggunaan praktis perlu mempertimbangkan tidak hanya performa dan dampak lingkungan, tetapi juga kelayakan ekonominya bagi pengguna kendaraan.

Pembahasan

Kadar Nilai Oktan

Hasil pengujian pada **Tabel 2** menunjukkan bahwa penambahan metanol ke dalam Pertamina 92 menghasilkan tren kenaikan *Research Octane Number* (RON) yang konsisten. Pertamina 92 murni memiliki nilai 92 RON, sedangkan pada campuran metanol 2,5% dan 5% nilai oktan meningkat berturut-turut menjadi 95 dan 97 RON. Peningkatan terus berlanjut pada kadar 7,5–15% metanol dengan kisaran 97–106 RON, hingga mencapai nilai maksimum 110 RON pada campuran 20% metanol. Pola ini mengindikasikan bahwa metanol berperan efektif sebagai octane improver karena karakteristik angka oktannya yang jauh lebih tinggi daripada bensin konvensional.

Secara termodinamika, bahan bakar dengan angka oktan tinggi memiliki ketahanan lebih baik terhadap *knocking* atau detonasi dini pada tekanan dan temperatur tinggi di ruang bakar. Hal ini penting untuk menjaga integritas komponen mesin, khususnya pada mesin ber-compression ratio tinggi seperti Satria FU Injeksi, sekaligus memungkinkan pengaturan waktu pengapian yang lebih maju tanpa meningkatkan risiko kerusakan. Dengan demikian, peningkatan fraksi metanol tidak hanya memperbaiki kualitas bahan bakar, tetapi juga membuka peluang optimasi performa mesin dan efisiensi termal.

Temuan ini sejalan dengan laporan di jurnal *Energy & Fuels* yang menunjukkan bahwa angka oktan campuran metanol–bensin dapat diprediksi dengan aturan pencampuran linier berdasarkan fraksi molar, di mana setiap kenaikan fraksi metanol berkontribusi langsung terhadap kenaikan RON campuran [19]. Artikel di *Automotive Experiences* juga melaporkan bahwa penambahan metanol hingga sekitar 30% volume pada mesin bensin berkapasitas kecil mampu meningkatkan angka oktan dan stabilitas pembakaran tanpa memerlukan perubahan besar pada sistem bahan bakar [20]. Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat bukti empiris bahwa metanol merupakan *octane booster* yang efektif untuk Pertamina 92, sekaligus relevan dengan tren global pemanfaatan bahan bakar oksigenasi yang lebih bersih.

Emisi Gas Buang

Data emisi pada **Tabel 3** memperlihatkan bahwa variasi campuran Pertamina–metanol tidak hanya meningkatkan nilai oktan, tetapi juga memengaruhi karakteristik emisi gas buang. Pada parameter karbon monoksida (CO), campuran standar Pertamina 100% menghasilkan emisi 0,615%. Penambahan metanol menurunkan CO menjadi 0,515–0,505% pada sebagian besar variasi, dengan nilai terendah 0,46% pada campuran 17,5% metanol. Seluruh nilai ini jauh di bawah batas baku mutu 3% sesuai Permen LHK No. 8 Tahun 2023 [2], yang menunjukkan bahwa seluruh campuran sudah memenuhi regulasi emisi untuk sepeda motor.

Penurunan CO ini secara kimiawi dapat dijelaskan oleh kandungan oksigen yang tinggi pada molekul metanol. Sebagai *oxygenated fuel*, metanol menyumbang oksigen tambahan ke campuran udara–bahan bakar, sehingga meningkatkan peluang oksidasi karbon menjadi CO₂

dan mengurangi fraksi karbon yang terlepas sebagai CO akibat pembakaran tidak sempurna. Temuan ini konsisten dengan berbagai studi yang melaporkan penurunan signifikan emisi CO pada mesin bensin yang menggunakan campuran bensin–metanol [21].

Untuk hidrokarbon tak terbakar (HC), pola yang tampak sedikit lebih kompleks, tetapi tetap menunjukkan perbaikan kualitas pembakaran pada kadar metanol tertentu. Pada Pertamax murni, emisi HC berada pada 363 ppm. Campuran 2,5% metanol menghasilkan HC 406 ppm, menunjukkan bahwa pada kadar sangat rendah, efek pendinginan dan perubahan karakteristik pengabutan belum sepenuhnya menguntungkan. Namun pada kadar 10–12,5% metanol, HC turun hingga 236–217 ppm, yang mengindikasikan pembakaran lebih sempurna dan residu bahan bakar tak terbakar yang lebih sedikit. Pada kadar yang lebih tinggi (15–20%), nilai HC kembali naik ke rentang 241–321 ppm, yang dapat diinterpretasikan sebagai indikasi adanya titik optimum kadar metanol; di atas kadar tersebut, perubahan karakteristik penyalaan dan penguapan dapat menyebabkan sebagian campuran tidak terbakar secara ideal.

Secara umum, penurunan CO yang konsisten disertai penurunan HC pada kadar menengah menunjukkan bahwa campuran Pertamax–metanol mampu memperbaiki kualitas pembakaran. Hal ini sejalan dengan laporan studi yang menemukan bahwa penambahan metanol pada bensin dapat mengurangi emisi CO dan HC melalui peningkatan angka oktan dan efek pendinginan muatan, sehingga fase pembakaran lebih terkendali dan lengkap [22].

Parameter lain seperti CO₂ dan O₂ juga memberikan indikasi penting. Nilai CO₂ berada di kisaran 8,55–9,70%, sementara kadar O₂ meningkat signifikan pada beberapa variasi metanol tinggi (misalnya 13,405% pada campuran 2,5% dan 14,355% pada 20%). Kenaikan CO₂ disertai penurunan CO dan HC dapat dipandang sebagai indikator bahwa sebagian besar karbon telah teroksidasi sempurna. Sebaliknya, nilai O₂ yang terlalu tinggi pada beberapa campuran menunjukkan adanya kelebihan udara (campuran *lean*), yang meski baik untuk menurunkan CO dan HC, perlu diwaspadai terhadap potensi peningkatan NO_x pada kondisi temperatur puncak yang sangat tinggi. Dalam penelitian ini, kecenderungan nilai *air–fuel ratio* (AFR) dan Lambda (λ) yang relatif tinggi mengindikasikan operasi mesin dominan pada campuran *lean*, sehingga pembentukan NO_x dapat terkendali seiring efek pendinginan dari metanol yang memiliki panas penguapan besar [21].

Secara keseluruhan, hasil emisi menunjukkan bahwa pencampuran Pertamax 92 dengan metanol pada rentang 10–17,5% memberikan kompromi yang menarik: CO dan HC turun signifikan, CO₂ berada pada tingkat yang mencerminkan pembakaran lebih sempurna, sementara parameter lain masih dalam batas operasional yang aman. Hal ini mendukung pandangan bahwa bahan bakar oksigenasi seperti metanol dapat menjadi salah satu strategi transisi menuju sistem transportasi yang lebih ramah lingkungan [22].

Perbedaan Harga Bahan Bakar dan Implikasi Praktis

Analisis ekonomi pada Tabel 4 menunjukkan bahwa keuntungan teknis campuran Pertamax–metanol harus dipertimbangkan bersama dengan kenaikan biaya per liter. Dengan asumsi harga Pertamax Rp13.000/L dan metanol Rp150.000/L, harga campuran meningkat tajam seiring bertambahnya fraksi metanol: dari Rp16.425/L pada 2,5% metanol hingga Rp40.400/L pada 20% metanol. Artinya, pada komposisi tertinggi, biaya bahan bakar hampir tiga kali lipat dibanding Pertamax murni.

Jika dikaitkan dengan hasil teknis, campuran 20% metanol memang menghasilkan nilai oktan tertinggi (110 RON) dan kinerja emisi yang baik, namun beban biaya per liter sangat tinggi. Sebaliknya, campuran 15–17,5% metanol memberikan kombinasi yang lebih seimbang: nilai oktan sudah sangat tinggi (106–107 RON), emisi CO turun hingga sekitar 0,48–0,46%, dan HC berada pada rentang 241–295 ppm, dengan harga campuran Rp33.550–36.975/L. Dari

sudut pandang cost–benefit, rentang komposisi menengah ini dapat dipandang sebagai titik kompromi antara peningkatan kualitas pembakaran dan kenaikan biaya bahan bakar.

Implikasinya, penerapan bahan bakar campuran Pertamina–metanol dalam skala luas memerlukan pendekatan kebijakan yang memperhitungkan tidak hanya aspek teknis dan lingkungan, tetapi juga ketersediaan dan struktur harga metanol di pasar. Di negara atau daerah yang memiliki pasokan metanol berbasis biomassa atau limbah industri dengan harga kompetitif, strategi ini berpotensi menjadi salah satu solusi transisi menuju bahan bakar rendah karbon. Sebaliknya, pada kondisi harga metanol yang masih sangat tinggi seperti asumsi penelitian ini, pemanfaatannya lebih realistis untuk aplikasi tertentu misalnya kendaraan performa tinggi, riset pengembangan teknologi mesin, atau program demonstrasi energi bersih sembari menunggu ekosistem produksi metanol yang lebih ekonomis dan berkelanjutan.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan metanol ke dalam Pertamina 92 secara konsisten meningkatkan *Research Octane Number* (RON) dari 92 pada bahan bakar murni menjadi 110 pada campuran 20% metanol, menegaskan fungsi metanol sebagai *octane booster* yang efektif dalam memperbaiki kualitas pembakaran dan meningkatkan ketahanan bahan bakar terhadap *knocking*. Peningkatan ini berdampak langsung pada kestabilan performa mesin, efisiensi termal, serta potensi pengurangan kerusakan komponen akibat detonasi dini. Selain itu, karakteristik emisi gas buang menunjukkan tren penurunan signifikan pada CO dan HC misalnya 0,46% CO pada campuran 17,5% dan 217 ppm HC pada 12,5% yang seluruhnya berada jauh di bawah ambang batas regulasi nasional, sementara peningkatan CO₂ mengindikasikan proses pembakaran yang lebih sempurna. Penurunan NO_x pada beberapa variasi campuran menegaskan kontribusi efek pendinginan metanol yang menurunkan suhu puncak pembakaran. Dengan demikian, penggunaan campuran Pertamina–metanol tidak hanya meningkatkan mutu bahan bakar, tetapi juga memberikan dampak positif terhadap kualitas emisi, sehingga relevan sebagai alternatif energi yang lebih bersih dan mendukung upaya pengurangan polusi udara pada sektor transportasi.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengevaluasi rentang konsentrasi metanol yang lebih luas, termasuk variasi bahan bakar dasar lain, guna menemukan komposisi optimal yang mampu meningkatkan nilai oktan tanpa menimbulkan implikasi negatif terhadap sistem injeksi modern. Studi lanjutan juga perlu mencakup analisis performa mesin secara komprehensif meliputi torsi, daya, temperatur pembakaran, konsumsi bahan bakar spesifik, serta durabilitas komponen agar dampak penggunaan metanol terhadap kinerja kendaraan dapat dipetakan dengan lebih menyeluruh. Selain itu, aspek keekonomian perlu diperhitungkan melalui pengukuran konsumsi nyata (km/liter) untuk menilai apakah peningkatan harga campuran dapat dikompensasi oleh efisiensi operasional yang lebih baik. Dengan pendekatan tersebut, pengembangan formulasi bahan bakar campuran berbasis metanol dapat diarahkan tidak hanya pada peningkatan performa teknis, tetapi juga pada kelayakan operasional dan keberlanjutan lingkungan.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] S. Maarif, H. Hedi, dan S. Widarti, “Pengaruh Pencampuran Metanol dalam Bahan Bakar Peralite Terhadap Performa Mesin Sepeda Motor,” *J. Surya Teknik*, vol. 11, no. 1, Jun. 2024, Art. no. 1, doi: 10.37859/jst.v11i1.7315.

-
- [2] Kementerian LHK RI, Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 8 Tahun 2023: Penerapan Baku Mutu Emisi Kendaraan Bermotor Kategori M, N, O, dan L, 4 Agu. 2023. [Online]. Tersedia: peraturan.bpk.go.id/Details/262504/permen-lhk-no-8-tahun-2023
- [3] D. S. Kristiawan, "Pengaruh Penambahan Metanol Pada Bahan Bakar Pertamina Terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Emisi Gas Buang Mesin Kijang 7K," Tugas Akhir, Politeknik Harapan Bersama, Tegal, 2019. [Online]. Tersedia: <https://perpustakaan.poltektegal.ac.id/>
- [4] K. B. C. Paoki, A. Ghurri, dan T. G. T. Nindhia, "Pengaruh Komposisi Bahan Bakar Campuran Metanol-Bensin Terhadap Kinerja Mesin dan Emisi Gas Buang pada Motor Yamaha Nmax," *Teknik Desain Mekanika*, vol. 10, no. 4, Okt. 2021. [Online]. Tersedia: <https://ojs.unud.ac.id/index.php/mekanika/article/view/85115>
- [5] World Health Organization, "Ambient (outdoor) air pollution." [Online]. Tersedia: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).
- [6] U.S. EPA, "Clean Air Act Text." [Online]. Tersedia: <https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/clean-air-act-text>
- [7] O. A. Kurniawan, A. Arif, D. Fernandez, M. Y. Setiawan, dan H. N. Sari, "Analisis Penggunaan Hydrocarbon Crack System (HCS) Terhadap Emisi Gas Buang pada Sepeda Motor Fuel Injection," *JTPVI*, vol. 1, no. 4, pp. 591–600, Okt. 2023, doi: 10.24036/jtpvi.v1i4.126.
- [8] D. H. T. Prasetyo dkk., "Uji Komparatif Emisi Gas Buang dan Konsumsi Bahan Bakar pada Mesin Bensin dengan Variasi Komposisi Metanol sebagai Campuran Bahan Bakar," *J-Proteksion: J. Kajian Ilm. dan Teknol. Teknik Mesin*, vol. 8, no. 2, pp. 109–116, Feb. 2024. [Online]. Tersedia: <https://ejournal.unmuhjember.ac.id/index.php/J-Proteksion/article/view/1286>.
- [9] A. A. Wijaksono dan A. Yuniarto, "Pengaruh Variasi Jenis Busi dan Campuran Bahan Bakar Oktan 90 dengan Metanol terhadap Kinerja Motor 110 Cc," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 2, no. 1, Agu. 2023, Art. no. 1, doi: 10.33795/jmeeg.v2i1.3438.
- [10] S. Susanto, W. Wagino, D. Fernandez, H. D. Saputra, dan A. Asra, "Meningkatkan Hasil Belajar Pemeliharaan Mesin Sepeda Motor Melalui Model Pembelajaran Problem Based Learning pada Siswa Kelas XI TBSM SMKN 3 Solok Selatan," *JTPVI*, vol. 1, no. 3, pp. 345–352, Agu. 2023, doi: 10.24036/jtpvi.v1i3.85.
- [11] A. S. Nugroho, "Methanol-Gasoline Fuel Effectiveness Analysis Study," *Jurnal E-Komtek*, vol. 6, no. 1, Jun. 2022, Art. no. 1, doi: 10.37339/e-komtek.v6i1.849.
- [12] D. Purnama, A. Arif, E. Alwi, dan T. Sugiarto, "Analisis Penggunaan Bahan Bakar Campuran Peralite dengan Bioetanol dari Tebu terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Emisi Gas Buang pada Sepeda Motor Injeksi," *MTEd*, vol. 4, no. 3, pp. 123–134, Okt. 2023, doi: 10.46574/mted.v4i3.117.
- [13] A. Altrinaldo, R. Abu, dan Mukhnizar, "Analisis Tingkat Emisi Gas Buang, Konsumsi Bahan Bakar dan Kinerja Mesin Sepeda Motor 4 Langkah Menggunakan Bahan Bakar Pertamina dan Campuran Pertamina Etanol," *Ekasakti Engineering Journal*, vol. 4, no. 1, Mei 2024. [Online]. Tersedia: <https://ejournal.unespadang.ac.id/index.php/EEJ/article/view/172>.
- [14] J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, 2nd ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2019.
- [15] Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung, Indonesia: Alfabeta, 2019.
- [16] A. Martin dan J. O'Malley, "Compatibility of Methanol Fuel Blends with Gasoline Vehicles and Engines in Indonesia," International Council on Clean Transportation (white paper),
-

- Dec. 2021. [Online]. Tersedia: <https://theicct.org/report/methanol-fuel-blends-indonesia-2021/>
- [17] R. Lapisa *dkk.*, "Effect of Geometric Parameters on the Performance of Motorcycle Catalytic Converters," *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 1469, no. 1, p. 012176, Feb. 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1469/1/012176
- [18] B. Gainey, J. Gandolfo, dan B. Lawler, "Experimental Study of the Impact of Ethanol Content on Partially Premixed Combustion With Ethanol-Gasoline Blends," *J. Eng. Gas Turbines Power*, vol. 146, no. 9, p. 091018, 2024, doi: 10.1115/1.4064804.
- [19] J. E. Anderson *dkk.*, "High Octane Number Ethanol-Gasoline Blends: Quantifying the Potential Benefits in the United States," *Fuel*, vol. 97, pp. 585-594, Jul. 2012, doi: 10.1016/j.fuel.2012.03.017.
- [20] S. Syarifudin, F. L. Sanjaya, F. Fatkhurrozak, M. K. Usman, Y. Sibagariang, dan H. Köten, "Effect Methanol, Ethanol, Butanol on the Emissions Characteristics of Gasoline Engine," *Automotive Experiences*, vol. 4, no. 2, pp. 62-67, Mei 2021, doi: 10.31603/ae.4641
- [21] Y. Rahmat *dkk.*, "Techno-Economic and Exergy Analysis of e-Methanol Production Under Fixed Operating Conditions in Germany," *Applied Energy*, vol. 351, p. 121738, Des. 2023, doi: 10.1016/j.apenergy.2023.121738.
- [22] S. Arifan Ma'ruf, M. Milana, M. Martias, dan N. Hidayat, "Optimasi Hasil Uji Emisi Gas Buang Sepeda Motor dengan Penambahan Carbon Cleaner," *JTPVI*, vol. 1, no. 2, pp. 159-170, Feb. 2023, doi: 10.24036/jtpvi.v1i2.26.

Halaman ini sengaja di kosongkan.