



## Dampak Variasi Campuran *Water–Methanol* Injection terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Emisi Sepeda Motor Injeksi

### *Impact of Water–Methanol Injection Variations on Fuel Consumption and Exhaust Emissions of Fuel-Injection Motorcycles*

Achmad Fauzil<sup>1\*</sup>, Nuzul Hidayat<sup>1</sup>, Hasan Maksum<sup>1</sup>, Ahmad Arif<sup>1</sup>

#### Abstrak

Peningkatan konsumsi bahan bakar fosil dan tingginya emisi kendaraan bermotor mendorong perlunya inovasi teknologi ramah lingkungan berbasis *bioetanol* dan sistem pembakaran modern. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh *water–methanol injection* (WMI) terhadap konsumsi bahan bakar, emisi gas buang, serta indikasi *durability mesin* pada sepeda motor Honda Beat FI 2019. Metode eksperimen digunakan dengan empat variasi perlakuan: standar, X2a (5% metanol), X2b (10% metanol), dan X2c (15% metanol), diuji pada 1500, 3500, dan 5500 RPM. Hasil menunjukkan bahwa variasi X2c memberikan efisiensi konsumsi tertinggi dengan penghematan hingga 13,04% pada 1500 RPM dan 11,11% pada 5500 RPM. Sementara itu, variasi X2a paling efektif menekan emisi CO dan HC, masing-masing 63,16% dan 32,45% pada 5500 RPM. Penurunan *deposit karbon* memperkuat temuan bahwa kombinasi teknologi WMI, *ECU programmable*, dan *busi iridium* berpotensi meningkatkan efisiensi energi sekaligus memperpanjang umur mesin.

#### Kata Kunci

*Water–methanol injection*, bioetanol, ECU programmable, busi iridium, durability mesin, deposit karbon

#### Abstract

*The increasing consumption of fossil fuels and vehicle emissions highlights the need for eco-friendly innovations such as bioethanol and advanced combustion systems. This study aims to analyze the effect of water–methanol injection (WMI) on fuel consumption, exhaust emissions, and indications of engine durability in a 2019 Honda Beat FI motorcycle. An experimental method was applied with four variations: standard, X2a (5% methanol), X2b (10% methanol), and X2c (15% methanol), tested at 1500, 3500, and 5500 RPM. Results indicated that X2c achieved the highest efficiency with fuel savings of 13.04% at 1500 RPM and 11.11% at 5500 RPM. Meanwhile, X2a was the most effective in reducing CO and HC emissions, with reductions of 63.16% and 32.45% at 5500 RPM. The reduction in carbon deposits further demonstrates that combining WMI with a programmable ECU and iridium spark plug can improve energy efficiency and extend engine lifespan.*

#### Keywords

*Water–methanol injection, bioethanol, programmable ECU, iridium spark plug, engine durability, carbon deposit*

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

\*[achmad192000@gmail.com](mailto:achmad192000@gmail.com)

Dikirimkan: 06 Agustus 2025. Diterima: 20 Agustus 2025. Diterbitkan: 22 Agustus 2025.



## PENDAHULUAN

Di Indonesia, jumlah sepeda motor mengalami peningkatan signifikan setiap tahun. Pada akhir 2022, jumlahnya tercatat lebih dari 126,99 juta unit atau sekitar 83,27% dari total kendaraan bermotor, berdasarkan data Kepolisian Negara Republik Indonesia (Polri) [1]. Peningkatan jumlah sepeda motor, terutama di kawasan perkotaan, berimplikasi langsung terhadap meningkatnya konsumsi bahan bakar fosil serta pencemaran udara akibat emisi gas buang kendaraan. Tren konsumsi Pertalite juga memperkuat kondisi ini, dengan penggunaan sebesar 18,1 juta kiloliter pada 2020, meningkat menjadi 23 juta kiloliter pada 2021, dan mencapai 26,9 juta kiloliter hingga November 2022 [2]. Lonjakan tersebut menimbulkan kekhawatiran terhadap keterbatasan cadangan bahan bakar fosil yang diperkirakan akan habis dalam waktu kurang dari tiga dekade, apabila tidak disertai dengan inovasi teknologi dan penerapan energi alternatif.

Gas buang kendaraan bermotor, seperti karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), menimbulkan dampak negatif bagi kesehatan maupun lingkungan. CO, misalnya, memiliki kemampuan berikatan dengan hemoglobin lebih kuat dibanding oksigen, sehingga berpotensi mengganggu sistem pernapasan dan sirkulasi darah. Sementara itu, HC yang tidak terbakar sempurna berisiko membentuk senyawa karsinogenik. Oleh karena itu, diperlukan teknologi yang tidak hanya mampu menekan konsumsi bahan bakar, tetapi juga efektif dalam menurunkan emisi gas buang. Salah satu inovasi yang menjanjikan adalah *water-methanol injection* (WMI), yakni teknologi penyemprotan campuran air dan metanol ke dalam ruang bakar untuk menurunkan temperatur pembakaran, meningkatkan densitas oksigen, serta mencegah terjadinya detonasi dini (*knocking*) [3].

Metanol yang memiliki angka oktan tinggi berperan dalam meningkatkan efisiensi pembakaran, sedangkan air membantu mendinginkan suhu ruang bakar. Kombinasi keduanya diyakini dapat meningkatkan efisiensi konsumsi bahan bakar sekaligus mengurangi emisi polutan. Sistem WMI bekerja melalui *intake manifold*, di mana campuran air dan metanol diinjeksikan bersamaan dengan udara dan bahan bakar. Proses ini menurunkan temperatur udara masuk, memperlambat laju pembakaran, dan memungkinkan pengapian diperpanjang tanpa menimbulkan *knocking*. Dengan demikian, tenaga mesin meningkat, suhu ruang bakar lebih stabil, serta torsi dan daya motor empat langkah dapat ditingkatkan [4–6].

Emisi gas buang sendiri merupakan produk pembakaran yang tidak sempurna di dalam ruang bakar, mengandung berbagai zat berbahaya seperti CO dan HC [7–9]. CO yang tidak berwarna dan tidak berbau terbentuk akibat kurangnya pasokan oksigen, sehingga pembakaran tidak sempurna. Gas ini berbahaya karena mudah berikatan dengan hemoglobin, membentuk karboksihemoglobin yang menghambat distribusi oksigen ke jaringan tubuh. Sementara itu, HC yang mudah menguap dapat menyebabkan iritasi, gangguan pernapasan, hingga kanker [10]. Tingginya emisi HC dapat dipicu oleh *misfire*, temperatur ruang bakar yang rendah, *valve overlap*, maupun kebocoran ring piston [11].

Selain aspek emisi, konsumsi bahan bakar juga menjadi indikator penting efisiensi mesin. Konsumsi bahan bakar didefinisikan sebagai jumlah bahan bakar yang digunakan mesin dalam periode tertentu [12]. Besarnya dipengaruhi oleh putaran mesin, beban kendaraan, suhu bahan bakar, hingga kapasitas mesin [13][14]. Putaran mesin yang tinggi dan beban berat meningkatkan kebutuhan bahan bakar, sementara pengaturan temperatur dan rasio udara-bahan bakar yang tepat dapat meningkatkan efisiensi pembakaran.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi campuran WMI terhadap konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang sepeda motor Honda Beat FI 2019. Fokus penelitian meliputi tiga variasi komposisi campuran *water-methanol* (95% : 5%, 90% : 10%, dan 85% : 15%) serta tiga tingkat putaran mesin (1500, 3500, dan 5500 RPM).

Kebaruan penelitian ini terletak pada evaluasi sistematis terhadap performa mesin, tidak hanya pada efisiensi konsumsi bahan bakar tetapi juga pada reduksi emisi CO dan HC, sehingga diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan teknologi kendaraan ramah lingkungan dan mendukung upaya pengurangan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan kuantitatif. Metode eksperimen dipilih karena memungkinkan peneliti untuk mengetahui pengaruh perlakuan tertentu terhadap variabel lain dalam kondisi yang terkendali. Pada penelitian ini, perlakuan (*treatment*) yang diberikan adalah variasi campuran *water-methanol injection* (WMI) terhadap konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang pada sepeda motor Honda Beat FI tahun 2019. Pendekatan kuantitatif digunakan karena seluruh data penelitian berupa angka yang dapat dianalisis secara statistik, sehingga hasil lebih objektif dan dapat dipertanggungjawabkan.

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis. Pertama, dilakukan persiapan alat dan bahan, meliputi sepeda motor Honda Beat FI 2019, saluran injeksi eksternal untuk WMI, tabung ukur akrilik, *stopwatch* digital, dan *gas analyzer* yang telah dikalibrasi. Kedua, sistem *intake* dimodifikasi dengan menambahkan saluran injeksi eksternal agar campuran *water-methanol* dapat disemprotkan langsung ke dalam *manifold*. Ketiga, ditentukan variasi perlakuan, yaitu tiga campuran *water-methanol* (95% : 5%, 90% : 10%, dan 85% : 15%) serta satu kondisi standar sebagai kontrol.

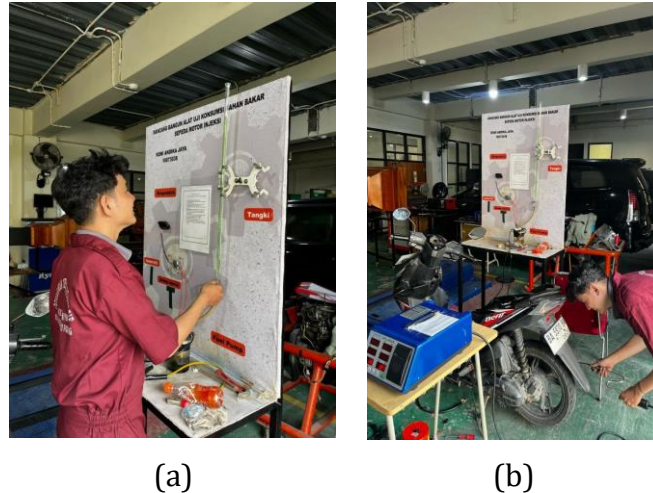
Prosedur pengambilan data dilakukan dengan mengoperasikan mesin dalam kondisi stasioner pada tiga tingkat putaran mesin: 1500 RPM, 3500 RPM, dan 5500 RPM. Setiap variasi campuran diuji sebanyak tiga kali untuk memperoleh data rata-rata yang lebih akurat dan reliabel. Konsumsi bahan bakar diukur menggunakan metode *volumetric flow*, yakni dengan mencatat volume bahan bakar yang keluar dari tabung ukur akrilik dalam satuan waktu menggunakan *stopwatch* digital. Sementara itu, emisi gas buang (CO dan HC) diukur dengan *gas analyzer* yang telah dikalibrasi, dengan sampel gas diambil langsung dari saluran knalpot.

Setelah data terkumpul, dilakukan analisis deskriptif kuantitatif berupa perhitungan nilai rata-rata dan persentase penurunan dibandingkan dengan kondisi standar. Secara umum, alur penelitian ini dimulai dari tahap identifikasi masalah dan perumusan tujuan penelitian, kemudian dilanjutkan dengan persiapan alat dan bahan yang diperlukan. Tahap berikutnya adalah modifikasi sistem intake untuk pemasangan *water-methanol injection* sehingga campuran dapat disemprotkan langsung ke dalam *manifold*. Setelah itu, dilakukan pengujian dengan variasi campuran pada tiga tingkat putaran mesin, yaitu 1500, 3500, dan 5500 RPM. Pada setiap kondisi pengujian, konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang (CO dan HC) diukur secara sistematis menggunakan instrumen yang telah dikalibrasi. Data hasil pengukuran kemudian dianalisis secara kuantitatif untuk memperoleh gambaran perbandingan antarperlakuan. Tahap akhir dari penelitian ini adalah penarikan kesimpulan berdasarkan hasil analisis, guna menjawab tujuan penelitian serta memberikan implikasi yang relevan terhadap pengembangan teknologi ramah lingkungan pada kendaraan bermotor.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil

Proses pengambilan data tentang pengujian konsumsi bahan bakar dan pengujian emisi gas buang sepeda motor dapat di lihat pada [Gambar 1](#).



**Gambar 1.** Proses pengambilan data (a) pengujian konsumsi bahan bakar (b) pengujian emisi gas buang

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan *water-methanol injection* (WMI) berpengaruh nyata terhadap konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang (CO dan HC) dibandingkan kondisi standar. Pengujian dilakukan pada tiga variasi campuran, yaitu 95% : 5%, 90% : 10%, dan 85%:15% (air : *methanol*), serta tiga tingkat putaran mesin (1500, 3500, dan 5500 RPM).

**Tabel 1.** Data Konsumsi Bahan Bakar (mL)

RPM	Standar	X2 <sub>a</sub> (95:5)	X2 <sub>b</sub> (90:10)	X2 <sub>c</sub> (85:15)
1500	2,3	2,1	2,2	2,0
3500	3,9	4,0	3,6	3,5
5500	5,4	5,2	5,0	4,8

**Tabel 1** memperlihatkan variasi konsumsi bahan bakar pada kondisi standar dan perlakuan. Pada RPM rendah (1500), kondisi standar mencatat 2,3 mL, sedangkan perlakuan X2c menghasilkan konsumsi terendah 2 mL. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan *methanol* hingga 15% meningkatkan efisiensi pembakaran. Sebaliknya, pada X2b (10% *methanol*), konsumsi naik menjadi 2,2 mL, menandakan ketidakseimbangan campuran pada tingkat tersebut. Pada RPM menengah (3500), konsumsi bahan bakar standar sebesar 3,9 mL meningkat sedikit pada X2a (4,0 mL) namun menurun pada X2b (3,6 mL) dan X2c (3,5 mL). Artinya, pada kondisi kerja menengah, peningkatan kadar *methanol* mulai memberikan dampak positif terhadap efisiensi. Pada RPM tinggi (5500), seluruh variasi menunjukkan penurunan konsumsi dibandingkan standar (5,4 mL). Konsumsi terendah diperoleh pada X2c (4,8 mL), menegaskan bahwa WMI paling efektif menekan kebutuhan bahan bakar ketika mesin bekerja pada beban tinggi, karena pendinginan ruang bakar mengurangi risiko *knocking* dan memungkinkan pembakaran lebih sempurna.

**Tabel 2.** Data Emisi Gas Buang CO (%) dan HC (ppm)

RPM	CO Std	CO X2 <sub>a</sub> (%)	CO X2 <sub>b</sub> (%)	CO X2 <sub>c</sub> (%)	HC Std	HC X2 <sub>a</sub> (ppm)	HC X2 <sub>b</sub> (ppm)	HC X2 <sub>c</sub> (ppm)
1500	0.99	0.44	0.62	0.82	225.67	137	212	225.67
3500	1.33	0.49	0.57	0.89	264	185	205.33	238.33
5500	1.08	0.46	0.56	0.81	265	179	225	241.67

**Tabel 2** menunjukkan bahwa emisi CO dan HC mengalami penurunan signifikan akibat penerapan WMI, meskipun hasilnya bergantung pada komposisi campuran dan tingkat RPM. Pada 1500 RPM, emisi CO standar sebesar 0,99% menurun tajam pada X2a (0,44%), setara dengan efisiensi 55,56%. Emisi HC juga menurun dari 225,67 ppm menjadi 137 ppm. Namun, peningkatan kadar *methanol* hingga 15% (X2c) membuat nilai CO (0,82%) dan HC (225,67 ppm) kembali mendekati standar, menunjukkan bahwa kelebihan *methanol* pada putaran rendah justru menurunkan stabilitas pembakaran.

Selanjutnya pada 3500 RPM, penurunan CO paling signifikan terjadi pada X2a (0,49%) dengan efisiensi 63,16%. HC juga menurun dari 264 ppm (standar) menjadi 185 ppm (X2a). Variasi X2b tetap lebih baik dibanding standar, meskipun sedikit meningkat dibanding X2a. Namun, X2c kembali menunjukkan kenaikan emisi (0,89% CO dan 238,33 ppm HC), menandakan adanya titik jenuh pada kadar *methanol* tinggi. Pada 5500 RPM, ketiga variasi memberikan penurunan emisi yang konsisten. CO menurun dari 1,08% menjadi 0,46% (X2a), 0,56% (X2b), dan 0,81% (X2c). HC juga turun dari 265 ppm menjadi 179 ppm (X2a), 225 ppm (X2b), dan 241,67 ppm (X2c). Hasil ini menegaskan bahwa pada beban tinggi, campuran WMI efektif menurunkan emisi, dengan hasil optimal diperoleh pada campuran 95%:5%.

Secara keseluruhan, data hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan *water-methanol injection* memberikan peningkatan efisiensi konsumsi bahan bakar sekaligus menurunkan emisi CO dan HC, meskipun efektivitasnya bervariasi menurut rasio campuran dan kondisi operasional mesin.

## Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian, penerapan *water-methanol injection* (WMI) pada sepeda motor Honda Beat FI tahun 2019 menunjukkan perbaikan nyata baik pada efisiensi konsumsi bahan bakar maupun pada penurunan emisi gas buang. Data pada **Tabel 1** memperlihatkan bahwa konsumsi bahan bakar menurun di hampir semua kondisi perlakuan dibandingkan dengan standar. Pada 1500 RPM, konsumsi standar sebesar 2,3 mL menurun menjadi 2,1 mL pada X2a (95% : 5%), 2,2 mL pada X2b (90% : 10%), dan 2 mL pada X2c (85% : 15%). Hal ini setara dengan penghematan sebesar 8,7% pada X2a, 4,35% pada X2b, dan 13,04% pada X2c dibandingkan standar. Penurunan ini menunjukkan bahwa WMI berperan dalam meningkatkan kualitas pembakaran pada putaran rendah, meskipun tingkat efektivitasnya bervariasi sesuai dengan komposisi campuran.

Pada putaran menengah (3500 RPM), konsumsi standar sebesar 3,9 mL menunjukkan tren yang berbeda. Perlakuan X2a justru menghasilkan konsumsi lebih tinggi (4 mL), sedangkan X2b (3,6 mL) dan X2c (3,5 mL) menunjukkan efisiensi lebih baik. Hal ini mengindikasikan bahwa kandungan air yang terlalu dominan dapat menurunkan stabilitas pembakaran, sementara proporsi *methanol* yang lebih besar memberikan kontribusi energi tambahan sekaligus mempertahankan kestabilan nyala api. Pada putaran tinggi (5500 RPM), tren penghematan menjadi lebih konsisten: konsumsi standar sebesar 5,4 mL menurun berturut-turut menjadi 5,2 mL (X2a), 5 mL (X2b), dan 4,8 mL (X2c). Efisiensi tertinggi ditunjukkan oleh variasi X2c dengan penghematan 11,11% terhadap standar, menegaskan bahwa WMI paling efektif ketika mesin bekerja pada beban tinggi.

Selain konsumsi bahan bakar, efektivitas WMI juga terlihat jelas pada hasil emisi yang disajikan dalam **Tabel 2**. Pada 1500 RPM, emisi karbon monoksida (CO) standar sebesar 0,99% menurun drastis menjadi 0,44% pada X2a, yang setara dengan penurunan 55,56%. Emisi hidrokarbon (HC) juga turun dari 225,67 ppm menjadi 137 ppm, atau efisiensi 39,29%. Namun, peningkatan fraksi *methanol* justru membuat emisi kembali naik pada X2b (0,62% CO, 212 ppm HC) dan X2c (0,82% CO, 225,67 ppm HC). Hal ini dapat dijelaskan secara teoritis: pada putaran rendah, pendinginan berlebih akibat dominasi *methanol* berpotensi menimbulkan *quenching* di

sekitar dinding silinder sehingga sebagian bahan bakar tidak terbakar sempurna, yang kemudian meningkatkan emisi CO dan HC.

Pada putaran menengah (3500 RPM), pola serupa juga terlihat. Emisi CO standar sebesar 1,33% menurun menjadi 0,49% (X2a) dan 0,57% (X2b), sebelum kembali meningkat pada X2c (0,89%). HC juga menurun dari 264 ppm (standar) menjadi 185 ppm (X2a) dan 205,33 ppm (X2b), tetapi naik lagi menjadi 238,33 ppm pada X2c. Data ini menunjukkan bahwa terdapat titik optimal pada rasio *methanol* tertentu: peningkatan *methanol* hingga 10% masih memberikan efek positif, tetapi di atas konsentrasi tersebut kestabilan pembakaran mulai terganggu. Sedangkan pada RPM tinggi (5500), WMI secara konsisten menurunkan emisi. Emisi CO standar 1,08% menurun menjadi 0,46% (X2a), 0,56% (X2b), dan 0,81% (X2c). HC juga berkurang dari 265 ppm (standar) menjadi 179 ppm (X2a), 225 ppm (X2b), dan 241,67 ppm (X2c). Hasil ini menegaskan bahwa pada beban tinggi, WMI efektif meningkatkan kualitas pembakaran karena efek pendinginan dan angka oktan *methanol* bekerja secara sinergis dengan temperatur ruang bakar yang tinggi, menghasilkan pembakaran lebih sempurna.

Secara teoritis, tren ini sejalan dengan prinsip kerja WMI. Pendinginan muatan (*charge cooling*) yang dihasilkan oleh kandungan air meningkatkan densitas udara masuk, sehingga *volumetric efficiency* membaik. Sementara itu, *methanol* dengan angka oktan tinggi dan kandungan oksigen internal membantu memperlancar proses oksidasi bahan bakar, yang berdampak pada penurunan kadar CO dan HC. Namun, hasil juga menunjukkan adanya *trade-off*: rasio campuran yang terlalu tinggi *methanol* tidak selalu memberikan hasil optimal pada seluruh rentang RPM, khususnya pada putaran rendah dan menengah di mana kestabilan nyala api lebih sensitif terhadap kondisi campuran.

Dengan demikian, hasil penelitian ini memberikan kontribusi penting bahwa penerapan WMI dapat dioptimalkan berdasarkan kondisi operasional mesin. Campuran 85% : 15% (X2c) paling efektif menurunkan konsumsi bahan bakar, terutama pada RPM tinggi, sedangkan campuran 95% : 5% (X2a) paling efektif menekan emisi CO dan HC pada putaran rendah. Hal ini menegaskan bahwa strategi penerapan WMI pada sepeda motor injeksi sebaiknya disesuaikan dengan kebutuhan: apakah fokus pada penghematan konsumsi bahan bakar atau pada reduksi emisi polutan.

Implikasi praktis dari temuan ini adalah bahwa teknologi WMI berpotensi mendukung program efisiensi energi sekaligus menurunkan dampak lingkungan kendaraan bermotor di perkotaan dan hal ini sejalan dengan penelitian terdahulu [15][16]. Secara teoritis, penelitian ini memperkaya pemahaman bahwa rasio optimum *water-methanol* bersifat dinamis tergantung pada beban mesin dan putaran operasional. Oleh karena itu, pengembangan sistem kontrol elektronik adaptif yang mampu menyesuaikan rasio injeksi secara *real time* berdasarkan sensor beban dan RPM akan sangat relevan untuk implementasi nyata di masa depan.

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa penerapan *water-methanol injection* (WMI) pada sepeda motor Honda Beat FI 2019 berpengaruh signifikan terhadap efisiensi konsumsi bahan bakar dan penurunan emisi gas buang. Dari aspek konsumsi bahan bakar, seluruh variasi campuran WMI memberikan peningkatan efisiensi dibandingkan kondisi standar, dengan variasi X2c (85% : 15%) sebagai yang paling optimal, menghasilkan penghematan hingga 13,04% pada 1500 RPM dan tetap konsisten lebih hemat pada 3500 dan 5500 RPM. Dari aspek emisi, WMI terbukti menekan kadar CO dan HC secara signifikan, terutama pada variasi X2a (95%:5%) yang menurunkan emisi CO hingga 63,16% dan HC hingga 32,45%. Temuan ini menegaskan bahwa keberhasilan penerapan WMI sangat dipengaruhi oleh rasio campuran

yang digunakan: X2c lebih sesuai untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar, sedangkan X2a lebih efektif dalam mengurangi emisi. Dengan demikian, WMI berpotensi menjadi teknologi ramah lingkungan yang dapat diterapkan pada kendaraan roda dua untuk mendukung penghematan energi sekaligus mengurangi dampak pencemaran udara.

### Saran

Penelitian lanjutan disarankan untuk mengkaji penerapan *water-methanol injection* dengan sistem kontrol otomatis berbasis sensor yang mampu menyesuaikan rasio campuran secara dinamis sesuai kondisi beban dan putaran mesin. Selain itu, aspek durabilitas mesin, efek jangka panjang terhadap komponen, serta keamanan penggunaan *methanol* dalam penyimpanan dan distribusi perlu diteliti lebih mendalam. Uji coba pada berbagai tipe sepeda motor dan kondisi jalan nyata juga penting dilakukan agar hasil penelitian lebih aplikatif dan representatif. Dengan pengembangan yang tepat, teknologi WMI berpotensi menjadi solusi alternatif dalam mendukung efisiensi energi dan pengurangan emisi pada kendaraan roda dua yang mendominasi transportasi di Indonesia.

### DAFTAR RUJUKAN

- [1] D. Sumarto, "Performance Optimization of the General Criminal Investigation Unit to Overcome Motorcycle Theft in Order to Uphold Fair Law Enforcement in Polresta Surakarta," *Tanggung Kosala*, vol. 12, no. 2, 2023.
- [2] A. Halimatussadiyah, A. A. Siregar, F. R. Moeis, and R. F. Maulia, "Penilaian Program Peremajaan Kelapa Sawit Untuk Mendukung Kebijakan Green Fuel," 2020.
- [3] A. Martin and J. O'Malley, "Kompatibilitas Campuran Bahan Bakar Metanol Pada Kendaraan dan Mesin Berbahan Bakar Bensin di Indonesia," 2021.
- [4] M. A. D. Anugerah, M. Harly, and M. Ihwanudin, "Pengaruh Penggunaan Saturated *Water Injection* terhadap Intake Air Temperature dan Emisi Gas Buang Sepeda Motor Honda Vario Injeksi 125cc," *Jurnal Teknik Otomotif Kajian Keilmuan dan Pengajaran*, vol. 6, no. 1, pp. 35–42, 2022.
- [5] W. Purwanto and M. Y. Setiawan, "Optimasi Cairan *Water Injection* dalam Menurunkan Emisi Gas Buang Sepeda Motor dengan Metode Taguchi," *JTPVI: Jurnal Teknologi dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, vol. 2, no. 1, pp. 101–108, 2024.
- [6] Y. Pramudito *et al.*, "Kinerja Mesin Spark Ignition (SI) Berbahan Bakar Campuran Bensin-Metanol (M-20) Dan Bensin-Etanol (E-20) Pada Variasi Nilai Oktan," *LEMBARAN PUBLIKASI MINYAK DAN GAS BUMI (LPMGB)*, vol. 56, no. 2, pp. 89–98, 2022.
- [7] D. H. T. Prasetyo, A. Muhammad, M. A. Baihaqi, H. Abdillah, and L. K. Supraptiningsih, "Pengaruh nilai ron pada bahan bakar jenis bensin terhadap emisi gas buang," *CERMIN: Jurnal Penelitian*, vol. 6, no. 2, pp. 561–571, 2022.
- [8] Y. A. Winoko and Z. Firmansyah, "Variasi Campuran Nilai Oktan Bahan Bakar dan Putaran Mesin Bensin terhadap Emisi Gas Buang," 2021, *TRANSMISI*.
- [9] S. Arifan Ma'ruf, M. Milana, M. Martias, and N. Hidayat, "Optimasi Hasil Uji Emisi Gas Buang Sepeda Motor dengan Penambahan Carbon Cleaner," *JTPVI: Jurnal Teknologi dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, vol. 1, no. 2, pp. 159–170, Feb. 2023, doi: 10.24036/jtpvi.v1i2.26.
- [10] H. W. Sudarwanto, I. W. Utami, R. Asmoro, and A. A. Wulandari, "Bahaya emisi gas buang kendaraan berbahan bakar bensin dan menumbuhkan lingkungan hijau di perkotaan," in *Prosiding Seminar Nasional Hukum, Bisnis, Sains dan Teknologi*, 2020, p. 101.
- [11] D. Hermansyah, A. Afdal, Z. Zulkarnain, and R. D. Koto, "Study on the Impact of CDI Limiter and CDI Unlimiter Usage on Motorcycle Fuel Consumption and Exhaust Gas Emissions,"

- MOTIVECTION: Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering*, vol. 6, no. 1, pp. 73–84, 2024.
- [12] G. Setyono, D. Khusna, N. Kholili, N. A. Diantoro, and F. D. Saputra, “Pengaruh Aditif Metanol-Butanol-Etanol (MBE) Terhadap Suplai Bahan Bakar Spark Ignition-Engine Yang Ramah Lingkungan Serta Mengoptimalkan Performansi,” in *Prosiding Seminar Nasional Unimus*, 2024.
- [13] S. Setiawan and L. Marlinda, “Perbandingan Efisiensi Bahan Bakar Pada Kendaraan Low MPV Dengan Metode Copras,” *Infotek: Jurnal Informatika dan Teknologi*, vol. 7, no. 2, pp. 421–431, 2024.
- [14] M. Rifal, “Pengaruh Campuran Bahan Bakar Ethanol Bensin terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Emisi Gas Buang pada Kendaraan Bermotor 125 CC Sistem Injeksi,” *Gorontalo Journal of Infrastructure and Science Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 50–57, 2022.
- [15] D. Antoni, M. B. R. Wijaya, and A. Septiyanto, “Pengaruh Variasi Larutan *Water Injection* Pada *Intake manifold* Terhadap Performa Dan Emisi Gas Buang Sepeda Motor,” *Saintekno: Jurnal Sains Dan Teknologi*, vol. 15, no. 2, pp. 137–146, 2017.
- [16] D. Damayanti *et al.*, “Analisis Efisiensi Performa Pembakaran Internal pada Kerja Mesin Empat Langkah Terhadap Penambahan Zat Aditif Metanol,” *Jurnal Integrasi Proses*, vol. 13, no. 1, pp. 59–66, 2024.