



Pengujian Emisi CO dan HC pada Honda BeAT Injeksi Menggunakan Campuran Pertamina-Bioetanol Limbah Kulit Pisang dan Singkong

CO and HC Emission Testing of a Fuel-Injected Honda BeAT Using Pertamina Blended with Banana Peel and Cassava Waste Bioethanol

Welman Saputra^{1*}, Wawan Purwanto¹, M. Yasep Setiawan¹, Ichsan Nasution¹

Abstrak

Penelitian ini bertujuan membandingkan emisi gas buang Honda BeAT injeksi menggunakan Pertamina murni dan campuran Pertamina-bioetanol dari limbah kulit pisang serta limbah singkong. Metode yang digunakan adalah eksperimen kuantitatif deskriptif pada kondisi tanpa beban setelah mesin mencapai suhu kerja. Variasi bahan bakar meliputi E0, E5 pisang, E10 pisang, E5 singkong, dan E10 singkong. Pengujian dilakukan pada 1500, 3000, 4500, 6000, dan 7500 rpm dengan lima pengulangan. Parameter CO, CO₂, O₂, HC, lambda, dan AFR diukur menggunakan gas analyzer. Data dianalisis melalui rata-rata dan persentase perubahan terhadap E0. Hasil menunjukkan seluruh campuran bioetanol menurunkan rata-rata CO dan HC dibandingkan E0. E10 pisang menjadi variasi paling menonjol secara deskriptif, dengan CO 0,410% dan HC 98,67 ppm, atau turun 40,92% dan 48,01%. Temuan ini mengindikasikan potensi awal bioetanol limbah kulit pisang sebagai campuran Pertamina untuk menurunkan CO dan HC pada rentang rpm yang diuji.

Kata Kunci

bioetanol; limbah kulit pisang; limbah singkong; Pertamina; emisi CO dan HC

Abstract

This study compared exhaust emissions of a fuel-injected Honda BeAT operated with pure Pertamina and Pertamina blended with banana-peel and cassava-waste bioethanol. A descriptive quantitative experimental method was applied under no-load conditions after the engine reached operating temperature. Five fuel variations were tested: E0, E5 banana, E10 banana, E5 cassava, and E10 cassava. Tests were conducted at 1500, 3000, 4500, 6000, and 7500 rpm with five replications. CO, CO₂, O₂, HC, lambda, and AFR were measured using a gas analyzer. Data were analyzed using mean values and percentage changes relative to E0. All bioethanol blends reduced average CO and HC compared with E0. E10 banana was the most prominent variation descriptively, with CO of 0.410% and HC of 98.67 ppm, corresponding to reductions of 40.92% and 48.01%. These findings indicate the preliminary potential of banana-peel bioethanol as a Pertamina blend to reduce CO and HC.

Keywords

bioethanol; banana peel waste; cassava waste; Pertamina; CO and HC emissions

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

* saputrawelman0@gmail.com

Dikirimkan: 05 Juli 2026. Diterima: 13 Juli 2026. Diterbitkan: 21 Juli 2026.

PENDAHULUAN

Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor, khususnya sepeda motor, meningkatkan perhatian terhadap emisi gas buang dari sektor transportasi jalan. Data statistik kendaraan bermotor menunjukkan bahwa sepeda motor merupakan salah satu jenis kendaraan yang

dominan digunakan di Indonesia [1]. Pada kendaraan berbahan bakar bensin, karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) menjadi parameter penting karena keduanya berkaitan dengan pembakaran tidak sempurna, komposisi campuran udara-bahan bakar, serta kondisi operasi mesin. Dalam penelitian ini, CO₂ tetap diukur, tetapi posisinya digunakan sebagai indikator pendukung proses oksidasi karbon dalam pembakaran, bukan sebagai dasar untuk menyimpulkan penurunan emisi gas rumah kaca secara menyeluruh.

Emisi gas buang kendaraan bermotor juga berkaitan dengan isu kesehatan masyarakat dan pengendalian kualitas udara. World Health Organization menyatakan bahwa polusi udara ambien berhubungan dengan risiko gangguan pernapasan dan kardiovaskular [2]. Di Indonesia, pengendalian emisi kendaraan bermotor telah diatur melalui ketentuan baku mutu emisi untuk kendaraan yang beroperasi di jalan [3]. Oleh karena itu, kajian mengenai bahan bakar alternatif pada sepeda motor injeksi perlu diarahkan pada parameter yang benar-benar diukur, yaitu CO, HC, CO₂, O₂, *air-fuel ratio* (AFR), dan lambda, sehingga argumentasi penelitian tetap konsisten dengan data yang tersedia.

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk memperbaiki karakteristik pembakaran bensin adalah penggunaan bahan bakar beroksigen, seperti etanol atau bioetanol. Bioetanol memiliki kandungan oksigen dalam struktur molekulnya dan angka oktan yang relatif tinggi, sehingga dapat membantu proses oksidasi bahan bakar di ruang bakar. Namun demikian, bioetanol juga memiliki nilai kalor yang lebih rendah daripada bensin dan dapat membawa kadar air apabila proses produksi, pemurnian, atau penyimpanannya tidak dikendalikan dengan baik. Dengan demikian, respons emisi terhadap campuran bioetanol tidak selalu linier karena dipengaruhi oleh kadar etanol, kualitas bioetanol, komposisi campuran, AFR, lambda, dan kondisi operasi mesin [4]–[7].

Limbah kulit pisang dan limbah singkong dipilih karena keduanya merupakan biomassa lokal yang masih mengandung komponen organik yang dapat dikonversi menjadi gula fermentabel. Limbah kulit pisang dapat diproses melalui pretreatment, hidrolisis, dan fermentasi untuk menghasilkan bioetanol [8]. Sementara itu, limbah singkong juga berpotensi sebagai bahan baku bioetanol karena masih mengandung pati atau karbohidrat yang dapat dihidrolisis dan difermentasi [9]. Secara umum, produksi bioetanol dari biomassa dipengaruhi oleh jenis bahan baku, perlakuan awal, proses hidrolisis, mikroorganisme, waktu fermentasi, serta kondisi pemurnian [10], [11]. Oleh karena itu, pemanfaatan kedua jenis limbah tersebut tidak hanya berkaitan dengan bahan bakar alternatif, tetapi juga dengan upaya peningkatan nilai guna limbah organik.

Dalam konteks bahan bakar dasar, Pertamax merupakan bahan bakar bensin dengan Research Octane Number (RON) 92 [12]. Angka oktan yang lebih tinggi berkaitan dengan kemampuan bahan bakar menahan gejala knocking pada mesin spark ignition. Akan tetapi, kualitas pembakaran tidak hanya ditentukan oleh angka oktan, tetapi juga oleh rasio udara-bahan bakar, suhu kerja mesin, sistem injeksi, kondisi busi dan filter udara, serta karakteristik bahan bakar campuran. Ketika Pertamax dicampur dengan bioetanol, sifat bahan bakar dapat berubah karena etanol membawa oksigen dalam molekulnya, memiliki angka oktan tinggi, tetapi memiliki nilai kalor lebih rendah daripada bensin. Oleh sebab itu, interpretasi hasil perlu memperhatikan bahwa penurunan CO dan HC tidak selalu berarti seluruh parameter emisi ikut menurun.

Penelitian terdahulu mengenai campuran etanol-bensin pada mesin spark ignition dan sepeda motor menunjukkan bahwa penambahan etanol pada kadar tertentu dapat menurunkan CO dan HC, meskipun responsnya dipengaruhi oleh kadar etanol, putaran mesin, beban, kualitas bahan bakar, dan sistem bahan bakar [4]–[7]. Pasaribu dkk. [13] juga melaporkan bahwa bioetanol dari limbah kulit pisang sebagai campuran bahan bakar sepeda motor dapat menurunkan emisi CO dan HC. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada satu sumber bioetanol atau hanya membahas campuran etanol-bensin secara umum.

Kajian yang secara khusus membandingkan bioetanol dari limbah kulit pisang dan limbah singkong sebagai campuran Pertamina pada sepeda motor injeksi dengan pembacaan CO, HC, CO₂, O₂, AFR, dan lambda secara bersamaan masih terbatas.

Berdasarkan celah tersebut, penelitian ini bertujuan membandingkan karakteristik emisi gas buang motor Honda BeAT injeksi menggunakan Pertamina murni dan campuran Pertamina dengan bioetanol dari limbah kulit pisang serta limbah singkong pada variasi E5 dan E10. Kontribusi penelitian ini terletak pada penyajian data komparatif mengenai dua sumber bioetanol limbah organik lokal sebagai campuran Pertamina, dengan CO dan HC sebagai parameter utama serta CO₂, O₂, AFR, dan lambda sebagai indikator pendukung kondisi pembakaran. Dengan pembatasan tersebut, hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran awal mengenai potensi bioetanol limbah kulit pisang dan limbah singkong dalam menurunkan emisi pembakaran tidak sempurna pada sepeda motor injeksi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif dengan desain komparatif deskriptif. Perlakuan diberikan melalui variasi bahan bakar, kemudian emisi gas buang dibandingkan antarperlakuan dan terhadap Pertamina murni sebagai kontrol. Pendekatan eksperimen pada pengujian emisi sepeda motor injeksi relevan digunakan karena memungkinkan perubahan parameter emisi diamati berdasarkan variasi perlakuan bahan bakar atau kondisi operasi mesin [14]. Karena data yang tersedia dianalisis secara deskriptif, istilah pengaruh dalam artikel ini dimaknai sebagai kecenderungan perubahan emisi berdasarkan nilai rata-rata, bukan sebagai perbedaan yang telah dibuktikan melalui statistik inferensial.

Objek penelitian adalah satu unit sepeda motor Honda BeAT FI tahun 2014 tipe K25A. Objek ini digunakan sebagai media pengujian untuk membandingkan emisi gas buang pada bahan bakar kontrol dan campuran Pertamina-bioetanol. Spesifikasi teknis kendaraan yang digunakan dalam penelitian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Honda BeAT FI K25A

Komponen	Spesifikasi
Jenis kendaraan	Sepeda motor skuter matik
Merek/tipe	Honda BeAT FI
Kode model	K25A
Tahun produksi	2012–2014
Tipe mesin	4 langkah, OHC, satu silinder, pendingin kipas
Sistem bahan bakar	Injeksi PGM-FI
Kapasitas mesin	108 cc
Diameter × langkah	50 × 55 mm
Rasio kompresi	9,2 : 1
Daya maksimum	6,27 kW atau 8,52 PS pada 8.000 rpm
Torsi maksimum	8,68 N·m atau 0,89 kgf·m pada 6.500 rpm
Transmisi	Otomatis, V-Matic
Kopling	Otomatis, sentrifugal, tipe kering
Starter	Pedal dan elektrik
Kapasitas tangki bahan bakar	3,7 liter
Kapasitas oli mesin	0,8 liter pada pergantian periodik

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah Gas *Analyzer* Heshbon HG-520. Alat ini digunakan untuk mengukur kadar karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), karbon dioksida (CO₂), dan oksigen (O₂), serta menampilkan nilai lambda dan *air-fuel ratio* (AFR). Parameter CO, HC, CO₂, O₂, lambda, dan AFR dibaca secara terpadu karena perubahan AFR dan putaran mesin dapat berkaitan dengan nilai emisi gas buang sepeda motor [15]. Spesifikasi alat uji emisi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Gas Analyzer Heshbon HG-520

Komponen	Spesifikasi
Nama alat	Exhaust Gas <i>Analyzer</i>
Merek	Heshbon
Model	HG-520
Jenis alat	4-Gas <i>Analyzer</i>
Fungsi utama	Mengukur emisi gas buang kendaraan bermotor
Parameter terukur	CO, HC, CO ₂ , O ₂
Parameter terhitung	Lambda dan AFR
Metode pengukuran	NDIR dan sensor elektronik
Rentang ukur CO	0–9,99%
Resolusi CO	0,01%
Rentang ukur HC	0–9999 ppm
Resolusi HC	1 ppm
Rentang ukur CO ₂	0–20,0%
Resolusi CO ₂	0,01%
Rentang ukur O ₂	0–25,00%
Resolusi O ₂	0,01%
Rentang lambda	0–2,000
Resolusi lambda	0,01
Rentang AFR	0–99,0
Resolusi AFR	0,1
Waktu respons	±10 detik
Waktu pemanasan	±3–8 menit
Suhu lingkungan kerja	0–40 °C
Catu daya	110/220/240 VAC, 50/60 Hz
Dimensi alat	285 × 410 × 155 mm
Berat alat	±10 kg
Fitur pendukung	<i>Microprocessor control, automatic zero and span adjustment, automatic calibration, digital display, LED indicator, flow absence detector, dan serial PC interface</i>

Pembacaan putaran mesin dikontrol menggunakan *diagnostic tool* atau tachometer agar titik rpm sesuai dengan rancangan pengujian. Peralatan pendukung yang digunakan meliputi gelas ukur, selang dan botol bahan bakar uji, wadah penyimpanan bahan bakar, serta alat pembersih saluran bahan bakar.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Pertamina sebagai bahan bakar kontrol, bioetanol dari limbah kulit pisang, dan bioetanol dari limbah singkong. Komposisi campuran dibuat berdasarkan persentase volume (% v/v). Kode E5 menunjukkan campuran 95% Pertamina dan 5% bioetanol, sedangkan kode E10 menunjukkan campuran 90% Pertamina dan

10% bioetanol. Setiap sampel bahan bakar dibuat sebanyak 500 mL, dihomogenkan selama 2 menit, dan disimpan dalam wadah tertutup untuk mencegah penguapan serta kontaminasi.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi bahan bakar, yaitu E0, E5 pisang, E10 pisang, E5 singkong, dan E10 singkong. Variabel terikat adalah emisi gas buang yang meliputi CO, CO₂, O₂, HC, lambda, dan AFR. Variabel kontrol meliputi jenis motor, kondisi mesin, jenis bahan bakar dasar, volume bahan bakar, suhu kerja mesin, putaran mesin, kondisi lingkungan, posisi throttle, alat uji, dan prosedur pengujian. Pengendalian dilakukan dengan menggunakan satu unit kendaraan yang sama, memanaskan mesin sebelum pengujian, menjaga titik rpm sesuai rancangan, memberi jeda antarperlakuan, serta membersihkan atau mengosongkan saluran bahan bakar sebelum mengganti jenis bahan bakar. Variasi perlakuan bahan bakar disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Variasi perlakuan bahan bakar

Kelompok	Kode	Komposisi Bahan Bakar
Kontrol	E0	Pertamax 100%
Eksperimen 1	E5 Pisang	Pertamax 95% + bioetanol pisang 5%
Eksperimen 2	E10 Pisang	Pertamax 90% + bioetanol pisang 10%
Eksperimen 3	E5 Singkong	Pertamax 95% + bioetanol singkong 5%
Eksperimen 4	E10 Singkong	Pertamax 90% + bioetanol singkong 10%

Pengujian dilakukan pada putaran mesin 1500, 3000, 4500, 6000, dan 7500 rpm. Titik 1500 rpm mewakili putaran rendah atau kondisi mendekati idle, sedangkan 3000 sampai 7500 rpm digunakan untuk melihat kecenderungan emisi pada putaran menengah hingga tinggi. Pengujian dilakukan pada kondisi tanpa beban. Setiap titik rpm distabilkan selama 5 menit sebelum pembacaan gas *analyzer* dicatat. Setiap perlakuan diuji sebanyak lima kali. Untuk mengurangi pengaruh residu bahan bakar sebelumnya, pergantian bahan bakar dilakukan dengan memberi jeda antarperlakuan serta membersihkan atau mengosongkan saluran bahan bakar sebelum pengujian berikutnya.

Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh merupakan data primer hasil pengukuran langsung menggunakan gas *analyzer*. Data disajikan dalam bentuk tabel dan grafik berdasarkan jenis bahan bakar, putaran mesin, dan parameter emisi gas buang. Analisis dilakukan secara deskriptif kuantitatif dengan menghitung nilai rata-rata dan persentase penurunan CO serta HC dibandingkan bahan bakar kontrol. Persentase penurunan tidak digunakan untuk menyimpulkan parameter CO₂, O₂, lambda, dan AFR karena parameter tersebut tidak selalu diharapkan menurun, melainkan digunakan sebagai indikator kondisi pembakaran.

Nilai rata-rata dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$M = \frac{\sum X}{n} \quad (1)$$

dimana M adalah nilai rata-rata hasil pengujian, $\sum X$ adalah jumlah seluruh nilai pengukuran pada parameter tertentu, dan n adalah jumlah pengulangan pengujian.

Persentase penurunan CO atau HC terhadap Pertamax murni dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$P = \frac{E_0 - E_x}{E_0} \times 100\% \quad (2)$$

dimana P adalah persentase penurunan CO atau HC, E_0 adalah nilai rata-rata emisi pada Pertamax 100%, dan E_x adalah nilai rata-rata emisi pada bahan bakar campuran bioetanol. Nilai

positif menunjukkan penurunan dibandingkan E_0 , sedangkan nilai negatif menunjukkan peningkatan. Karena data yang dianalisis berupa nilai rata-rata deskriptif, penelitian ini tidak menggunakan uji statistik inferensial. Simpangan baku dan uji beda direkomendasikan pada penelitian lanjutan dengan data ulangan mentah yang terdokumentasi lengkap.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil penelitian meliputi parameter karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), karbon dioksida (CO₂), oksigen (O₂), lambda, dan *air-fuel ratio* (AFR) pada lima variasi bahan bakar. Variasi bahan bakar yang diuji terdiri atas Pertamina murni sebagai kontrol (E0), E5 pisang, E10 pisang, E5 singkong, dan E10 singkong. Pengujian dilakukan pada putaran mesin 1500, 3000, 4500, 6000, dan 7500 rpm. Data pada Tabel 4 merupakan nilai rata-rata berdasarkan lima kali pengujian pada setiap titik rpm.

Tabel 4. Hasil pengujian emisi gas buang berdasarkan variasi bahan bakar dan putaran mesin

Bahan bakar	RPM	CO (%)	HC (ppm)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	Lambda (λ)	AFR
E0	1500	1,49	420	12,90	13,03	1,55	22,67
E0	3000	0,76	177	13,60	13,60	1,64	24,03
E0	4500	0,67	177	13,50	15,17	1,70	24,90
E0	6000	0,37	134	14,00	12,76	1,59	23,30
E0	7500	0,18	41	14,70	12,94	1,59	23,33
E5 Pisang	1500	1,09	438,33	13,07	13,38	1,58	23,23
E5 Pisang	3000	0,72	172,33	13,87	15,37	1,69	24,73
E5 Pisang	4500	0,53	97	14,47	13,05	1,57	23,07
E5 Pisang	6000	0,27	82,67	14,13	12,19	1,57	23,03
E5 Pisang	7500	0,16	52,33	12,60	13,78	1,73	15,67
E10 Pisang	1500	1,05	190,67	10,63	10,92	1,58	23,23
E10 Pisang	3000	0,41	131,33	12,00	7,67	1,40	20,53
E10 Pisang	4500	0,30	82	13,70	8,34	1,39	20,40
E10 Pisang	6000	0,17	62,67	14,50	8,24	1,38	20,30
E10 Pisang	7500	0,12	26,67	14,73	8,43	1,38	20,20
E5 Singkong	1500	0,92	354	14,00	15,73	1,67	24,57
E5 Singkong	3000	0,72	141	14,37	12,15	1,52	22,37
E5 Singkong	4500	0,47	82	14,50	9,50	1,40	20,53
E5 Singkong	6000	0,21	46	15,27	12,23	1,53	22,47
E5 Singkong	7500	0,11	36	13,48	10,51	1,47	21,53
E10 Singkong	1500	0,91	209,33	14,67	14,37	1,59	23,37
E10 Singkong	3000	0,76	125,33	13,97	13,28	1,59	23,30
E10 Singkong	4500	0,56	99,33	14,27	12,18	1,54	22,57
E10 Singkong	6000	0,28	61,67	14,90	12,38	1,55	22,67
E10 Singkong	7500	0,12	66,33	15,17	10,86	1,48	21,67

Berdasarkan Tabel 4, nilai CO pada seluruh variasi bahan bakar cenderung menurun seiring peningkatan putaran mesin. Pada bahan bakar kontrol E0, CO menurun dari 1,49% pada 1500 rpm menjadi 0,18% pada 7500 rpm. Pola penurunan serupa juga terlihat pada E5 pisang, E10 pisang, E5 singkong, dan E10 singkong. Nilai CO terendah pada titik 7500 rpm diperoleh

pada E5 singkong sebesar 0,11%, sedangkan E10 pisang dan E10 singkong masing-masing menunjukkan nilai CO sebesar 0,12%.

Nilai HC juga menunjukkan kecenderungan menurun pada sebagian besar variasi bahan bakar ketika putaran mesin meningkat. Pada E0, HC menurun dari 420 ppm pada 1500 rpm menjadi 41 ppm pada 7500 rpm. Pada E10 pisang, HC menurun dari 190,67 ppm menjadi 26,67 ppm. Pada E5 singkong, HC menurun dari 354 ppm menjadi 36 ppm. Sementara itu, pada E10 singkong, HC menurun dari 209,33 ppm pada 1500 rpm menjadi 61,67 ppm pada 6000 rpm, tetapi meningkat kembali menjadi 66,33 ppm pada 7500 rpm. Pola ini menunjukkan bahwa perubahan HC tidak selalu sepenuhnya linier pada semua variasi bahan bakar.

Parameter pendukung juga menunjukkan variasi pada setiap perlakuan. Nilai CO₂ pada beberapa perlakuan cenderung meningkat pada putaran mesin yang lebih tinggi, meskipun pola tersebut tidak sama pada seluruh variasi bahan bakar. Nilai O₂, lambda, dan AFR juga berubah mengikuti variasi bahan bakar dan putaran mesin, sehingga parameter tersebut digunakan sebagai informasi pendukung untuk membaca kondisi pembakaran, bukan sebagai dasar utama penentuan penurunan emisi.

Untuk memperjelas perbandingan antarbahan bakar, nilai rata-rata CO dan HC serta persentase penurunannya terhadap Pertamina murni disajikan pada [Tabel 5](#).

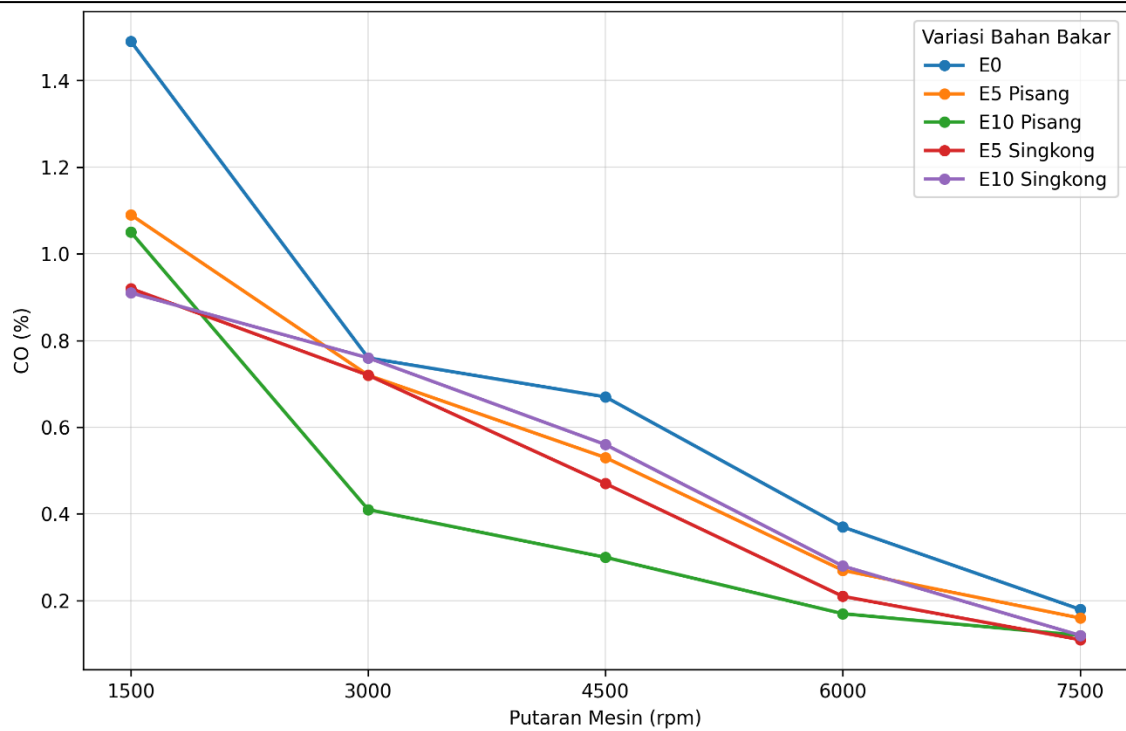
Tabel 5. Rata-rata CO dan HC serta persentase penurunan dibandingkan Pertamina murni

Kode	Rata-rata CO (%)	Penurunan CO (%)	Rata-rata HC (ppm)	Penurunan HC (%)
E0	0,694	-	189,80	-
E5 Pisang	0,554	20,17%	168,53	11,21%
E10 Pisang	0,410	40,92%	98,67	48,01%
E5 Singkong	0,486	29,97%	131,80	30,56%
E10 Singkong	0,526	24,21%	112,40	40,78%

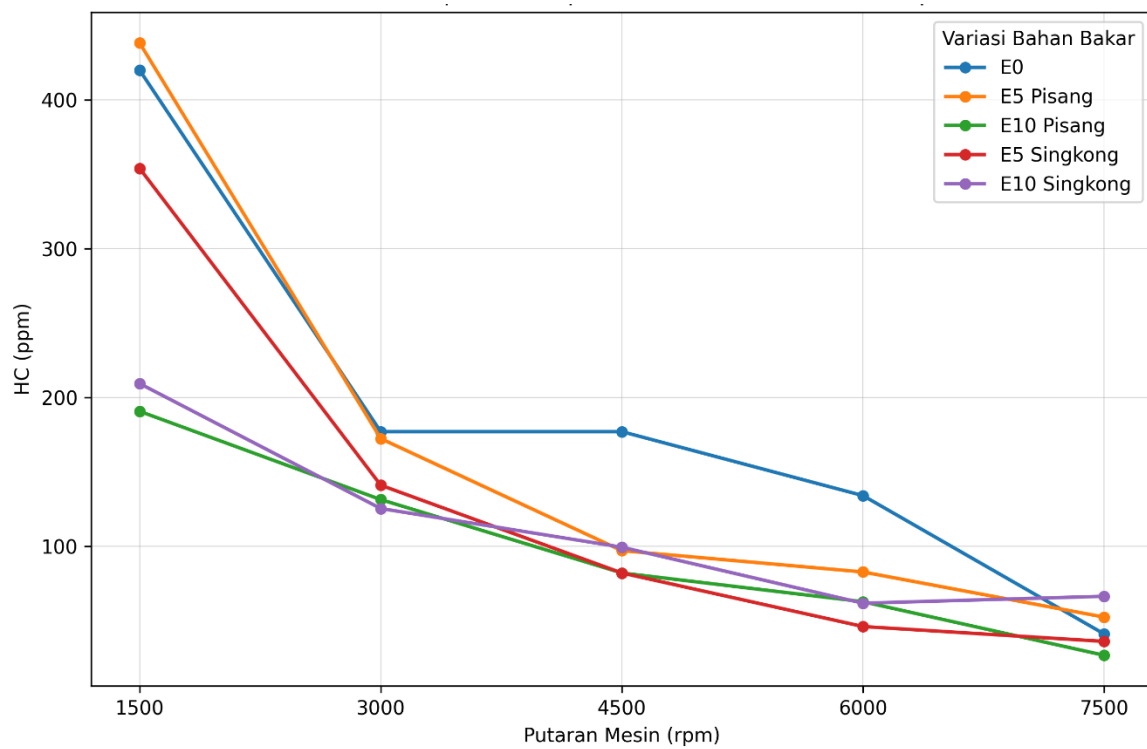
Keterangan: Nilai persentase dihitung terhadap Pertamina murni (E0). Tabel ini digunakan sebagai ringkasan komparatif deskriptif karena simpangan baku dan uji beda statistik belum disajikan dari data ulangan mentah.

Berdasarkan [Tabel 5](#), seluruh campuran bioetanol menghasilkan rata-rata CO dan HC yang lebih rendah dibandingkan E0. Rata-rata CO pada E0 adalah 0,694%, sedangkan rata-rata CO pada campuran bioetanol berada pada rentang 0,410–0,554%. Rata-rata HC pada E0 adalah 189,80 ppm, sedangkan rata-rata HC pada campuran bioetanol berada pada rentang 98,67–168,53 ppm. Penurunan rata-rata CO terbesar diperoleh pada E10 pisang, yaitu 40,92% dibandingkan E0. Perlakuan E5 singkong menunjukkan penurunan CO sebesar 29,97%, diikuti E10 singkong sebesar 24,21% dan E5 pisang sebesar 20,17%. Pada parameter HC, penurunan terbesar juga diperoleh pada E10 pisang, yaitu 48,01%. Perlakuan E10 singkong menunjukkan penurunan HC sebesar 40,78%, diikuti E5 singkong sebesar 30,56% dan E5 pisang sebesar 11,21%.

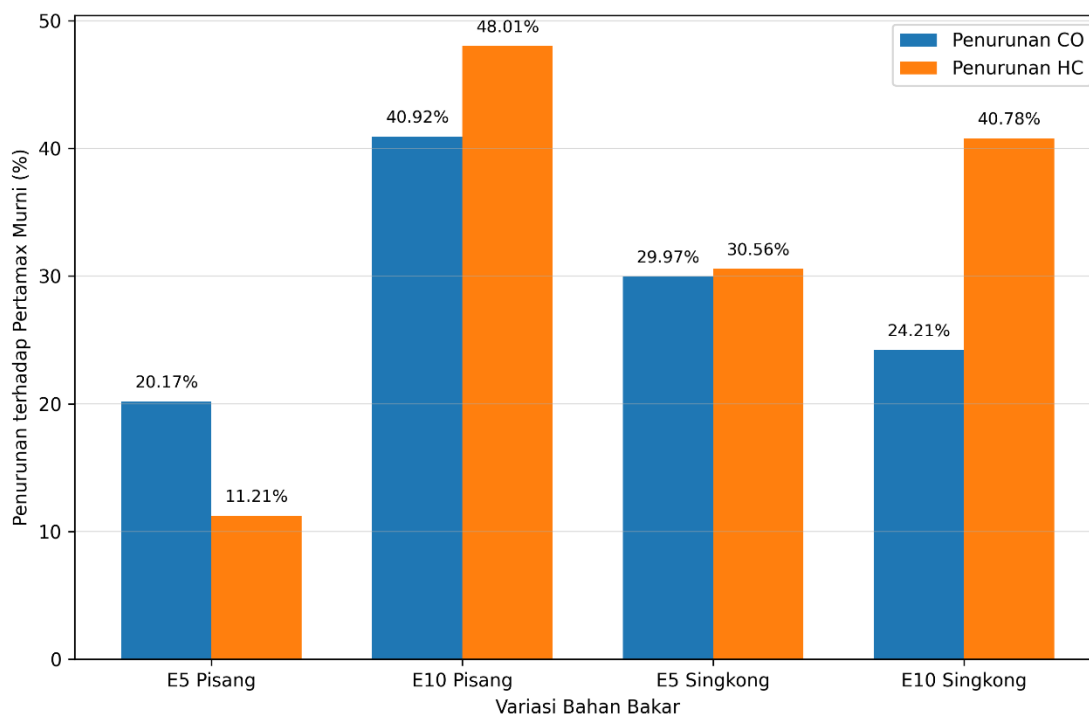
Selain disajikan dalam bentuk tabel, kecenderungan perubahan CO dan HC serta persentase penurunan rata-ratanya divisualisasikan melalui [Gambar 1](#) sampai [Gambar 3](#). Visualisasi ini digunakan untuk memperjelas pola perubahan parameter utama terhadap putaran mesin dan perbandingan penurunan emisi antarvariasi bahan bakar.



Gambar 1. Profil emisi CO pada setiap variasi bahan bakar terhadap putaran mesin



Gambar 2. Profil emisi HC pada setiap variasi bahan bakar terhadap putaran mesin



Gambar 3. Persentase penurunan rata-rata CO dan HC terhadap Pertamax murni

Gambar 1 memperlihatkan pola perubahan CO pada setiap variasi bahan bakar terhadap putaran mesin. Grafik tersebut menegaskan bahwa CO pada sebagian besar perlakuan cenderung lebih tinggi pada putaran rendah dan menurun pada putaran mesin yang lebih tinggi. **Gambar 2** memperlihatkan kecenderungan perubahan HC pada setiap variasi bahan bakar. Secara umum, HC juga menurun seiring peningkatan putaran mesin, meskipun terdapat fluktuasi pada E10 singkong di putaran 7500 rpm.

Gambar 3 memperjelas perbandingan persentase penurunan rata-rata CO dan HC terhadap E0. Berdasarkan grafik tersebut, E10 pisang menjadi variasi yang paling menonjol secara deskriptif karena menghasilkan penurunan CO dan HC terbesar dibandingkan variasi bahan bakar lainnya. Namun, pola penurunan emisi tidak sepenuhnya linier terhadap peningkatan kadar bioetanol pada semua jenis bahan bakar. Pada bioetanol singkong, misalnya, E5 singkong menghasilkan rata-rata CO lebih rendah daripada E10 singkong, sedangkan E10 singkong menghasilkan rata-rata HC lebih rendah daripada E5 singkong.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran Pertamax dengan bioetanol limbah kulit pisang dan limbah singkong menghasilkan penurunan rata-rata CO dan HC dibandingkan Pertamax murni. Perlakuan E10 pisang menjadi variasi paling menonjol secara deskriptif karena menghasilkan rata-rata CO dan HC terendah serta persentase penurunan CO dan HC terbesar. Meskipun demikian, variasi respons pada beberapa titik rpm menunjukkan bahwa perubahan emisi perlu dibaca sebagai kecenderungan deskriptif, bukan sebagai pola yang sepenuhnya seragam pada seluruh kondisi pengujian.

Pembahasan

Berdasarkan **Tabel 5**, seluruh campuran bioetanol menghasilkan rata-rata CO dan HC yang lebih rendah dibandingkan Pertamax murni. Rata-rata CO pada E0 sebesar 0,694%, sedangkan campuran bioetanol berada pada rentang 0,410–0,554%. Rata-rata HC pada E0 sebesar 189,80 ppm, sedangkan campuran bioetanol berada pada rentang 98,67–168,53 ppm. Pola pada **Gambar 1** dan **Gambar 2** juga menunjukkan bahwa CO dan HC pada sebagian besar perlakuan cenderung menurun ketika putaran mesin meningkat. Dengan demikian, hasil penelitian ini

mengindikasikan bahwa campuran Pertamax-bioetanol yang diuji dalam penelitian ini berkaitan dengan penurunan rata-rata CO dan HC pada kondisi pengujian yang digunakan.

Penurunan CO dan HC pada campuran bioetanol dapat dikaitkan dengan karakter bioetanol sebagai bahan bakar beroksigen. Kandungan oksigen dalam molekul etanol dapat membantu proses oksidasi karbon dan hidrokarbon yang belum terbakar sempurna, sehingga emisi CO dan HC cenderung lebih rendah pada kadar campuran tertentu. Temuan ini memperkuat hasil penelitian mengenai ethanol-gasoline blends pada mesin spark ignition dan sepeda motor yang menunjukkan bahwa penambahan etanol dapat menurunkan CO dan HC, tetapi responsnya tetap dipengaruhi oleh kadar etanol, putaran mesin, beban, kualitas bahan bakar, dan sistem bahan bakar [4]–[7], [16], [17]. Hasil ini juga memperluas temuan Pasaribu dkk. [13] yang menunjukkan bahwa bioetanol dari limbah kulit pisang sebagai campuran bahan bakar sepeda motor dapat menurunkan emisi gas buang. Selain itu, hasil ini masih relevan dengan studi lain yang membahas perubahan emisi gas buang pada sepeda motor akibat variasi bahan bakar atau penambahan bahan campuran, meskipun jenis bahan dan objek uji yang digunakan berbeda [14], [18], [19].

Peningkatan putaran mesin dari 1500 sampai 7500 rpm secara umum diikuti oleh penurunan CO dan HC. Pada putaran yang lebih tinggi, proses pencampuran udara-bahan bakar dan kondisi termal pembakaran dapat berubah sehingga pembacaan emisi juga mengalami perubahan. Namun, pola tersebut tidak selalu linier pada semua perlakuan. Sebagaimana terlihat pada Tabel 4, E5 pisang menghasilkan HC pada 1500 rpm yang lebih tinggi dibandingkan E0, sedangkan E10 singkong menunjukkan kenaikan HC dari 61,67 ppm pada 6000 rpm menjadi 66,33 ppm pada 7500 rpm. Fluktuasi ini menunjukkan bahwa perubahan emisi tidak hanya dipengaruhi oleh kadar bioetanol, tetapi juga dapat berkaitan dengan kestabilan campuran bahan bakar, kondisi pembakaran pada titik rpm tertentu, dan respons sistem injeksi terhadap karakter bahan bakar. Oleh karena itu, AFR, lambda, O₂, CO₂, CO, dan HC perlu dibaca secara terpadu agar kecenderungan pembakaran dapat dipahami secara lebih proporsional [14], [15].

Perlakuan E10 pisang menjadi variasi paling menonjol secara deskriptif karena menghasilkan rata-rata CO dan HC terendah, yaitu 0,410% dan 98,67 ppm. Selain itu, Gambar 3 menunjukkan bahwa E10 pisang menghasilkan persentase penurunan CO dan HC terbesar dibandingkan variasi bahan bakar lainnya, yaitu 40,92% dan 48,01%. Meskipun demikian, hasil ini belum dapat dikaitkan secara pasti dengan keunggulan bahan baku kulit pisang karena penelitian ini belum mengukur karakteristik bioetanol secara lengkap, seperti kadar etanol, kadar air, densitas, pH, nilai kalor, dan stabilitas campuran. Studi tentang produksi bioetanol dari limbah kulit pisang menunjukkan bahwa bahan ini berpotensi menghasilkan bioetanol melalui proses fermentasi [8], sedangkan kualitas akhir bioetanol secara umum dapat dipengaruhi oleh jenis bahan baku, pretreatment, hidrolisis, mikroorganisme, waktu fermentasi, dan proses pemurnian [10], [11]. Oleh sebab itu, perbedaan hasil antara bioetanol pisang dan singkong pada penelitian ini sebaiknya dipahami sebagai kecenderungan emisi berdasarkan pengujian yang dilakukan, bukan sebagai bukti langsung perbedaan kualitas bahan baku.

Pada bioetanol singkong, respons emisi juga menunjukkan pola yang tidak sepenuhnya linier. E5 singkong menghasilkan rata-rata CO sebesar 0,486%, lebih rendah daripada E10 singkong sebesar 0,526%. Sebaliknya, E10 singkong menghasilkan rata-rata HC sebesar 112,40 ppm, lebih rendah daripada E5 singkong sebesar 131,80 ppm. Pola ini menunjukkan bahwa peningkatan kadar bioetanol dari 5% menjadi 10% tidak selalu menghasilkan penurunan yang sama pada seluruh parameter emisi. Limbah singkong memang berpotensi sebagai bahan baku bioetanol karena masih mengandung pati atau karbohidrat yang dapat dihidrolisis dan difermentasi [9]. Namun, tanpa karakterisasi kualitas bioetanol yang lengkap, perbedaan

respons antara E5 dan E10 singkong belum dapat dijelaskan secara pasti sebagai akibat langsung dari bahan baku atau kadar campuran.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memberikan gambaran awal bahwa bioetanol dari limbah kulit pisang dan limbah singkong berpotensi sebagai campuran Pertamina untuk menurunkan rata-rata CO dan HC pada Honda BeAT injeksi dalam rentang putaran mesin yang diuji. Implikasi teknisnya adalah campuran bioetanol dapat dipertimbangkan sebagai dasar awal untuk pengujian bahan bakar campuran yang diarahkan pada penurunan komponen emisi yang berkaitan dengan pembakaran tidak sempurna. Implikasi akademiknya, penelitian ini menyediakan data komparatif yang relevan bagi kajian pendidikan vokasi otomotif, khususnya pada topik bahan bakar alternatif, pengujian emisi gas buang, dan pemanfaatan limbah organik sebagai sumber bioetanol. Namun, implikasi tersebut tetap perlu dibatasi karena penelitian ini belum mengevaluasi daya, torsi, konsumsi bahan bakar, temperatur mesin, durabilitas komponen, serta karakteristik bioetanol secara menyeluruh.

Selanjutnya, keterbatasan penelitian ini terletak pada belum tersedianya karakterisasi lengkap bioetanol, seperti kadar etanol, kadar air, densitas, pH, nilai kalor, dan stabilitas campuran. Penelitian ini juga belum menguji performa mesin, konsumsi bahan bakar, temperatur kerja, dan durabilitas komponen sistem bahan bakar. Selain itu, analisis masih bersifat deskriptif karena data ulangan mentah untuk menghitung simpangan baku dan uji statistik inferensial belum terdokumentasi lengkap. Oleh karena itu, hasil penelitian ditafsirkan sebagai indikasi awal penurunan CO dan HC pada kondisi uji yang digunakan, bukan sebagai klaim kelayakan bahan bakar untuk penggunaan luas.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa campuran Pertamina dengan bioetanol dari limbah kulit pisang dan limbah singkong menghasilkan kecenderungan penurunan rata-rata CO dan HC dibandingkan Pertamina murni pada Honda BeAT injeksi dalam rentang putaran mesin yang diuji. Perlakuan E10 pisang menjadi variasi paling menonjol secara deskriptif dengan rata-rata CO sebesar 0,410% dan HC sebesar 98,67 ppm, atau turun masing-masing 40,92% dan 48,01% dibandingkan E0. Pada bioetanol singkong, E5 singkong menghasilkan rata-rata CO lebih rendah daripada E10 singkong, sedangkan E10 singkong menghasilkan rata-rata HC lebih rendah daripada E5 singkong. Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan kadar bioetanol dari 5% menjadi 10% tidak selalu menghasilkan respons emisi yang linier pada semua parameter. Dengan demikian, campuran bioetanol dari limbah kulit pisang dan limbah singkong dapat dipandang sebagai alternatif awal untuk menurunkan CO dan HC, tetapi kesimpulan tersebut masih terbatas pada kondisi eksperimen yang digunakan.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melengkapi karakterisasi bioetanol, meliputi kadar etanol, kadar air, densitas, pH, nilai kalor, dan stabilitas campuran. Pengujian juga perlu diperluas pada aspek performa mesin, seperti daya, torsi, konsumsi bahan bakar, temperatur kerja, serta durabilitas komponen sistem bahan bakar. Selain itu, data ulangan mentah perlu terdokumentasi secara lengkap agar simpangan baku, interval kepercayaan, dan uji statistik dapat disajikan dengan lebih kuat. Pengujian pada beberapa unit sepeda motor dan kondisi beban yang lebih terkontrol, misalnya menggunakan chassis dynamometer, juga diperlukan agar hasil penelitian lebih replikatif dan dapat dibandingkan secara lebih baik dengan penelitian sejenis.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Badan Pusat Statistik, "Perkembangan jumlah kendaraan bermotor menurut jenis," Badan Pusat Statistik, 2025. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/NTcjMg%3D%3D/perkembangan-jumlah-kendaraan-bermotor-menurut-jenis.html>. [Diakses: 13 Juli, 2026].
- [2] World Health Organization, "Ambient (outdoor) air pollution," World Health Organization, Oct. 24, 2024. [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-%28outdoor%29-air-quality-and-health>. [Diakses: 13 Juli, 2026].
- [3] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2023 tentang Penerapan Baku Mutu Emisi Kendaraan Bermotor Kategori M, Kategori N, Kategori O, dan Kategori L. Jakarta, Indonesia: KLHK, 2023. [Online]. Available: <https://peraturan.bpk.go.id/Details/262504/permen-lhk-no-8-tahun-2023>. [Diakses: 13 Juli, 2026].
- [4] 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, Art. no. 116504, 2020, doi: 10.1016/j.fuel.2019.116504.
- [5] D. Y. Dhande, N. Sinaga, and K. B. Dahe, "Study on combustion, performance and exhaust emissions of bioethanol-gasoline blended spark ignition engine," *Heliyon*, vol. 7, no. 3, Art. no. e06380, 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e06380.
- [6] M. A. Costagliola, M. V. Prati, S. Florio, P. Scorletti, D. Terna, P. Iodice, D. Buono, and A. Senatore, "Performances and emissions of a 4-stroke motorcycle fuelled with ethanol/gasoline blends," *Fuel*, vol. 183, pp. 470–477, 2016, doi: 10.1016/j.fuel.2016.06.105.
- [7] B. Dogan, D. Erol, H. Yaman, and E. Kodanli, "The effect of ethanol-gasoline blends on performance and exhaust emissions of a spark ignition engine through exergy analysis," *Applied Thermal Engineering*, vol. 120, pp. 433–443, 2017, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.04.012.
- [8] L. M. Shitophyta, R. S. Zhirmayanti, H. A. Khoirunnisa, S. Amelia, and F. Rauf, "Production of bioethanol from kepok banana peels (*Musa acuminata* × *Musa balbisiana*) using different types of yeast," *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 7, no. 3, pp. 897–903, 2023, doi: 10.33379/gtech.v7i3.2621.
- [9] A. A. Sokan-Adeaga, G. R. E. E. Ana, A. O. Olorunnisola, M. A. Sokan-Adeaga, H. Roy, M. S. Reza, and M. S. Islam, "Ethanol production from cassava peels using *Saccharomyces cerevisiae* via ethanologenic fermentation process," *Arab Gulf Journal of Scientific Research*, vol. 42, no. 4, pp. 1664–1684, 2024, doi: 10.1108/AGJSR-06-2023-0264.
- [10] T. J. Tse, D. J. Wiens, and M. J. T. Reaney, "Production of bioethanol—A review of factors affecting ethanol yield," *Fermentation*, vol. 7, no. 4, Art. no. 268, 2021, doi: 10.3390/fermentation7040268.
- [11] A. Shukla, D. Kumar, M. Girdhar, A. Kumar, A. Goyal, T. Malik, and A. Mohan, "Strategies of pretreatment of feedstocks for optimized bioethanol production: Distinct and integrated approaches," *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, vol. 16, Art. no. 44, 2023, doi: 10.1186/s13068-023-02295-2.
- [12] PT Pertamina, "Spesifikasi Pertamina," PT Pertamina, 2021. [Online]. Available: https://onesolution.pertamina.com/Product/Download?filename=20210806090201atc_Pertamax+Spesifikasi.pdf. [Diakses: 13 Juli, 2026].
- [13] M. P. Pasaribu, H. Maksu, Wagino, and T. Sugiarto, "Pengaruh bioetanol dari limbah kulit pisang dengan campuran bahan bakar sepeda motor terhadap emisi gas buang," *JTPVI: Jurnal Teknologi dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, vol. 3, no. 1, pp. 595–602, 2025, doi: 10.24036/jtpvi.v3i1.240.

- [14] M. S. Firmansyah, W. Purwanto, H. Maksum, A. Arif, and M. Y. Setiawan, "Analisis emisi gas buang (CO, CO₂ dan HC) pada sepeda motor FI dengan variasi saat pengapian, saat penginjeksian dan jenis bahan bakar," *JTPVI: Jurnal Teknologi dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, vol. 1, no. 2, pp. 145–158, 2023, doi: 10.24036/jtpvi.v1i2.6.
- [15] P. Saksono, "Analisis perubahan rasio bahan bakar dan udara terhadap nilai emisi gas buang sepeda motor," *Al Jazari: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 10, no. 1, pp. 19–24, 2025, doi: 10.31602/al-jazari.v10i1.16543.
- [16] P. Iodice and M. Cardone, "Ethanol/gasoline blends as alternative fuel in last generation spark-ignition engines: A review on CO and HC engine out emissions," *Energies*, vol. 14, no. 13, Art. no. 4034, 2021, doi: 10.3390/en14134034.
- [17] M. M. Markiewicz, J. Kaszkowiak, and L. Hujo, "The effect of ethanol in gasoline on exhaust gas components emitted by spark ignition engines," *Combustion Engines*, vol. 203, no. 4, pp. 42–49, 2025, doi: 10.19206/CE-206029.
- [18] H. Y. Pratama, R. Lapisa, Milana, and Wagino, "Pengaruh campuran octane booster pada Pertalite terhadap konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang pada Honda Beat ESP 110cc," *JTPVI: Jurnal Teknologi dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, vol. 1, no. 3, pp. 371–380, 2023, doi: 10.24036/jtpvi.v1i3.83.
- [19] Y. P. Sihole, Martias, T. Sugiarto, and D. Fernandez, "Analisis variasi campuran Pertamina 92 dengan metanol terhadap penambahan nilai oktan emisi gas buang pada motor Satria FU injeksi," *JTPVI: Jurnal Teknologi dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, vol. 3, no. 4, pp. 923–934, 2025, doi: 10.24036/jtpvi.v3i4.359.

Halaman ini sengaja dikosongkan.