



Pengujian Campuran Pertamina-Bioetanol Ampas Tebu dan Kulit Nanas terhadap Emisi CO dan HC pada Honda Beat Injeksi

Testing of Pertamina-Sugarcane Bagasse and Pineapple Peel Bioethanol Blends on CO and HC Emissions in a Fuel-Injected Honda Beat

Wahyudi Pratama^{1*}, Wawan Purwanto¹, Dwi Sudarno Putra¹, Ahmad Arif¹

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis penggunaan campuran Pertamina dengan bioetanol dari ampas tebu dan kulit nanas terhadap emisi gas buang Honda Beat 2025 sistem injeksi. Penelitian menggunakan metode eksperimen dengan lima variasi bahan bakar, yaitu Pertamina murni (B0), E5 tebu, E10 tebu, E5 nanas, dan E10 nanas. Pengujian dilakukan pada 1500, 2500, 4000, 5500, dan 7000 rpm dengan tiga pengulangan. Parameter yang diamati meliputi CO, CO₂, HC, O₂, lambda, dan AFR menggunakan gas analyzer dan scan tool. Hasil menunjukkan bahwa campuran bioetanol menurunkan rata-rata CO dan HC dibandingkan Pertamina murni. Nilai CO terendah diperoleh pada E10 tebu sebesar 0,410%, sedangkan HC terendah diperoleh pada E10 nanas sebesar 96,20 ppm. Secara deskriptif, E10 tebu menunjukkan penurunan CO paling menonjol, sedangkan E10 nanas menunjukkan penurunan HC paling menonjol dibandingkan variasi bahan bakar lainnya. Temuan ini mengindikasikan bahwa bioetanol limbah tebu dan limbah nanas berpotensi sebagai campuran Pertamina untuk mendukung pembakaran yang lebih bersih pada motor injeksi.

Kata Kunci

bioetanol; Pertamina; ampas tebu; kulit nanas; emisi CO dan HC

Abstract

This study analyzed Pertamina blended with bioethanol from sugarcane bagasse and pineapple peel on exhaust emissions of a 2025 fuel-injected Honda Beat motorcycle. An experimental method was applied using five fuel variations: pure Pertamina (B0), E5 sugarcane, E10 sugarcane, E5 pineapple, and E10 pineapple. Tests were conducted at 1500, 2500, 4000, 5500, and 7000 rpm with three repetitions. The observed parameters included CO, CO₂, HC, O₂, lambda, and AFR, measured using a gas analyzer and scan tool. The results showed that bioethanol blends reduced average CO and HC compared with pure Pertamina. The lowest CO was obtained with E10 sugarcane at 0.410%, while the lowest HC was obtained with E10 pineapple at 96.20 ppm. Descriptively, E10 sugarcane showed the most prominent CO reduction, whereas E10 pineapple showed the most prominent HC reduction among the tested fuel variations. These findings indicate the potential of sugarcane and pineapple waste bioethanol as a Pertamina blend to support cleaner combustion in fuel-injected motorcycles.

Keywords

bioethanol; Pertamina; sugarcane bagasse; pineapple peel; CO and HC emissions

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

* pratamayd013@gmail.com

Dikirimkan: 05 Juli 2026. Diterima: 10 Juli 2026. Diterbitkan: 20 Juli 2026.

PENDAHULUAN

Jumlah sepeda motor yang terus meningkat berdampak langsung pada konsumsi bahan bakar fosil dan emisi dari sektor transportasi. Di Indonesia, sepeda motor merupakan moda transportasi yang paling banyak digunakan oleh masyarakat. Data Badan Pusat Statistik menunjukkan bahwa jumlah sepeda motor pada tahun 2024 mencapai 139.450.013 unit. Kondisi ini menunjukkan bahwa emisi dari kendaraan roda dua perlu mendapat perhatian dalam upaya pengendalian pencemaran udara dari sektor transportasi [1].

Gas buang sepeda motor umumnya mengandung karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), hidrokarbon (HC), oksigen (O₂), serta indikator pembakaran seperti lambda dan air-fuel ratio (AFR). Di antara parameter tersebut, CO dan HC menjadi perhatian utama karena keduanya berkaitan dengan pembakaran bahan bakar yang belum sempurna. Pemerintah Indonesia juga telah menetapkan baku mutu emisi kendaraan bermotor melalui Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 8 Tahun 2023 untuk kendaraan kategori M, N, O, dan L [2]. Oleh karena itu, upaya untuk menurunkan emisi CO dan HC pada sepeda motor injeksi masih relevan untuk dikaji, terutama melalui pemanfaatan bahan bakar campuran yang lebih mendukung proses pembakaran.

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk membantu menekan emisi pembakaran tidak sempurna adalah penggunaan campuran bensin dan bioetanol. Bioetanol menarik sebagai bahan campuran bensin karena mengandung oksigen dalam struktur molekulnya, sehingga dapat membantu proses oksidasi bahan bakar selama pembakaran. Beberapa penelitian pada mesin spark ignition menunjukkan bahwa penambahan etanol dalam bensin dapat menurunkan emisi CO dan HC pada kondisi operasi tertentu [3]–[5]. Namun demikian, kecenderungan emisi tidak hanya dipengaruhi oleh kadar etanol, tetapi juga oleh kondisi pembakaran, rasio udara-bahan bakar, dan karakteristik operasi mesin.

Pada kendaraan roda dua, AFR dan lambda perlu dibaca secara cermat karena keduanya berkaitan dengan kecenderungan campuran udara dan bahan bakar selama proses pembakaran [6]. Studi terbaru juga menunjukkan bahwa kandungan etanol dalam bensin dapat memengaruhi komponen gas buang pada mesin spark ignition, termasuk CO dan HC [7]. Di Indonesia, Purnama dkk. [8] melaporkan bahwa campuran Pertalite dengan bioetanol tebu dapat menurunkan konsumsi bahan bakar serta emisi CO dan HC pada sepeda motor injeksi. Sejalan dengan itu, Pasaribu dkk. [9] menunjukkan bahwa penggunaan bioetanol dari limbah kulit pisang sebagai campuran bahan bakar dapat menurunkan emisi gas buang pada sepeda motor empat langkah. Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa campuran bensin dan bioetanol memiliki peluang untuk dikaji lebih lanjut pada kendaraan roda dua dengan sumber bioetanol yang berbeda.

Bioetanol dapat diproduksi dari berbagai jenis biomassa, termasuk limbah pertanian dan limbah buah. Ampas tebu atau bagas mengandung lignoselulosa yang dapat dihidrolisis menjadi gula sederhana sebelum difermentasi menjadi etanol [10]. Sementara itu, limbah nanas memiliki kandungan gula yang relatif mudah difermentasi sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan baku bioetanol [11]. Secara umum, berbagai limbah organik dapat diolah menjadi bioetanol dan dimanfaatkan sebagai alternatif untuk mengurangi sebagian penggunaan bahan bakar fosil [12]. Pada limbah tebu, Utari dkk. [10] melaporkan bahwa waktu fermentasi memengaruhi kualitas bioetanol dari ampas tebu, sedangkan Utami dkk. [13] menjelaskan bahwa hidrolisat ampas tebu berpotensi digunakan untuk produksi bioetanol. Pada limbah nanas, Yusmartini dkk. [14] menyatakan bahwa kulit nanas dapat dijadikan bahan baku bioetanol dengan bantuan *Saccharomyces cerevisiae*.

Sebagai bahan bakar campuran, bioetanol memiliki karakteristik yang berkaitan dengan pembakaran mesin bensin. Pada mesin empat langkah, proses pembakaran dipengaruhi oleh mutu bahan bakar, rasio udara-bahan bakar, sistem pengapian, kondisi ruang bakar, dan

putaran mesin. Bioetanol termasuk bahan bakar beroksigen sehingga dapat membantu proses oksidasi bahan bakar saat pembakaran berlangsung. Sasongko dan Setiyono [15] menjelaskan bahwa bioetanol dapat dicampurkan dengan bensin melalui proses blending dan diarahkan untuk mendekati karakteristik bahan bakar setara Pertamax, terutama dari sisi angka oktan. Selain itu, Zubair dkk. [16] menyatakan bahwa perubahan AFR dan putaran mesin dapat memengaruhi nilai emisi gas buang sepeda motor. Dengan demikian, CO, HC, CO₂, O₂, lambda, dan AFR perlu dibaca secara terpadu agar kecenderungan pembakaran dapat dipahami secara lebih proporsional.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian sebelumnya umumnya membahas campuran etanol-bensin secara umum atau menggunakan satu jenis sumber bioetanol tertentu. Namun, kajian yang secara langsung membandingkan bioetanol dari ampas tebu dan kulit nanas pada kadar campuran E5 dan E10 dalam Pertamax terhadap emisi CO dan HC sepeda motor injeksi masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk memberikan gambaran eksperimental mengenai penggunaan bioetanol dari dua sumber limbah organik tersebut pada Honda Beat 2025 sistem injeksi. Kebaruan penelitian ini terletak pada perbandingan campuran E5 dan E10 berbasis bioetanol limbah tebu dan limbah nanas terhadap emisi CO dan HC, dengan CO₂, O₂, lambda, dan AFR sebagai parameter pendukung interpretasi pembakaran.

Penelitian ini bertujuan menganalisis penggunaan campuran Pertamax dengan bioetanol hasil fermentasi limbah tebu dan limbah nanas terhadap emisi gas buang Honda Beat 2025 sistem injeksi. Parameter utama yang dikaji adalah CO dan HC, sedangkan CO₂, O₂, lambda, dan AFR digunakan untuk mendukung pembacaan kondisi pembakaran. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi gambaran awal mengenai potensi limbah organik sebagai bahan campuran Pertamax untuk membantu menurunkan emisi pembakaran tidak sempurna pada motor injeksi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Metode ini dipilih karena penelitian dilakukan dengan memberikan perlakuan berupa variasi bahan bakar pada objek uji, kemudian emisi gas buang yang dihasilkan diamati dan dibandingkan. Akbar dkk. [17] menjelaskan bahwa penelitian eksperimen dilakukan dengan memanipulasi variabel bebas dan mengamati perubahan yang terjadi pada variabel terikat. Dalam penelitian ini, variabel bebas adalah variasi bahan bakar, sedangkan variabel terikat adalah emisi gas buang yang meliputi CO, HC, CO₂, O₂, lambda, dan air-fuel ratio (AFR).

Objek uji dalam penelitian ini adalah sepeda motor Honda Beat tahun 2025 dengan sistem bahan bakar injeksi. Sebelum pengujian dilakukan, kendaraan dipastikan berada dalam kondisi baik dan siap digunakan agar pembacaan emisi tidak dipengaruhi oleh gangguan teknis pada mesin. Spesifikasi utama sepeda motor uji disajikan pada Tabel 1. Informasi ini diperlukan untuk menjelaskan karakteristik objek uji yang digunakan dalam pengujian emisi.

Tabel 1. Spesifikasi objek penelitian

Komponen	Spesifikasi
Jenis kendaraan	Honda Beat 2025
Tipe mesin	4-langkah, SOHC, eSP (enhanced Smart Power)
Volume langkah	109,5 cc
Sistem bahan bakar	Injeksi PGM-FI
Diameter × langkah	50 mm × 55,1 mm
Daya maksimum	6,6 kW (9,0 PS) / 7.500 rpm
Torsi maksimum	9,2 N·m / 5.500 rpm

Tipe rangka	Tulang punggung eSAF
Suspensi depan	Teleskopik
Suspensi belakang	Lengan ayun dengan peredam kejut tunggal

Bioetanol yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil fermentasi dan distilasi limbah ampas tebu serta kulit nanas. Sebelum dicampurkan dengan Pertamax, bioetanol diamati secara fisik untuk memperoleh gambaran awal mengenai karakteristiknya. Pengamatan tersebut meliputi rentang titik didih, indikasi kemurnian, dugaan kandungan air, dan karakter bahan baku. Karakteristik awal ini penting diperhatikan sebagai informasi pendukung karena kondisi fisik bioetanol dapat berkaitan dengan proses pembakaran dan kecenderungan emisi yang terbentuk. Karakteristik awal bioetanol disajikan pada [Tabel 2](#).

Tabel 2. Karakteristik awal bioetanol limbah tebu dan nanas

Parameter	Bioetanol Ampas Tebu	Bioetanol Kulit Nanas
Rentang titik didih	85–90 °C	80–85 °C
Indikasi kemurnian	Lebih rendah	Lebih tinggi
Dugaan kandungan air	Lebih tinggi	Lebih rendah
Karakter bahan baku	Lignoselulosa lebih kompleks	Gula sederhana lebih mudah difermentasi

Bahan bakar yang diuji terdiri atas Pertamax murni sebagai kontrol dan empat campuran Pertamax-bioetanol. Komposisi campuran dibuat berdasarkan persentase volume, yaitu E5 dan E10 untuk bioetanol tebu serta E5 dan E10 untuk bioetanol nanas. Kode B0 digunakan untuk Pertamax murni, sedangkan kode E5 dan E10 menunjukkan persentase bioetanol dalam campuran bahan bakar. Rincian perlakuan bahan bakar disajikan pada [Tabel 3](#).

Tabel 3. Variasi perlakuan bahan bakar

Kelompok	Kode	Komposisi bahan bakar
Kontrol	B0	Pertamax 100%
Eksperimen 1	E5 Tebu	Pertamax 95% + bioetanol tebu 5%
Eksperimen 2	E10 Tebu	Pertamax 90% + bioetanol tebu 10%
Eksperimen 3	E5 Nanas	Pertamax 95% + bioetanol nanas 5%
Eksperimen 4	E10 Nanas	Pertamax 90% + bioetanol nanas 10%

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah Exhaust Gas Analyzer HG-520 dan scan tool motor injeksi FI HD-30. Exhaust Gas Analyzer HG-520 digunakan untuk mengukur kadar emisi gas buang yang keluar dari saluran knalpot sepeda motor. Parameter yang dibaca meliputi karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), karbon dioksida (CO₂), oksigen (O₂), lambda (λ), dan air–fuel ratio (AFR). Parameter CO, HC, CO₂, O₂, lambda, dan AFR dibaca secara terpadu karena perubahan rasio udara-bahan bakar berkaitan dengan kecenderungan emisi gas buang pada sepeda motor [6]. Sementara itu, scan tool motor injeksi FI HD-30 digunakan untuk memantau putaran mesin secara langsung selama pengujian, sehingga setiap titik pengujian dapat dilakukan pada putaran mesin yang sesuai.

Pengujian dilakukan pada 1500, 2500, 4000, 5500, dan 7000 rpm. Titik 1500 rpm mewakili kondisi idle atau langsam, 2500 rpm mewakili putaran rendah-menengah, 4000 rpm mewakili

putaran menengah, 5500 rpm mendekati daerah torsi maksimum Honda Beat, dan 7000 rpm mendekati putaran tinggi sebelum daya maksimum. Pemilihan variasi putaran mesin tersebut bertujuan untuk mengamati perubahan emisi dari kondisi kerja mesin rendah sampai tinggi.

Prosedur pengujian diawali dengan persiapan dan pemeriksaan alat. Selang, hose, dan filter pada gas analyzer dipastikan bersih dari partikel, kotoran, atau air agar aliran sampel tidak terganggu. Setelah itu, mesin dinyalakan dan dipanaskan selama beberapa menit sampai mencapai suhu kerja sekitar 80–90 °C. Beban kelistrikan yang tidak diperlukan dimatikan agar pembacaan gas buang lebih stabil.

Setelah mesin berada pada kondisi stabil, probe gas analyzer dimasukkan ke lubang knalpot sekitar 30 cm atau mengikuti petunjuk manual alat. Probe diposisikan agar tidak mudah lepas selama pengujian. Pengambilan data dilakukan pada setiap titik putaran mesin, yaitu 1500, 2500, 4000, 5500, dan 7000 rpm. Pada setiap titik rpm, pembacaan gas analyzer ditunggu sampai stabil sekitar 5–7 menit. Setelah pembacaan stabil, nilai CO, HC, CO₂, O₂, lambda, dan AFR dicatat. Selanjutnya, setiap variasi bahan bakar dan setiap titik rpm diuji sebanyak tiga kali. Pengulangan dilakukan agar data yang diperoleh lebih stabil dan tidak hanya bergantung pada satu kali pembacaan alat. Setelah seluruh data selesai diambil, alat dimatikan dan probe dibersihkan kembali untuk menjaga kondisi alat pengujian.

Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Analisis dilakukan dengan menghitung nilai rata-rata hasil pengujian dan persentase perubahan emisi terhadap Pertamina murni sebagai kontrol. 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 pengujian, dan n adalah jumlah pengulangan pengujian.

Persentase perubahan emisi terhadap Pertamina murni dihitung menggunakan Persamaan (2).

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

dimana P adalah persentase perubahan emisi, E_0 adalah nilai rata-rata emisi pada bahan bakar kontrol atau B0 (Pertamax 100%), dan E_x adalah nilai rata-rata emisi pada bahan bakar campuran bioetanol. Nilai positif menunjukkan penurunan terhadap kontrol, sedangkan nilai negatif menunjukkan peningkatan terhadap kontrol.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil pengujian meliputi karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), karbon dioksida (CO₂), oksigen (O₂), lambda, dan air–fuel ratio (AFR). Pengujian dilakukan pada lima variasi bahan bakar, yaitu Pertamina murni (B0), E5 tebu, E10 tebu, E5 nanas, dan E10 nanas. Setiap variasi diuji pada putaran mesin 1500, 2500, 4000, 5500, dan 7000 rpm. Data pada [Tabel 4](#) merupakan nilai rata-rata dari tiga kali pengulangan pada setiap titik pengujian.

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	AFR
B0 (Pertamax)	1500	1,14	416	12,70	13,10	1,53	22,47
B0 (Pertamax)	2500	0,72	176	13,57	13,74	1,65	24,03
B0 (Pertamax)	4000	0,65	172	13,27	14,93	1,68	25,23
B0 (Pertamax)	5500	0,42	135	14,17	12,72	1,60	22,37

Bahan bakar	RPM	CO (%)	HC (ppm)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	Lambda	AFR
B0 (Pertamax)	7000	0,17	43	14,47	13,20	1,63	23,17
E5 Tebu	1500	1,06	261	11,13	7,97	1,39	20,37
E5 Tebu	2500	0,65	173	10,97	12,42	1,71	25,07
E5 Tebu	4000	0,45	100	13,20	9,38	1,45	21,27
E5 Tebu	5500	0,29	74	13,77	7,13	1,34	19,57
E5 Tebu	7000	0,12	51	14,63	5,21	1,23	18,10
E10 Tebu	1500	1,05	191	10,63	10,92	1,58	23,23
E10 Tebu	2500	0,41	131	12,00	7,67	1,40	20,53
E10 Tebu	4000	0,30	82	13,70	8,34	1,39	20,40
E10 Tebu	5500	0,17	63	14,23	8,24	1,38	20,30
E10 Tebu	7000	0,12	27	15,00	8,43	1,38	20,20
E5 Nanas	1500	1,08	247	10,97	10,41	1,53	22,47
E5 Nanas	2500	0,41	129	12,60	11,01	1,56	22,80
E5 Nanas	4000	0,31	88	13,50	10,01	1,48	21,67
E5 Nanas	5500	0,16	53	14,47	9,74	1,45	21,20
E5 Nanas	7000	0,12	28	14,93	10,81	1,49	21,80
E10 Nanas	1500	1,25	214	10,53	10,47	1,54	22,63
E10 Nanas	2500	0,35	116	11,90	11,74	1,65	24,17
E10 Nanas	4000	0,26	71	13,37	9,76	1,48	21,63
E10 Nanas	5500	0,17	49	14,37	8,44	1,39	20,40
E10 Nanas	7000	0,13	31	14,67	9,52	1,43	21,03

Berdasarkan Tabel 4, nilai CO dan HC pada semua variasi bahan bakar menunjukkan kecenderungan menurun seiring peningkatan putaran mesin. Pada B0, CO menurun dari 1,14% pada 1500 rpm menjadi 0,17% pada 7000 rpm, sedangkan HC menurun dari 416 ppm menjadi 43 ppm. Kecenderungan penurunan serupa juga terlihat pada campuran E5 tebu, E10 tebu, E5 nanas, dan E10 nanas. Untuk memperjelas perbandingan antar bahan bakar, nilai rata-rata CO dan HC pada seluruh titik rpm disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rata-rata dan simpangan baku CO serta HC berdasarkan seluruh titik pengujian

Bahan bakar	CO (%) rata-rata $\pm$ SD	HC (ppm) rata-rata $\pm$ SD
B0 (Pertamax)	0,621 $\pm$ 0,343	188,40 $\pm$ 137,26
E5 Tebu	0,513 $\pm$ 0,405	132,00 $\pm$ 94,19
E10 Tebu	0,410 $\pm$ 0,369	98,67 $\pm$ 61,80
E5 Nanas	0,416 $\pm$ 0,372	109,27 $\pm$ 83,09
E10 Nanas	0,431 $\pm$ 0,437	96,20 $\pm$ 70,05

Catatan : SD menunjukkan sebaran data CO dan HC berdasarkan seluruh titik pengujian yang dianalisis.

Tabel 5 menunjukkan bahwa seluruh campuran bioetanol menghasilkan rata-rata CO dan HC yang lebih rendah dibandingkan Pertamax murni. Rata-rata CO terendah diperoleh pada E10 tebu sebesar 0,410%, sedangkan rata-rata HC terendah diperoleh pada E10 nanas sebesar 96,20 ppm. Hasil ini menunjukkan bahwa campuran bioetanol memberikan perbedaan nilai rata-rata emisi CO dan HC dibandingkan bahan bakar kontrol.

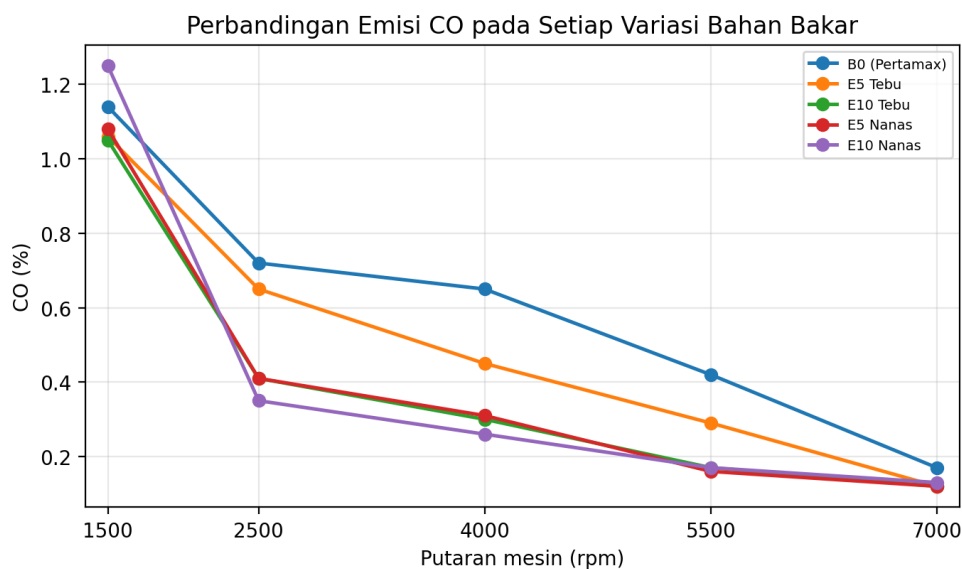
Untuk memperlihatkan besar perubahan terhadap Pertamax murni, persentase penurunan rata-rata CO dan HC disajikan pada Tabel 6. Perhitungan dilakukan dengan menjadikan B0 sebagai kontrol pembanding.

Tabel 6. *Persentase penurunan rata-rata CO dan HC terhadap Pertamina murni*

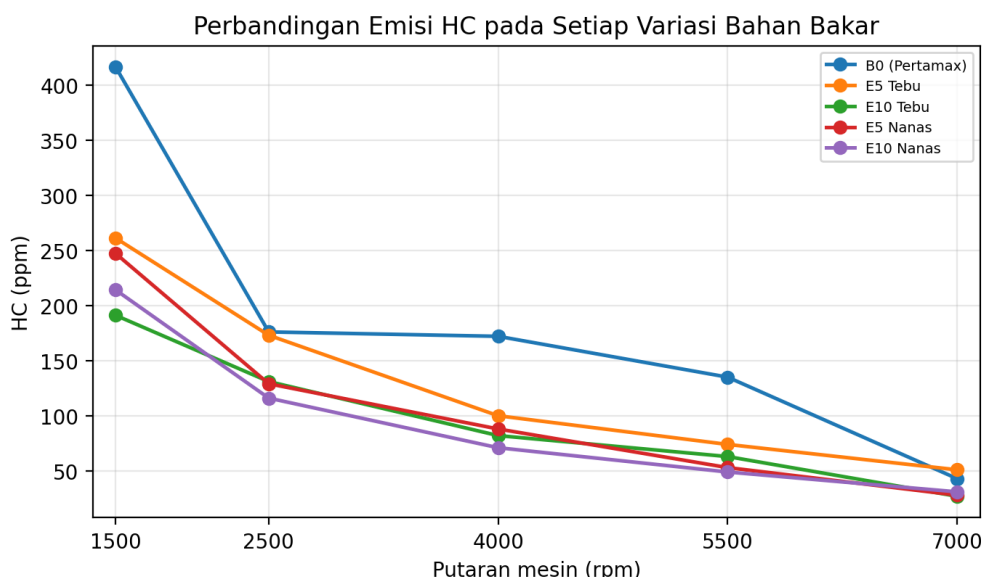
Bahan bakar	Penurunan CO (%)	Penurunan HC (%)
E5 Tebu	17,38	29,94
E10 Tebu	34,01	47,63
E5 Nanas	33,05	42,00
E10 Nanas	30,58	48,94

Berdasarkan [Tabel 6](#), penurunan rata-rata CO terbesar terjadi pada E10 tebu, yaitu 34,01% dibandingkan Pertamina murni. Sementara itu, penurunan rata-rata HC terbesar terjadi pada E10 nanas, yaitu 48,94%. Pada parameter CO, campuran E10 tebu menunjukkan nilai penurunan paling tinggi, diikuti E5 nanas, E10 nanas, dan E5 tebu. Pada parameter HC, campuran E10 nanas menunjukkan nilai penurunan paling tinggi, diikuti E10 tebu, E5 nanas, dan E5 tebu.

Perbandingan nilai CO pada setiap variasi bahan bakar divisualisasikan pada [Gambar 1](#). Grafik tersebut memperlihatkan perubahan CO pada setiap titik putaran mesin dari 1500 sampai 7000 rpm.

**Gambar 1.** Perbandingan emisi CO pada setiap variasi bahan bakar

Perbandingan nilai HC pada setiap variasi bahan bakar divisualisasikan pada [Gambar 2](#). Grafik tersebut memperlihatkan perubahan HC pada setiap variasi bahan bakar di setiap titik putaran mesin.



Gambar 2. Perbandingan emisi HC pada setiap variasi bahan bakar

Pada campuran bioetanol tebu, penurunan CO dan HC terlihat pada kedua kadar campuran, baik E5 maupun E10. Secara rata-rata, E10 tebu menghasilkan nilai CO dan HC yang lebih rendah dibandingkan E5 tebu, sehingga variasi ini menjadi perlakuan paling menonjol pada parameter CO. Selanjutnya, pada E5 nanas nilai CO menurun dari 1,08% pada 1500 rpm menjadi 0,12% pada 7000 rpm, sedangkan HC menurun dari 247 ppm menjadi 28 ppm. Pada E10 nanas, nilai CO menurun dari 1,25% menjadi 0,13%, sedangkan HC menurun dari 214 ppm menjadi 31 ppm. Walaupun CO pada E10 nanas di 1500 rpm lebih tinggi dibandingkan B0, nilai rata-rata CO pada E10 nanas tetap lebih rendah daripada Pertamax murni. Sementara itu, rata-rata HC pada E10 nanas menjadi nilai terendah di antara seluruh variasi bahan bakar.

Secara deskriptif, campuran Pertamax dengan bioetanol limbah tebu dan limbah nanas menunjukkan penurunan rata-rata CO dan HC dibandingkan Pertamax murni. Namun, kecenderungan penurunan tersebut berbeda pada setiap jenis bioetanol dan parameter emisi. E10 tebu menjadi variasi yang paling menonjol pada penurunan CO, sedangkan E10 nanas menjadi variasi yang paling menonjol pada penurunan HC.

Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4, semua variasi bahan bakar menunjukkan kecenderungan penurunan CO dan HC ketika putaran mesin meningkat. Pola ini juga terlihat pada Gambar 1 dan Gambar 2, yang memperlihatkan bahwa nilai CO dan HC pada sebagian besar perlakuan lebih tinggi pada 1500 rpm dan menurun pada putaran mesin yang lebih tinggi. Secara umum, penurunan CO dan HC dapat dibaca sebagai indikasi berkurangnya komponen hasil pembakaran tidak sempurna pada kondisi pengujian tertentu. Namun, interpretasi ini tetap perlu dibatasi karena penelitian ini menggunakan analisis deskriptif dan belum menguji parameter lain seperti NOx, konsumsi bahan bakar, daya, torsi, dan temperatur pembakaran.

Penurunan CO dan HC pada campuran Pertamax-bioetanol dapat dikaitkan dengan karakteristik bioetanol sebagai bahan bakar beroksigen. Kandungan oksigen dalam bioetanol dapat membantu proses oksidasi selama pembakaran, sehingga pembentukan CO dan sisa hidrokarbon yang tidak terbakar cenderung berkurang. Temuan ini menguatkan hasil kajian Iodice dan Cardone [3], Rimkus dkk. [4], serta Gajewski dkk. [5], yang menunjukkan bahwa penambahan etanol dalam bensin pada mesin spark ignition dapat menurunkan CO dan HC pada kondisi operasi tertentu. Selain itu, Markiewicz dkk. [7] juga menjelaskan bahwa etanol dalam bensin dapat memengaruhi komponen gas buang mesin spark ignition. Dengan demikian, hasil pada Tabel 5 dan Tabel 6 memperluas bukti tersebut pada konteks penggunaan

bioetanol limbah tebu dan limbah nanas sebagai campuran Pertamina pada sepeda motor injeksi.

Jika dibandingkan dengan Pertamina murni, seluruh campuran bioetanol menghasilkan rata-rata CO dan HC yang lebih rendah, sebagaimana ditunjukkan pada [Tabel 5](#). Hasil ini sejalan dengan Purnama dkk. [8], yang melaporkan bahwa campuran Pertalite dengan bioetanol tebu dapat menurunkan CO dan HC pada sepeda motor injeksi. Hasil penelitian ini juga memperkuat temuan Pasaribu dkk. [9], yang menunjukkan bahwa bioetanol dari limbah kulit pisang sebagai campuran bahan bakar dapat menurunkan emisi gas buang sepeda motor. Perbedaan, penelitian ini tidak hanya menggunakan satu sumber bioetanol, tetapi membandingkan dua sumber limbah organik, yaitu limbah tebu dan limbah nanas, pada kadar campuran E5 dan E10. Dengan demikian, kontribusi utama penelitian ini terletak pada penyediaan gambaran komparatif mengenai respons CO dan HC terhadap jenis sumber bioetanol dan kadar campurannya.

Perbedaan kecenderungan antara bioetanol limbah tebu dan limbah nanas dapat dikaitkan dengan karakteristik awal bioetanol yang digunakan. Pada bagian metode, bioetanol kulit nanas memiliki rentang titik didih 80–85 °C, sedangkan bioetanol ampas tebu berada pada rentang 85–90 °C. Rentang titik didih bioetanol kulit nanas yang lebih dekat dengan titik didih etanol menunjukkan indikasi kemurnian yang lebih baik dan dugaan kandungan air yang lebih rendah. Kondisi ini dapat membantu menjelaskan mengapa E10 nanas menghasilkan rata-rata HC terendah, yaitu 96,20 ppm, sebagaimana ditunjukkan pada [Tabel 5](#). Secara teoritis, limbah nanas memiliki kandungan gula yang relatif lebih mudah difermentasi sehingga dapat mendukung proses pembentukan bioetanol [11], [14]. Dalam penelitian ini, karakteristik tersebut hanya digunakan sebagai dasar interpretasi awal terhadap kecenderungan emisi, bukan sebagai bukti langsung mengenai stabilitas pembakaran. Sebaliknya, ampas tebu memiliki struktur lignoselulosa yang lebih kompleks sehingga kualitas bioetanolnya lebih dipengaruhi oleh efektivitas hidrolisis dan proses fermentasi [10], [13].

Meskipun E10 nanas menghasilkan rata-rata HC terendah, penurunan CO terbesar justru diperoleh pada E10 tebu, yaitu 34,01% terhadap Pertamina murni, sebagaimana ditunjukkan pada [Tabel 6](#). Hal ini menunjukkan bahwa jenis sumber bioetanol tidak memberikan pola yang sepenuhnya sama pada setiap parameter emisi. Pada parameter CO, E10 tebu menjadi variasi paling menonjol, sedangkan pada parameter HC, E10 nanas menunjukkan hasil paling rendah. Perbedaan ini penting dicatat karena CO dan HC sama-sama berkaitan dengan pembakaran tidak sempurna, tetapi keduanya tidak selalu berubah dengan pola yang identik. CO lebih berkaitan dengan proses oksidasi karbon yang belum sempurna, sedangkan HC menunjukkan adanya bahan bakar yang belum terbakar secara tuntas di ruang bakar.

Nilai lambda pada seluruh perlakuan berada di atas 1, sehingga campuran udara-bahan bakar cenderung berada pada kondisi lean. Kondisi lean menunjukkan bahwa jumlah udara yang masuk lebih besar daripada kebutuhan stoikiometri. Pada batas tertentu, ketersediaan oksigen yang lebih besar dapat membantu menurunkan CO karena oksidasi karbon berlangsung lebih terbantu. Namun, campuran yang terlalu lean juga dapat menyebabkan pembakaran menjadi kurang stabil dan berpotensi meningkatkan HC pada titik tertentu. Oleh karena itu, AFR, lambda, O₂, CO, dan HC perlu dibaca secara terpadu, bukan sebagai parameter yang berdiri sendiri. Penjelasan ini sesuai dengan Odunlami dkk. [6], yang menekankan keterkaitan AFR dengan emisi gas buang sepeda motor, serta Zubair dkk. [16], yang menunjukkan bahwa perubahan AFR dan putaran mesin dapat memengaruhi nilai emisi gas buang sepeda motor.

Dari sisi kadar campuran, hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran 10% bioetanol cenderung lebih menonjol daripada campuran 5% pada parameter utama tertentu. E10 tebu menghasilkan rata-rata CO terendah, sedangkan E10 nanas menghasilkan rata-rata HC

terendah. Akan tetapi, kecenderungan ini tidak boleh ditafsirkan sebagai bukti bahwa E10 selalu paling baik untuk semua kondisi dan semua parameter. Pada [Gambar 1](#), misalnya, CO E10 nanas pada 1500 rpm lebih tinggi dibandingkan Pertamina murni, meskipun nilai rata-ratanya tetap lebih rendah daripada B0. Hal ini menunjukkan bahwa respons emisi terhadap campuran bioetanol dipengaruhi oleh jenis bioetanol, kadar campuran, dan titik putaran mesin.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa bioetanol dari limbah tebu dan limbah nanas berpotensi digunakan sebagai campuran Pertamina untuk menurunkan rata-rata CO dan HC pada Honda Beat 2025 sistem injeksi. Implikasi teknisnya adalah campuran bioetanol dapat dipertimbangkan sebagai kandidat bahan bakar campuran awal untuk mendukung penurunan CO dan HC pada kondisi pengujian yang terbatas. Implikasi akademiknya, penelitian ini memberikan data awal bagi kajian vokasional otomotif terkait pemanfaatan limbah organik sebagai bahan baku bioetanol dan aplikasinya pada pengujian emisi sepeda motor injeksi. Namun, temuan ini masih perlu dibaca sebagai hasil deskriptif karena penelitian belum mencakup pengujian NOx, konsumsi bahan bakar, daya, torsi, durabilitas mesin, serta karakterisasi lengkap bioetanol seperti kadar etanol, kadar air, densitas, dan nilai kalor.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran Pertamina dengan bioetanol dari limbah tebu dan limbah nanas menghasilkan perbedaan nilai emisi gas buang pada Honda Beat 2025 sistem injeksi. Secara umum, nilai CO dan HC menurun pada putaran mesin yang lebih tinggi, sedangkan CO₂ pada sebagian besar perlakuan cenderung meningkat seiring kenaikan putaran mesin. Pola ini mengindikasikan bahwa campuran bioetanol berpotensi membantu menurunkan komponen emisi yang berkaitan dengan pembakaran tidak sempurna pada parameter yang diuji. Dibandingkan Pertamina murni, E10 tebu menghasilkan rata-rata CO terendah sebesar 0,410% dengan penurunan 34,01%. Sementara itu, E10 nanas menghasilkan rata-rata HC terendah sebesar 96,20 ppm dengan penurunan 48,94%. Dengan demikian, campuran bioetanol 10% menunjukkan hasil paling menonjol pada parameter tertentu, yaitu E10 tebu pada penurunan CO dan E10 nanas pada penurunan HC. Namun, temuan ini tetap bersifat deskriptif dan terbatas pada variasi bahan bakar, titik putaran mesin, serta parameter emisi yang diuji.

Saran

Penelitian ini masih terbatas pada satu jenis kendaraan, yaitu Honda Beat 2025 sistem injeksi. Parameter yang dianalisis juga masih mencakup CO, CO₂, HC, O₂, lambda, dan AFR, sehingga belum dapat menjelaskan performa mesin secara menyeluruh. Penelitian berikutnya disarankan menambahkan pengujian NOx, konsumsi bahan bakar, daya, torsi, temperatur mesin, dan durabilitas komponen agar kecenderungan perubahan akibat penggunaan campuran bioetanol dapat dipahami lebih komprehensif. Karakterisasi bioetanol juga perlu diperkuat melalui pengukuran kadar etanol, kadar air, nilai kalor, dan densitas menggunakan instrumen yang lebih akurat. Selain itu, variasi kadar campuran seperti E15 atau E20 dapat diuji untuk mengetahui batas campuran bioetanol yang masih sesuai digunakan pada sepeda motor injeksi.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Badan Pusat Statistik, Statistik Transportasi Darat 2024, Katalog 8302004, No. Publikasi 06100.25049. Jakarta: Badan Pusat Statistik, 2025.
- [2] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 8 Tahun 2023 tentang Penerapan Baku Mutu

- Emisi Kendaraan Bermotor Kategori M, Kategori N, Kategori O, dan Kategori L. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2023.
- [3] 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.
- [4] A. Rimkus, S. Pukalskas, G. Mejeras, and S. Nagurnas, "Impact of bioethanol concentration in gasoline on SI engine sustainability," *Sustainability*, vol. 16, no. 6, Art. no. 2397, 2024, doi: 10.3390/su16062397.
- [5] M. Gajewski, S. Wyrąbkiewicz, and J. Kaszkowiak, "Effects of ethanol–gasoline blends on the performance and emissions of a vehicle spark-ignition engine," *Energies*, vol. 18, no. 13, Art. no. 3466, 2025, doi: 10.3390/en18133466.
- [6] O. A. Odunlami, O. K. Oderinde, F. A. Akeredolu, J. A. Sonibare, O. R. Obanla, and M. E. Ojewumi, "The effect of air-fuel ratio on tailpipe exhaust emission of motorcycles," *Fuel Communications*, vol. 11, Art. no. 100040, 2022, doi: 10.1016/j.jfueco.2021.100040.
- [7] 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.
- [8] D. Purnama, A. Arif, E. Alwi, and T. Sugiarto, "Analisis penggunaan bahan bakar campuran Pertalite dengan bioetanol dari tebu terhadap konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang pada sepeda motor injeksi," *MSI Transaction on Education*, vol. 4, no. 3, pp. 123–134, 2023, doi: 10.46574/mted.v4i3.117.
- [9] M. P. Pasaribu, H. Maksum, 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.
- [10] D. Utari, A. H. Daulay, and Masthura, "Optimasi waktu fermentasi untuk peningkatan kualitas bioetanol dari limbah ampas tebu," *Jurnal Redoks*, vol. 9, no. 1, pp. 17–22, 2024, doi: 10.31851/redoks.v9i1.14160.
- [11] S. T. Mgeni, L. A. Mtashobya, and J. K. Emmanuel, "Bioethanol production from pineapple fruit waste juice using bakery yeast," *Heliyon*, vol. 10, no. 19, Art. no. e38172, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e38172.
- [12] D. Novelia, A. Y. Putra, and Y. Sari, "Pemanfaatan berbagai macam limbah menjadi bioetanol sebagai bahan bakar alternatif," *Jurnal Kimia Mulawarman*, vol. 20, no. 1, pp. 39–46, 2022, doi: 10.30872/jkm.v20i1.1130.
- [13] C. R. Utami, H. T. Palupi, and Ernawati, "Produksi bioetanol dari hidrolisat ampas tebu sistem selulase *B. subtilis* dengan variasi waktu dan jenis inokulum," *Indonesian Sugar Research Journal*, vol. 4, no. 2, pp. 80–92, 2024, doi: 10.54256/isrj.v4i2.130.
- [14] E. S. Yusmartini, Mardwita, and J. Marza, "Bioethanol from pineapple peel with variation of *Saccharomyces cerevisiae* mass and fermentation time," *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, vol. 6, no. 3, pp. 103–108, 2021, doi: 10.24845/ijfac.v6.i3.103.
- [15] M. P. Sasongko and A. Setiyono, "Inovasi Pertalite dan bioetanol dari *Borassus flabellifer* Linnaeus," *Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi*, vol. 58, no. 3, pp. 127–136, 2024, doi: 10.29017/LPMGB.58.3.1695.
- [16] Zubair, P. Saksono, and M. Ferdnians, "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.

- [17] R. Akbar, W. Weriana, R. A. Siroj, and M. W. Afgani, "Experimental research dalam metodologi pendidikan," *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, vol. 9, no. 2, pp. 465–474, 2023, doi: 10.5281/zenodo.7579001.