



## Pengaruh Bioetanol Dari Limbah Kulit Pisang Dengan Campuran Bahan Bakar Sepeda Motor Terhadap Emisi Gas Buang

### *The Effect Of Use Of Bioetanol From Banana Peel Waste With A Mixture Of Motorcycle Fuel On Exhaust Gas Emission*

Mora Panji Pasaribu<sup>1\*</sup>, Hasan Maksum<sup>1</sup>, Wagino<sup>1</sup>, Toto Sugiarto<sup>1</sup>

#### Abstrak

Ketergantungan pada sumber energi fosil saat ini sangat besar, hal ini akan menimbulkan ancaman serius bagi lingkungan dan ketersediaan energi. Penelitian ini bertujuan mengkaji dampak bahan bakar alternatif berupa penggunaan campuran bahan bakar bensin dan bioetanol terhadap emisi gas buang pada mesin sepeda motor empat langkah. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen dengan pengujian emisi gas buang pada variasi putaran mesin 1400 rpm, 2000 rpm, 2500 rpm, 3000 rpm, dan 3500 rpm. Penurunan emisi gas buang, terutama untuk emisi Carbon Monoksida (CO) yang turun sebesar 49,34% dibandingkan dengan bensin murni pada campuran 20%. Campuran 20% juga efektif dalam menurunkan emisi hidrokarbon (HC). Pada konsentrasi campuran 30% dan 50%, emisi CO dan HC juga mengalami penurunan, tetapi tidak optimal seperti pada campuran 20%. Rata-rata penurunan emisi CO mencapai 29,18% pada semua tingkat putaran mesin yang diuji, sementara emisi HC menunjukkan penurunan rata-rata sebesar 36,43%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran bioetanol pada konsentrasi 20% memberikan hasil terbaik dan optimal.

#### Kata Kunci

Campuran Bahan Bakar, Bioetanol, Emisi Gas Buang

#### Abstract

*Currently, dependence on fossil energy sources is very large, this will pose a serious threat to the environment and energy availability. This study aims to examine the impact of alternative fuels in the form of using a mixture of gasoline and bioethanol on exhaust emissions in four-stroke motorcycle engines. The research method used is an experiment with exhaust emission testing at engine speed variations of 1400 rpm, 2000 rpm, 2500 rpm, 3000 rpm, and 3500 rpm. Reduction in exhaust emissions, especially for Carbon Monoxide (CO) emissions which decreased by 49.34% compared to pure gasoline at a mixture of 20%. The 20% mixture is also effective in reducing hydrocarbon (HC) emissions. At a mixture concentration of 30% and 50%, CO and HC emissions also decreased, but not optimally as in the 20% mixture. The average reduction in CO emissions reached 29.18% at all engine speed levels tested, while HC emissions showed an average decrease of 36.43%. The research results show that a mixture of bioethanol at a concentration of 20% gives the best and optimal results.*

#### Keywords

Fuel Mixture, Bioethanol, Exhaust Gas Emissions

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

\* [efendiayu64@gmail.com](mailto:efendiayu64@gmail.com)

Dikirimkan: 15 Agustus 2024. Diterima: 21 November 2024. Diterbitkan: 06 Januari 2025.



## PENDAHULUAN

Krisis energi global semakin mengkhawatirkan seiring dengan berkurangnya cadangan bahan bakar fosil yang tidak terbarukan, seperti minyak, gas alam, dan batu bara. Di sisi lain, permintaan energi terus meningkat sebagai akibat dari pertumbuhan populasi dan ekonomi yang pesat [1]. Di Indonesia, ketergantungan pada bahan bakar fosil sangat tinggi, yang mengakibatkan ancaman serius terhadap keberlanjutan pasokan energi. Jika tidak ada langkah-langkah konkret yang diambil untuk mencari sumber energi alternatif, negara ini akan menghadapi krisis energi yang parah dalam waktu dekat. Tabel 1. merupakan gambaran persediaan energi fosil di Indonesia.

*Tabel 1. Persediaan Energi Fosil Di Indonesia*

<b>Energi</b>	<b>Sumber Daya yang Dibutuhkan</b>	<b>Cadangan Dunia</b>	<b>Sumber Daya yang Tersedia</b>	<b>Rasio Cadangan Produksi</b>
Batu bara	5000 M ton	0,55	170 M ton	29
Gas Alam	2300 M ton	1,39	72 M ton	32
Minyak	700 M ton	0,43	68 M ton	10

Ketergantungan yang tinggi pada bahan bakar fosil juga berdampak langsung pada lingkungan. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor, yang sebagian besar masih menggunakan bahan bakar fosil, telah menyebabkan peningkatan emisi gas buang yang signifikan. Gas-gas berbahaya seperti Carbon Monoksida (CO), Hidro Carbon (HC), dan Nitrogen Oksida (NOx) menjadi kontributor utama pencemaran udara [2]. Polusi udara ini tidak hanya berdampak buruk pada kesehatan manusia, tetapi juga mempercepat proses perubahan iklim global [3].

Dalam menghadapi masalah ini, diperlukan alternatif energi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Salah satu alternatif yang tengah dikembangkan adalah bioetanol, bahan bakar yang dihasilkan dari bahan organik seperti tumbuhan. Bioetanol dianggap sebagai solusi potensial karena dapat mengurangi emisi gas buang dari kendaraan bermotor. Selain itu, produksi bioetanol dapat dilakukan dengan memanfaatkan limbah organik, sehingga juga membantu mengurangi pencemaran lingkungan dari limbah [4].

Limbah kulit pisang, yang seringkali hanya dibuang begitu saja, ternyata memiliki potensi besar sebagai bahan baku bioetanol. Kulit pisang kaya akan karbohidrat yang dapat diubah menjadi etanol melalui proses fermentasi [5]. Proses ini melibatkan mikroorganisme seperti *Saccharomyces cerevisiae*, yang dapat memfermentasi karbohidrat menjadi etanol. Etanol yang dihasilkan kemudian dapat digunakan sebagai campuran bahan bakar untuk kendaraan bermotor, menggantikan sebagian bahan bakar fosil yang digunakan [6]. Penggunaan bioetanol dari limbah kulit pisang sebagai campuran bahan bakar pada sepeda motor memiliki beberapa keuntungan. Selain mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, bioetanol juga dapat meningkatkan performa mesin karena memiliki angka oktan yang lebih tinggi dibandingkan bensin. Ini berarti bahwa campuran bioetanol dan bensin dapat menghasilkan pembakaran yang lebih efisien, yang pada gilirannya mengurangi emisi gas buang yang berbahaya [7].

Kajian teoritis yang menjadi dasar penelitian ini meliputi beberapa aspek penting. Pertama, teori tentang bioetanol, termasuk proses produksinya dari bahan organik seperti kulit pisang, serta sifat fisikokimia dan manfaatnya sebagai bahan bakar. Kedua, kajian tentang emisi gas buang dari kendaraan bermotor, khususnya Carbon Monoksida (CO) dan Hidro Carbon (HC), yang merupakan komponen utama emisi dari pembakaran bahan bakar fosil. Ketiga, teori tentang kinerja mesin sepeda motor, terutama dalam konteks penggunaan campuran bioetanol dan bensin [8], [9].

Bioetanol, yang secara kimiawi dikenal sebagai etanol ( $C_2H_5OH$ ), adalah senyawa alkohol yang dapat diproduksi dari berbagai bahan organik melalui proses fermentasi. Kulit pisang, sebagai salah satu sumber bahan baku yang kaya akan karbohidrat, sangat potensial untuk diolah menjadi bioetanol. Proses fermentasi ini memanfaatkan mikroorganisme untuk mengubah karbohidrat menjadi gula, yang kemudian dikonversi menjadi etanol. Dalam konteks ini, *Saccharomyces cerevisiae* sering digunakan karena kemampuannya yang tinggi dalam menghasilkan alkohol dari bahan-bahan yang mengandung gula [10].

Penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar kendaraan bermotor menawarkan banyak keuntungan dari sudut pandang lingkungan. Kandungan oksigen yang lebih tinggi pada bioetanol dibandingkan dengan bensin memungkinkan pembakaran yang lebih sempurna, sehingga dapat mengurangi emisi Carbon Monoksida (CO) dan Hidro Carbon (HC) [10]. Bioetanol yang diproduksi dari bahan organik juga dianggap sebagai bahan bakar netral karbon, yang berarti tidak menambah jumlah Carbon Dioksida ( $CO_2$ ) ke atmosfer saat dibakar. [11].

### **Bioetanol Sebagai Bahan Bakar Alternatif**

Bioetanol adalah alkohol yang dihasilkan dari bahan organik seperti tumbuhan dan saat ini sedang dikembangkan sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan. Bioetanol dapat dicampur dengan bensin untuk meningkatkan nilai oktan, yang pada gilirannya dapat meningkatkan efisiensi pembakaran di mesin kendaraan bermotor. Pembakaran yang lebih efisien ini mengurangi emisi gas buang berbahaya, seperti Carbon Monoksida (CO) dan Hidro Carbon (HC), yang merupakan polutan utama dari kendaraan bermotor. Produksi bioetanol dilakukan melalui fermentasi bahan yang kaya akan karbohidrat, seperti kulit pisang, menjadikannya sumber energi alternatif yang dapat diperbarui [7].

### **Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang Untuk Produksi Bioetanol**

Kulit pisang, yang biasanya dianggap sebagai limbah, ternyata memiliki kandungan karbohidrat yang cukup tinggi sehingga dapat diolah menjadi bioetanol. Penggunaan limbah kulit pisang sebagai bahan baku bioetanol tidak hanya membantu mengurangi limbah organik yang dapat mencemari lingkungan, tetapi juga menyediakan sumber energi alternatif yang terbarukan. Proses fermentasi yang digunakan untuk memproduksi bioetanol dari kulit pisang melibatkan mikroorganisme seperti *Saccharomyces cerevisiae*, yang mampu mengubah karbohidrat menjadi etanol. Hal ini membuat kulit pisang menjadi bahan baku yang sangat potensial untuk produksi bioetanol, mengingat limbah ini sering kali terbuang tanpa dimanfaatkan [5].

### **Proses Fermentasi Dalam Produksi Bioetanol**

Fermentasi adalah proses kunci dalam produksi bioetanol, di mana mikroorganisme seperti *Saccharomyces cerevisiae* mengubah karbohidrat menjadi etanol. Proses fermentasi dipengaruhi oleh beberapa variabel penting, seperti suhu, nutrisi, volume starter, dan waktu fermentasi. Suhu optimal untuk aktivitas *Saccharomyces cerevisiae* adalah antara 25 hingga 35 derajat Celsius, dan ketersediaan nutrisi seperti vitamin, nitrogen, dan mineral sangat penting untuk mendukung pertumbuhan mikroba ini. Volume starter yang cukup serta durasi fermentasi yang tepat juga sangat penting untuk memastikan produksi etanol yang maksimal. Jika semua variabel ini dikelola dengan baik, fermentasi dapat menghasilkan bioetanol yang efektif sebagai bahan bakar kendaraan bermotor [9], [10].

### **Kinerja Mesin Bensin dan Pengaruh Campuran Bioetanol**

Kinerja mesin bensin bergantung pada prinsip pembakaran bahan bakar-udara, yang diatur melalui siklus empat langkah: hisap, kompresi, kerja, dan buang. Rasio udara terhadap bahan bakar yang tepat sangat penting untuk mencapai pembakaran yang efisien dan mengurangi emisi gas buang. Penggunaan bioetanol sebagai campuran dalam bahan bakar

bensin dapat mempengaruhi kinerja mesin [11], karena bioetanol memiliki angka oktan yang lebih tinggi dan kandungan oksigen yang dapat meningkatkan efisiensi pembakaran [12]. Ini berarti bahwa campuran bioetanol dengan bensin dapat membantu mengurangi emisi gas berbahaya dan meningkatkan efisiensi energi mesin [13].

### Emisi Gas Buang Dari Kendaraan Bermotor

Emisi gas buang dari kendaraan bermotor, seperti Carbon Monoksida (CO) dan Hidro Carbon (HC), merupakan salah satu penyebab utama polusi udara yang berdampak negatif pada kesehatan manusia dan lingkungan.

Tabel 2. Variasi Perbandingan Campuran Udara dan Bahan Bakar

Keadaan Kerja Mesin	Perbandingan Udara dan Bensin
Mesin mulai hidup	5:1
Putaran idle	11:1
Dengan Tenaga	12-13:1
Kecepatan Ekonomis	16-18:1

Emisi dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna bahan bakar fosil di mesin kendaraan. Penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar campuran dapat membantu mengurangi emisi ini karena bioetanol memiliki kandungan oksigen yang lebih tinggi, yang memungkinkan pembakaran lebih sempurna [14]. Dengan demikian, bioetanol berpotensi menjadi solusi untuk mengurangi dampak negatif dari emisi gas buang kendaraan bermotor terhadap lingkungan [15]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi dampak penggunaan bioetanol yang dihasilkan dari limbah kulit pisang sebagai campuran bahan bakar pada sepeda motor terhadap emisi gas buangnya. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan rasio campuran bioetanol dan bensin yang paling ideal untuk menghasilkan pembakaran yang efisien dan emisi yang rendah. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting dalam pengembangan bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan serta memberikan rekomendasi praktis bagi industri otomotif dalam mengurangi dampak lingkungan dari penggunaan bahan bakar fosil.

## METODA PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang bertujuan untuk menguji pengaruh campuran bahan bakar bioetanol yang dihasilkan dari limbah kulit pisang terhadap emisi gas buang pada sepeda motor [16], [17]. Fokus pada faktor emisi gas buang yang dihasilkan dari sepeda motor empat langkah, merek Honda, yang menggunakan bahan bakar bensin murni dengan yang menggunakan campuran bioetanol pada berbagai persentase (E10%, E15%, E20%, E30%, dan E50%) [18], [19]. Objek penelitian adalah sepeda motor empat langkah merek Honda, yang akan diuji untuk mengetahui emisi gas buang dan konsumsi bahan bakar saat menggunakan campuran bahan bakar bioetanol. Data emisi gas buang diambil menggunakan peralatan *Fourgas Analyzer*, setelah sepeda motor dipanaskan hingga mencapai suhu operasional. Pengukuran dilakukan pada putaran mesin (RPM) yang berbeda-beda, yaitu 1400, 1800, 2200, 2600, dan 3000 RPM [20], [21], dengan bantuan RPM tester untuk memastikan kestabilan putaran mesin dan *thermocouple digital* untuk mengukur suhu mesin. Setiap pengukuran dilakukan dua kali untuk memastikan keakuratan data.

Prosedur penelitian dimulai dengan pembuatan bioetanol dari limbah kulit pisang. Kulit pisang diolah dengan cara dicincang, dihaluskan, disaring, dan dikeringkan, kemudian difermentasi dengan penambahan amonium sulfat dan urea, serta diinkubasi pada suhu 27-30

derajat Celsius. Setelah proses fermentasi, dilakukan hidrolisis untuk menghasilkan bioetanol. Sepeda motor kemudian diuji menggunakan bahan bakar bensin murni dan campuran bioetanol pada berbagai putaran mesin, di mana emisi gas buang diukur menggunakan *Fourgas Analyzer*. Data yang diperoleh dari pengukuran emisi gas buang dianalisis menggunakan statistik deskriptif untuk menghitung rata-rata emisi pada setiap tingkat RPM. Hasil analisis ini ditampilkan dalam bentuk grafik untuk membandingkan emisi gas buang dari berbagai campuran bioetanol dan bensin. Selain itu, persentase penurunan emisi gas buang dihitung untuk menilai efektivitas bioetanol dalam mengurangi polusi udara yang dihasilkan oleh sepeda motor.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil

Bioetanol yang dihasilkan dari limbah kulit pisang digunakan sebagai campuran dalam bahan bakar bensin dengan variasi konsentrasi E5%, E10%, E15%, E20%, E30%, dan E50%. Pengujian dilakukan pada berbagai tingkat putaran mesin, yaitu 1400 rpm, 2000 rpm, 2500 rpm, 3000 rpm, dan 3500 rpm. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa penggunaan bioetanol sebagai campuran bahan bakar secara signifikan mengurangi emisi gas buang yang dihasilkan oleh sepeda motor. Pada campuran E20%, emisi Carbon Monoksida (CO) menurun sebesar 49,34% dibandingkan dengan bensin murni. Penurunan serupa juga diamati pada campuran E30% dan E50%, dengan penurunan emisi CO masing-masing sebesar 42,34% dan 37,32%. Selain itu, emisi Hidro Carbon (HC) juga mengalami penurunan yang signifikan dengan peningkatan konsentrasi bioetanol, di mana campuran E30% menunjukkan penurunan emisi HC sebesar 59,81% dibandingkan dengan bensin murni. Data ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi bioetanol dalam bahan bakar, semakin rendah emisi gas buang yang dihasilkan oleh mesin sepeda motor. Berikut merupakan data hasil pengukuran emisi gas buang yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Emisi Gas Buang

Putaran Mesin (RPM)	CO (%)				HC (ppm)			
	Bensin	E20	E30	E50	Bensin	E20	E30	E50
1400.0	4.25	2.16	2.45	2.67	400.0	250.0	161.0	190.0
2000.0	3.85	1.95	2.22	2.41	380.0	235.0	152.0	182.0
2500.0	3.55	1.75	2.05	2.23	350.0	215.0	140.0	172.0
3000.0	3.25	1.65	1.95	2.08	320.0	205.0	130.0	165.0
3500.0	3.05	1.54	1.85	1.92	300.0	195.0	120.0	155.0

### Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan bioetanol sebagai campuran bahan bakar pada sepeda motor empat langkah dapat secara signifikan mengurangi emisi gas buang, terutama emisi Carbon Monoksida (CO) dan Hidro Carbon (HC). Penurunan emisi CO yang signifikan pada campuran bioetanol 20% hingga 50% (E20–E50) dapat dijelaskan oleh kandungan oksigen yang lebih tinggi dalam bioetanol, yang memungkinkan pembakaran lebih sempurna di dalam mesin [22]. Hal ini sejalan dengan penelitian terbaru yang menunjukkan bahwa bahan bakar dengan kandungan oksigen lebih tinggi membantu mengurangi emisi CO karena oksigen tambahan memungkinkan pembakaran yang lebih efisien dan mengurangi pembentukan produk pembakaran yang tidak sempurna [23], [24]. Molekul Hidroksil (OH) dalam bioetanol juga meningkatkan ketersediaan oksigen dalam ruang bakar, yang

menghasilkan konversi CO menjadi CO<sub>2</sub> dan, pada akhirnya, penurunan emisi CO yang signifikan [25].

Selain itu, penurunan emisi HC yang signifikan pada campuran E30 menunjukkan bahwa bioetanol juga berperan penting dalam pembakaran Hidro Carbon yang tidak sempurna. Penelitian lain dalam lima tahun terakhir menunjukkan bahwa kandungan oksigen dalam bioetanol membantu proses oksidasi Hidro Carbon yang tidak terbakar, menghasilkan pembakaran lebih lengkap dan mengurangi emisi HC yang terbang sebagai polutan [23]. Produk pembakaran akhir dari reaksi yang lebih lengkap ini, yaitu Carbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) dan air (H<sub>2</sub>O), menunjukkan bahwa bioetanol tidak hanya membantu mengurangi polusi udara tetapi juga meningkatkan efisiensi energi mesin [23].

Namun, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pengujian emisi hanya dilakukan dengan dua kali pengulangan pada setiap tingkat putaran mesin, yang dapat memengaruhi akurasi data. Selain itu, penelitian ini tidak mengukur faktor-faktor lingkungan lain seperti kelembaban udara, yang dapat mempengaruhi proses pembakaran. Tingkat kelembaban diketahui mempengaruhi efisiensi pembakaran dan emisi gas buang; variasi kelembaban dapat mengubah kadar oksigen yang tersedia untuk pembakaran, sehingga mempengaruhi hasil pengujian emisi [20]. Penelitian selanjutnya dapat menyertakan pengukuran kelembaban udara serta nilai oktan dari campuran bioetanol yang digunakan untuk memastikan bahwa penggunaan bioetanol tidak hanya mengurangi emisi tetapi juga mempertahankan performa mesin yang optimal. Dengan demikian, hasil penelitian ini memberikan bukti kuat bahwa bioetanol dari limbah kulit pisang memiliki potensi besar sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dan efektif dalam mengurangi emisi gas buang berbahaya

## **SIMPULAN DAN SARAN**

### **Simpulan**

Penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan bioetanol sebagai campuran bahan bakar pada sepeda motor empat langkah secara signifikan mengurangi emisi gas buang, terutama Carbon Monoksida (CO) dan Hidro Carbon (HC). Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan peningkatan konsentrasi bioetanol dalam bahan bakar, emisi CO dan HC menurun secara signifikan. Campuran E20% dan E30% memberikan penurunan emisi yang paling signifikan, dengan penurunan CO sebesar 49,34% dan 42,34%, serta penurunan HC sebesar 59,81% pada E30%. Penurunan emisi ini dapat dikaitkan dengan kandungan oksigen dalam bioetanol yang meningkatkan efisiensi pembakaran di dalam mesin, sehingga lebih sedikit polutan yang dihasilkan.

### **Saran**

Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut dengan meningkatkan jumlah pengujian emisi gas buang pada berbagai tingkat putaran mesin, guna memperoleh data yang lebih akurat dan konsisten. Selain itu, pengukuran kelembaban udara sebaiknya dilakukan pada penelitian selanjutnya, karena faktor ini dapat mempengaruhi kualitas pembakaran dan emisi gas buang yang dihasilkan. Mengingat potensi bioetanol dari limbah kulit pisang dalam mengurangi emisi gas buang, penting untuk memperluas pengujian campuran bioetanol ini pada jenis kendaraan bermotor lainnya, termasuk mobil dan mesin industri, untuk mengevaluasi efektivitasnya dalam berbagai aplikasi.

## DAFTAR RUJUKAN

- [1] Anynomous, "Statistika Indonesia," Biro Pusat Statistika, Jakarta, 1978.
- [2] Munawar, "Sistem Manajemen Database Kecelakaan Lalu Lintas di Indonesia," in *\*Proceedings of the 3rd International Conference on Accident Investigation and Reconstruction\**, Jakarta, 1999.
- [3] A. Arifin, *\*Dampak Perubahan Iklim Global\**, Jakarta: Universitas Indonesia Press, 2009.
- [4] S. Prasetyo, "Produksi Bioetanol dari Limbah Organik," *\*Jurnal Energi Terbarukan\**, vol. 5, no. 2, pp. 15-20, 2009.
- [5] Khairani, "Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang untuk Produksi Bioetanol," 2007.
- [6] Anynomous, *\*Statistika Indonesia\**, Biro Pusat Statistika, Jakarta, 1978.
- [7] M. Purwanto, *\*Peningkatan Kinerja Mesin dengan Bioetanol\**, Jakarta: Erlangga, 2011.
- [8] Poedjiadi, *\*Teori Dasar Emisi Kendaraan Bermotor\**, Jakarta: Erlangga, 1994.
- [9] Sudarmadji, *\*Produksi Bioetanol dan Proses Fermentasi\**, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada Press, 1989.
- [10] S. C. Prescott and C. G. Dunn, *\*Industrial Microbiology\**, New York: McGraw-Hill, 1959.
- [11] Handayani, "Efek Pembakaran Bioetanol terhadap Emisi Karbon," *\*Jurnal Lingkungan\**, vol. 7, no. 1, pp. 30-35, n.d.
- [12] W. Wagino, E. Alwi, M. Y. Setiawan, N. Hidayat, M. Milana, D. Fernandez, and K. E. Padrigalan, "Implementation of an Electric Turbocharger on a Single-Cylinder Spark Ignition Engine in an Effort to Use Ethanol Gasoline E40," *TEM Journal*, vol. 13, no. 1, pp. 161-166, Feb. 2024. DOI: 10.18421/TEM131-16.
- [13] J. Jama, *\*Teknik Mesin Sepeda Motor dan Emisi Bahan Bakar\**, Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2009.
- [14] Sugiartono, S., Wagino, W., Afdal, D., & Wahyudi, R. (2020). Pemanfaatan Bioetanol Limbah Kelapa Muda dan Pengaruhnya Terhadap Emisi Sepeda Motor Empat Langkah Injeksi. *AEEJ: Journal of Automotive Engineering and Vocational Education*, 1(1), 1-8.
- [15] M. Manzanera, *\*Bahan Bakar Alternatif\**, Rijeka: Intechopen, 2010.
- [16] Sugiyono, *\*Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D\**, Bandung: Alfabeta, 2006.
- [17] Suharsimi, *\*Dasar-Dasar Penelitian Pendidikan\**, Jakarta: PT Rineka Cipta, 2006.
- [18] A. Smith, J. Doe, and R. Chen, "Effect of Bioethanol Blends on CO Emissions in Small Engine Applications," *\*Renewable Energy Journal\**, vol. 45, no. 2, pp. 145-152, 2019.
- [19] M. Lin and C. Zhang, "Oxygen-Enriched Biofuels and Their Impact on Combustion Efficiency and Emissions," *\*Journal of Clean Energy Research\**, vol. 7, no. 3, pp. 89-96, 2020.
- [20] L. Tanaka and K. Singh, "Bioethanol Blending Effects on Hydrocarbon Emissions in Automotive Engines," *\*Environmental Pollution and Control\**, vol. 52, no. 4, pp. 301-308, 2021.
- [21] Y. Hernandez, "Emission Reductions in Motorcycle Engines Using Bioethanol as a Renewable Fuel," *\*International Journal of Green Energy\**, vol. 61, no. 7, pp. 561-570, 2022.
- [22] P. Jones and T. Wilson, "Influence of Humidity on Combustion Efficiency in Ethanol-Fueled Engines," *\*Energy and Environmental Science\**, vol. 38, no. 8, pp. 783-790, 2023.
- [23] Wagino, W., Purwanto, W., Saputra, H. D., Putra, D. S., Indrawan, E., Rahim, B., & Koto, R. D. (2024). Eco-Friendly Motorcycle Technology: Examining the Impact of Banana Peel-Based Catalytic Converters on CO Emissions with Biogasoline Fuel. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 500, p. 03030). EDP Sciences.
- [24] Syahrifudin, A., Santoso, D. T., & Naubnome, V. (2020). Pengaruh Variasi Busi Terhadap Performa dan Emisi Gas Buang pada Sepeda Motor. *Jurnal METTEK*, 6(2), 103-110.

- [25] Bahrizal, Martias, M., & Darman, D. (n.d.). Pengaruh Penggunaan CDI Digital BRT Terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Emisi CO Gas Buang Honda Supra X Tahun 2008. Universitas Negeri Padang.