



## Optimasi pada Sepeda Motor FI penggunaan ECU *Programmable* dan Campuran *Ethanol* terhadap Emisi Gas Buang dengan Metode Taguchi

### *Optimization on FI Motorcycle using Programmable ECU and Ethanol Mixture on Exhaust Emission with Taguchi Method*

Akmal Gunawan<sup>1\*</sup>, Wawan Purwanto<sup>1</sup>, Toto Sugiarto<sup>1</sup>, Ahmad Arif<sup>1</sup>.

#### Abstrak

Penelitian ini mengkaji tentang perubahan kadar nilai pada CO dan HC yang didapat dari emisi gas buang, sepeda motor FI memakai ECU *Programmable* (3 variasi perlakuan pada saat penginjeksian dan saat pengapian) penggunaan 3 jenis busi dan 3 jenis campuran *ethanol* di setiap pengujian. Penelitian bertujuan untuk mengetahui hasil optimal pada pengujian terhadap emisi gas buang yang dihasilkan sepeda motor. Penelitian ini berjenis eksperimen dengan metode taguchi. Objek penelitian ini adalah sepeda motor FI. Dengan hasil penelitian, karbon monoksida (CO) dengan respon rata-rata optimal yaitu faktor A2 (2,59%), B3 (2,81%), C1 (2,67%), dan D3 (1,63%), sedangkan respon rata-rata optimal hidrokarbon (HC) yaitu faktor A2 (257,33ppm), B3 (252,44ppm), C3 (295,22ppm), dan D3 (230,89ppm).

#### Kata Kunci

Emisi, ECU *Programmable*, Campuran *Ethanol*, Metode Taguchi

#### Abstract

*This study examines the changes in CO and HC values obtained from exhaust emissions, FI motorcycles using Programmable ECU (3 variants of treatment at the time of injection and at the time of ignition) using 3 types of spark plugs and 3 types of ethanol mixture in each test. The research aims to determine the optimal results in testing the exhaust emissions produced by motorcycles. This research is an experimental type with the Taguchi method. The object of this research is FI motorcycle. With the results of the study, carbon monoxide (CO) with the optimal average response is factor A2 (2.59%), B3 (2.81%), C1 (2.67%), and D3 (1.63%), while the optimal average response of hydrocarbons (HC) is factor A2 (257.33ppm), B3 (252.44ppm), C3 (295.22ppm), and D3 (230.89ppm).*

#### Keywords

*Emissions, Programmable ECU, Ethanol Blend, Taguchi Method*

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

\* [gunawanakmal00@gmail.com](mailto:gunawanakmal00@gmail.com)

Dikirimkan: 19 September 2023. Diterima: 19 Februari 2024. Diterbitkan: 22 Februari 2024.



## PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi saat ini meliputi sistem EFI (injeksi) dan karburator. Pembakaran yang lebih baik telah dicapai dengan menggunakan sistem EFI. EFI sepeda motor ini berbasis elektronik, yang berarti sinyal dari sensor ditransfer ke *Electronic Control Unit (ECU)* untuk mengelola sistem pengabutan bahan bakar secara elektronik. Diharapkan sistem EFI ini akan mengkonsumsi lebih sedikit bahan bakar dan menghasilkan tenaga yang lebih tinggi daripada sistem karburator[1].

Modifikasi pada mesin, sistem bahan bakar, sistem pemasukan udara, dan sistem pengapian selama proses pembakaran adalah beberapa metode yang digunakan untuk menurunkan tingkat polusi pada mobil. Sistem pada mobil EFI (Injeksi Bahan Bakar Elektronik) dapat diprogram sesuai kebutuhan dengan menggunakan sistem ECU yang dapat diprogram, yang diperlukan untuk melakukan tugas-tugas ini. Pasar purnajual menawarkan ECU yang dapat diprogram ulang, atau ECU tipe yang dapat diprogram memungkinkan untuk dilakukan pemrograman ulang pada sistem EFI (*Electronic Fuel Injection*) kendaraan.

Hasil penelitian terdahulu memberikan hasil penelitian berupa perubahan yang positif terhadap emisi gas buang pada saat pemakaian ECU *programmable*, saat pengapian (*ignition timing*)  $7^{\circ}$  BTDC dengan saat penginjeksian (*injector timing*)  $350^{\circ}$  ATDC serta memakai bahan bakar gasohol E30 didapat nilai CO sebesar 0,02% kadar CO<sub>2</sub> sebesar 8,80% kadar HC sebesar 480,3 ppm [2].

### Sistem Bahan Bakar Injeksi

Proses mengubah bahan bakar cair menjadi gas dan mencampurnya dengan udara, sistem injeksi bahan bakar, yang juga dikenal sebagai EFI (Injeksi Bahan Bakar Elektronik), menggunakan pompa bahan bakar yang beroperasi pada tekanan tertentu. Pompa bahan bakar biasanya diposisikan di ujung intake manifold selama langkah hisap, ketika katup intake terbuka, untuk memungkinkan udara yang masuk bercampur dengan bahan bakar[3].

### ECU Programmable

Penggunaan teknologi EFI akan memberikan pengguna memiliki pilihan untuk meningkatkan performa sepeda motor mereka, termasuk torsi, daya, dan konsumsi bahan bakar. Untuk meningkatkan performa pada sepeda motor EFI, maka dilakukan perubahan ECU standar menjadi ECU racing programmable. Untuk melakukan modifikasi ini, tabel memori ECU harus diubah sesuai dengan kebutuhan [4].

### Bahan Bakar

Bahan bakar bensin adalah bahan bakar yang paling umum digunakan pada sepeda motor karena merupakan persenyawaan hidrokarbon yang dibuat dari minyak bumi. Bahan bakar minyak yang kita kenal bukan hanya hasil refinery atau penyulingan minyak bumi, tetapi juga mengandung hidrkarbon. Oleh karena itu, bensin disebut sebagai hidrokarbon dengan oktan yang rendah [5]. Saat ini, ada beberapa jenis bahan bakar bensin yang tersedia di Indonesia. Bahan bakar premium memiliki oktan RON (Research Octane Number) 88, Peralite (RON 90), Pertamina (RON 92), dan Pertamina Turbo (RON 98) [6].

### Ethanol

Ethanol adalah bahan bakar yang dapat digunakan selain bensin. Ethanol termasuk energi yang dapat diperbaharui dari produk fermentasi pertanian seperti jagung, ubi kayu, tebu, dan lainnya. Dibandingkan dengan bahan bakar fosil, proses pembuatan ethanol lebih murah, memiliki unsur senyawa hidrokarbon yang lebih kecil sehingga menghasilkan polusi yang lebih rendah, dan memiliki angka oktan 111 yang memungkinkan rasio tinggi hingga 13:1. Selain itu, ethanol memiliki perbedaan dengan bensin karena ethanol termasuk dalam bahan bakar yang dioxigenasi, di mana setiap senyawanya mengandung 35% oksigen [7]. Dalam Emisi Gas Buang

Hasil penilaian siklus hidup yang ada di dalam literatur menunjukkan bahwa etanol berbasis jagung dapat menghasilkan lebih banyak CO<sub>2</sub> (ekuivalen) per MJ etanol dari pada etanol berbasis tebu. Sehingga bahan bakar dapat digunakan dalam mesin pembakaran yang lebih bersih [8].

### **Campuran Ethanol dan Bensin**

Pencampuran ethanol dengan bensin menghasilkan bioethanol. Ada keuntungan dari campuran ini karena ethanol cenderung meningkatkan jumlah oktan dan mengurangi emisi CO<sub>2</sub>. Namun, penggunaan campuran bensin dan ethanol yang tidak tepat dapat meningkatkan jumlah emisi gas buang [9]. pilihan campuran dari ethanol dan bensin secara langsung pada mesin bensin akan mengalami kesulitan pada saat terbakar, ethanol murni digunakan pada mesin akan sulit untuk dihidupkan [10].

### **Emisi Gas Buang**

Gas yang dilepaskan ke dalam ruang bakar sebagai hasil dari sebagian bahan bakar yang dikonsumsi dikenal sebagai emisi gas buang. Tiga elemen penting diperlukan untuk proses pembakaran: percikan api, campuran bahan bakar dan udara yang tepat, dan pembakaran. Jika salah satu dari persyaratan mendasar ini tidak terpenuhi, proses pembakaran tidak dapat dilanjutkan. Proses pembakaran yang ideal diperlukan untuk menciptakan gas buang yang ideal, yang terdiri dari uap air (H<sub>2</sub>O) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) [11].

Hidrokarbon (HC) adalah bahan bakar yang tidak terbakar yang dihasilkan oleh proses pembakaran yang tidak sempurna, minyak yang terdapat pada dinding ruang bakar, dan karbon. Karena sifatnya yang tidak terbakar, semakin tinggi emisi hidrokarbon akan mengurangi tenaga mesin dan meningkatkan penggunaan bahan bakar. Karena perbandingan udara dan bahan bakar yang tinggi saat mesin bekerja maka menghasilkan karbon monoksida (CO). Hal ini karena oksigen tidak dapat mengubah semua karbon dari bahan bakar menjadi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), jadi beberapa bagian bahan bakar tidak terbakar dan menghasilkan karbon monoksida (CO) [12].

## **METODA PENELITIAN**

Penelitian ini tergolong penelitian eksperimen, yaitu serangkaian tes yang dilakukan pada serangkaian variabel yang nilainya bervariasi sebagai respons terhadap perlakuan tertentu untuk memeriksa efek dari perubahan variabel tersebut [8]. menurut Dr. Genichi Taguchi, *Orthogonal Array* (OA) adalah alat yang berguna untuk desain eksperimen. Selain itu, ia menciptakan ide grafik linier, yang membuat perancangan studi OA menjadi lebih mudah. Ilmuwan dan insinyur tidak perlu menjadi ahli statistik untuk menggunakan desain ini. Manfaat utama dari desain ini adalah kemudahannya untuk beradaptasi dengan eksperimen yang lebih rumit yang melibatkan banyak elemen dengan berbagai tingkatan karena kesederhanaannya. Desain ini menghasilkan temuan yang dapat diulang dengan presisi yang memadai sekaligus memberikan informasi yang dibutuhkan dengan jumlah pengulangan yang paling sedikit. Metode ini biasanya digunakan untuk mempelajari efek utama dan diterapkan dalam percobaan penyaringan/percontohan [14].

Pada penelitian terdahulu [2], sepeda motor Honda Beat FI dijadikan objek penelitian. Dimana melanjutkan penelitian oleh [2]. Variabel Respon penelitian ini adalah emisi gas buang (*Karbon Monoksida dan Hidrokarbon*) kemudian variabel bebas pada penelitian ini yaitu: Busi (*Nikel, Iridium, Platinum*), Waktu Penginjeksian (*360°, 355°, 350°*), Waktu Pengapian (*5°, 7°, 9°*), Bioethanol (E10, E20, E30). Berikut pada Tabel 1. kode level faktor yang digunakan.

Tabel 1. Kode Level Faktor

Kode Faktor	Faktor	Kode Level		
		1	2	3
A	Busi	Nikel	Iridium	Platinum
B	Waktu Penginjeksian	360 <sup>o</sup>	355 <sup>o</sup>	350 <sup>o</sup>
C	Waktu Pengapian	5 <sup>o</sup>	7 <sup>o</sup>	9 <sup>o</sup>
D	Bioethanol	E10	E20	E30

Pada penelitian ini menggunakan empat faktor dan disetiap faktor mempunyai tiga level. Didapat dari jumlah faktor dan level yang ada sehingga *Matriks Orthogonal* yang digunakan adalah  $L_9(4^3)$  dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Matriks Orthogonal  $L_9(4^3)$ 

Order	Faktor			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil

Berikut data yang diperoleh kadar CO dan HC pada putaran *idle*, dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Hasil Uji Emisi Gas Buang CO

Hasil uji emisi CO									
Eksperimen	Faktor				Uji emisi CO (%)			Rata-rata	SNR
	A	B	C	D	R1	R2	R3		
1	1	1	1	1	7,81	6,75	3,85	6,14	-16,07
2	1	2	2	2	3,98	4,02	2,54	3,51	-11,08
3	1	3	3	3	3,98	2,68	1,57	2,74	-9,29
4	2	1	2	3	1,98	2,44	0,52	1,65	-5,29
5	2	2	3	1	4,35	5,17	4,79	4,77	-13,59
6	2	3	1	2	1,43	0,91	1,74	1,36	-2,94
7	3	1	3	2	4,59	4,34	4,24	4,39	-12,85
8	3	2	1	3	0,26	0,25	1,02	0,51	4,09
9	3	3	2	1	5,07	3,78	4,09	4,31	-12,77

Tabel 4. Hasil Uji Emisi Gas Buang HC

Hasil uji emisi HC									
Eksperimen	Faktor				Uji emisi HC (ppm)			Rata-rata	SNR
	A	B	C	D	R1	R2	R3		
1	1	1	1	1	765	563	305	544,33	-55,21
2	1	2	2	2	362	303	283	316,00	-50,04
3	1	3	3	3	284	255	208	249,00	-47,99
4	2	1	2	3	251	291	255	265,67	-48,51
5	2	2	3	1	299	298	328	308,33	-49,79
6	2	3	1	2	218	155	221	198,00	-46,03
7	3	1	3	2	357	302	326	328,33	-50,35
8	3	2	1	3	215	152	167	178,00	-45,11
9	3	3	2	1	388	251	292	310,33	-49,98

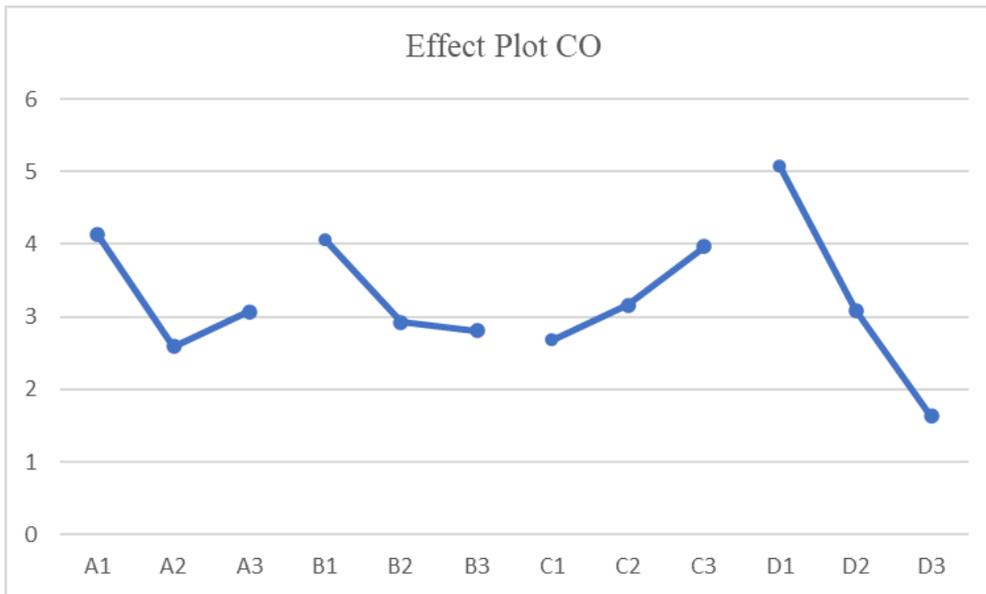
Tabel 5. Tabel Respon Rata-Rata CO

Eksperimen	Faktor (%)			
	A	B	C	D
Level 1	4,13	4,06	2,67	5,07
Level 2	2,59	2,93	3,16	3,09
Level 3	3,07	2,81	3,97	1,63
Max	4,13	4,06	3,97	5,07
Min	2,59	2,81	2,67	1,63
Diff	1,54	1,25	1,30	3,44
Rank	2	4	3	1
Optimal	A2	B3	C1	D3

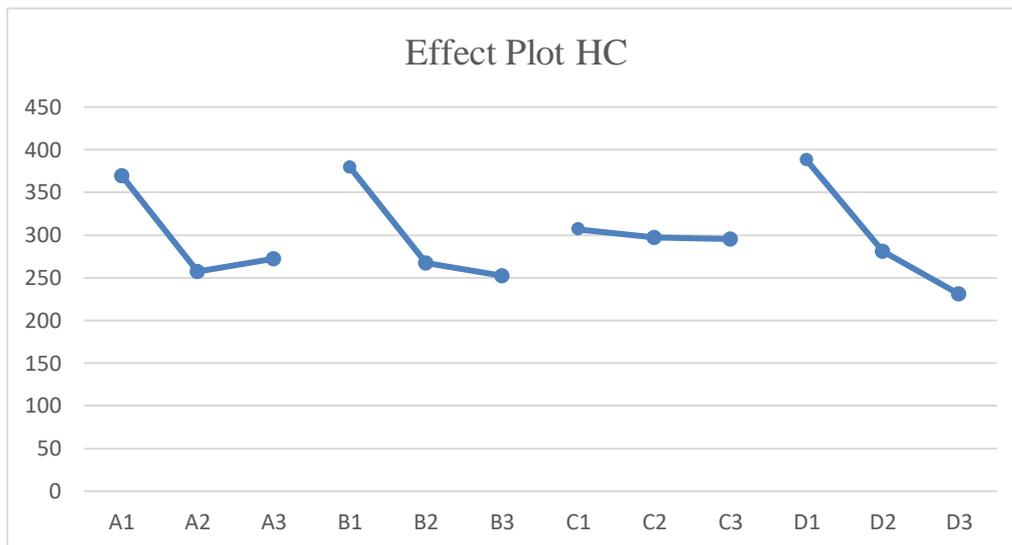
Tabel 6. Tabel Respon Rata-Rata HC

Eksperimen	Faktor (ppm)			
	A	B	C	D
Level 1	369,78	379,44	306,78	387,67
Level 2	257,33	267,44	297,33	280,78
Level 3	272,22	252,44	295,22	230,89
Max	369,78	379,44	306,78	387,67
Min	257,33	252,44	295,22	230,89
Diff	112,44	127,00	11,56	156,78
Rank	3	2	4	1
Optimal	A2	B3	C3	D3

Berdasarkan Tabel 5. dan Tabel 6. diperoleh kombinasi level faktor A2, B3, C3, D3. pada rancangan optimal hidrokarbon di kombinasi level faktor A2, B3, C3, D3. Sehingga mendapatkan data *effect plot* karbon monoksida dan hidrokarbon pada Gambar 1. dan Gambar 2.



Gambar 1. Grafik *Effect Plot* Karbon Monoksida



Gambar 2. Grafik *Effect Plot* Hidrokarbon

Dari tabel hasil penelitian maka diperoleh analisis varians pada Tabel 7. dan Tabel 8.

Tabel 7. ANOVA Karbon Monoksida

Tabel ANOVA						
Sumber	SS	DF	M	F ratio	SS'	Ratio (%)
A	11,16	2	5,58167037	5,98	9,30	9,49
B	8,56	2	4,279803704	4,59	6,69	6,83
C	7,75	2	3,873337037	4,15	5,88	6,00
D	53,67	2	26,83715926	28,76	51,81	52,90
e	16,80	18	0,933196296	1	24,26	24,77
SSt	97,94	26	3,766979772		97,94	100
Mean	287,79	1				
SSTotal	385,7349	27				

Tabel 8. ANOVA Hidrokarbon

Tabel ANOVA						
Sumber	SS	DF	M	F ratio	SS'	Ratio (%)
A	67147,56	2	33573,77778	4,63	52642,74	13,14
B	86694,00	2	43347	5,98	72189,19	18,02
C	681,56	2	340,7777778	0,0	-13823,26	-3,45
D	115480,22	2	57740,11111	7,96	100975,41	25,21
e	130543,33	18	7252,407407	1	188562,59	47,08
SSt	400546,67	26	15405,64103		400546,67	100
Mean	2426401,33	1				
SSTotal	282,6948	27				

Pada Tabel 7. dapat diketahui bahwa faktor D yang mempengaruhi karbon monoksida secara signifikan. Sedangkan pada Tabel 8. dapat diketahui bahwa faktor D yang mempengaruhi hidrokarbon secara signifikan.

**Uji Verifikasi**

Rancangan dianggap memadai jika eksperimen pada uji verifikasi dan prediksi kondisi optimum memiliki hasil yang dekat. Rancangan optimal dari karbon monoksida adalah A2, B3, C1, D3. Hasil prediksi pada rancangan optimal karbon monoksida sebagai berikut ini:

$\mu_{prediksi} = A2 + B3 + C1 + D3 - 2\bar{y} = 2,59 + 2,81 + 2,67 + 1,63 + 3 \cdot 3,26 = -0,09 \%$ . Untuk mengetahui rancangan optimal dari hidrokarbon adalah A2, B3, C3, D3. Hasil prediksi dari rancangan optimal hidrokarbon sebagai berikut ini:

$\mu_{prediksi} = A2 + B3 + C3 + D3 - 2\bar{y} = 257,33 + 252,44 + 295,22 + 230,89 + 3 \cdot 136,56 = 299,78$  ppm.

Hasil uji verifikasi karbon monoksida dan hidrokarbon pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil uji verifikasi

Tabel Hasil Uji Verifikasi		
Uji	Hidrokarbon (ppm)	Karbon Monoksida (%)
1	167	0,28
2	143	0,11
3	124	0,04
Rata-rata	144,6666667	0,143333333
Standar Deviasi	17,59419096	0,100774776
T hitung	0,798494036	4,086768602
T tabel	4,30265273	4,30265273

Untuk membandingkan data hasil uji verifikasi dan hasil prediksi maka dilakukan pengujian hipotesa sebagai berikut ini:

syarat penolakan  $H_0$  adalah  $|t_{hit}| > \frac{t_{\alpha}}{2}$ , db

$$t_{hit} = \left| \frac{y - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{3}}} \right|$$

$$t_{hit} = \frac{144,66 - 136,56}{\frac{17,59}{\sqrt{3}}}$$

$$t_{hit} = 0,79$$

untuk  $\alpha = 5\%$  dan  $db = 3-1 = 2$

$$t_{0,025,2} = 4,303$$

$|t_{hit}| < \frac{t_{\alpha}}{2}$ , db, hasil eksperimen hidrokarbon menerima  $H_0$  yang diketahui bahwa prediksi dan uji verifikasi memiliki hasil yang lebih rendah dari uji verifikasi.

$$t_{hit} = \frac{0,143 - -0,09}{\frac{0,100}{\sqrt{3}}}$$

$$t_{hit} = 4,08$$

$|t_{hit}| < \frac{t_{\alpha}}{2}$ , db, hasil eksperimen karbon monoksida  $H_0$  yang diketahui bahwa prediksi dan uji verifikasi memiliki hasil yang cukup dekat.

## Pembahasan

Berdasarkan pada data pengujian emisi gas buang CO dan HC memakai alat berupa gas *analyzer* yang telah dilakukan pada sepeda motor Beat FI yang menggunakan ECU Programmable berbagai perubahan saat penginjeksian (*injector timing*), saat pengapian (*ignition timing*), serta penggunaan campuran bahan bakar dengan ethanol maka telah didapatkan hasil rancangan yang optimal untuk objek penelitian ini.

Pada saat melakukan pengujian peneliti menemukan data dengan kombinasi pengujian busi iridium, waktu penginjeksian  $350^{\circ}$ , waktu pengapian  $5^{\circ}$ , dan biogasoline E20. Saat melakukan pengujian pada kombinasi tersebut *engine* mengalami brebet dikarenakan waktu penginjeksian yang dimundurkan dan menggunakan busi iridium serta biogasoline E20 yang menyebabkan ketidak seimbangan kinerja engine maka dapat disimpulkan variasi tersebut tidak direkomendasikan.

Uji verifikasi diperlukan untuk membandingkan uji prediksi dalam kondisi ideal dan memastikan apakah desain optimal yang ditemukan dalam penelitian ini sudah memadai atau belum. Uji prediksi optimal dalam penelitian ini adalah uji verifikasi hidrokarbon, dan uji prediksi optimal adalah uji verifikasi karbon monoksida. Kedua uji ini hasilnya memadai.

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Dilihat pada Tabel 5. dapat diketahui bahwa pada kombinasi pengujian yang optimal pada objek penelitian ini berdasarkan karbon monoksida adalah dengan memakai jenis busi iridium, waktu penginjeksian  $350^{\circ}$  (diperlambat  $10^{\circ}$ ), waktu pengapian  $5^{\circ}$ , dan biogasoline E30 (*ethanol* 30% : pertalite 70%). Berdasarkan pada tabel 6 dapat diketahui bahwa pada kombinasi pengujian yang optimal pada objek penelitian ini berdasarkan hidrokarbon adalah dengan memakai jenis busi iridium, waktu penginjeksian  $350^{\circ}$  (diperlambat  $10^{\circ}$ ), waktu pengapian  $9^{\circ}$  (dimajukan  $4^{\circ}$ ), dan biogasoline E30 (*ethanol* 30% : pertalite 70%).

Berdasarkan pada Tabel 7. didapatkan bahwa faktor yang paling berpengaruh terhadap karbon monoksida adalah faktor D sebesar 52,90%, faktor A 9,49%, faktor B 6,83%, dan faktor C 6,00%. Berdasarkan analisis varians pada tabel 8 didapatkan bahwa faktor yang paling berpengaruh terhadap hidrokarbon adalah faktor D sebesar 25,21%, faktor B 18,02%, faktor A 13,14%, dan faktor C -3,45%. Berdasarkan hasil uji verifikasi yang dilakukan dapat membuktikan bahwa penelitian ini cukup memadai.

### Saran

Fokus penelitian ini kepada optimasi sistem penginjeksian dan sistem pengapian serta jenis busi kemudian menggunakan campuran bahan bakar biogasoline terhadap emisi gas

buang CO dan HC pada sepeda motor Beat FI . Diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat melakukan penelitian terhadap performa lainnya.

#### DAFTAR RUJUKAN

- [1] M. A. Afwan and W. D. Rahardjo, "Pengaruh Penggunaan ECU standar dan ECU Juken Dengan Variasi Injektor Terhadap Torsi dan Daya Sepeda Motor Yamaha Vixion," *Automotive Science and Education Journal*, 2020.
- [2] Firmansyah, M. S., Purwanto, W., Maksum, H., Arif, A., & Setiawan, M. Y. (2023). Analisis Emisi Gas Buang (CO, CO<sub>2</sub> dan HC) pada Sepeda Motor FI dengan Variasi Saat Pengapian, Saat Penginjeksian dan Jenis Bahan Bakar. *JTPVI: Jurnal Teknologi dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, 1(2), 145-158.
- [3] Wahyu, D.H.2013. Sistem Bahan Bakar Pada Motor. Yogyakarta: Javalitera.
- [4] I. Ma'ruf, E. Marlina and N. Robbi, "Pengaruh ECU standar dan ECU racing Terhadap Performa Motor Bensin Yamaha Vixion 150 CC," *Jurnal Sains dan Teknologi Teknik Mesin Unisma*, 2023
- [5] Fanani, A.H. (2019). "Analisis Unjuk Kerja Mesin Dengan Bahan Bakar Kombinasi Bioetanol dan Pertalite Pada Sepeda Motor 4 Langkah". *Ilmiah Teknik Mesin: Vol. 4 No. 1*
- [6] Alief, Muhammad. (2022). "Pengaruh Nilai RON Pada Bahan Bakar Jenis Bensin terhadap Emisi Gas Buang". *Jurnal Penelitian: Vol. 6 No. 2*
- [7] Siswanto, Eko. (2022). "Studi Komparasi Motor Bakar 6 Tak Dengan Siklus Dua Kali Pengapian Menggunakan Bahan Bakar Pertamina dan Ethanol". *Rekayasa Mesin: Vol. 13 No.2.*
- [8] A. Z. Mendiburu, C. H. Lauermann, T. C. Hayashi, D. J. Mariños, R. B. R. d. Costa, C. J. Coronado, J. J. Roberts and J. A. d. Carvalh, "Ethanol as a renewable biofuel: Combustion characteristics and application in engines," *Energy*, vol. 257, 2022.
- [9] Chaniago, I. P., Purwanto, W., & Arif, A. (2023). Optimasi Sistem Pengapian Terhadap Emisi Gas Buang Sepeda Motor 4 Langkah Dengan Metode Taguchi. *JTPVI: Jurnal Teknologi dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, 1(2), 181-190.
- [10] Purwanto, W., Afif, F., Lapisa, R., Yuvenda, D., Setiawan, M. Y., & Saputra, H. D. (2022). Optimasi Penggunaan Jenis Busi, Oli, Dan Campuran Ethanol Bensin Terhadap Peningkatan Suhu Dan Jarak Tempuh Sepeda Motor 4 Langkah Dengan Metode Taguchi. *AEEJ: Journal of Automotive Engineering and Vocational Education*, 3(2), 79-92.
- [11] Amin, Bahrul & Ismet, Faisal. 2016. *Teknologi Motor Bensin*. Jakarta: Kencana.
- [12] Madagaskar. (2020). "Pengaruh Penambahan Bioetanol dari Mahkota Nanas Terhadap Emisi Gas Buang pada Mesin Motor 4 Langkah". *Program Studi Teknik Mesin UM Metro: Vol. 9 No. 2*
- [13] Setyanto, Nasir Widha & Lukodono, Rio Prasetyo. 2017. *Teori dan Aplikasi Desain Eksperimen Taguchi*. Malang: UB Press.
- [14] Sirwansyah, Zaldy Suzen. (2023). "Optimasi Variasi Jumlah Blade Inlet Turbo Pada Waterjet Thruster Mini Terhadap Gaya Dorong Menggunakan Metode Taguchi". *Teknik Mesin Unkhair: Vol. 8 No. 2*
- [15] N. W. Setyanto and R. P. Lukodono, *Teori dan Aplikasi Desain Eksperimen Taguchi*, Malang: UBPress, 2017.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan.