



Optimasi Variasi Rasio Kompresi, Derajat Pengapian, Busi Dan Biogasoline Terhadap Emisi Gas Buang Sepeda Motor Dengan Metode Taguchi

Optimization of Compression Ratio Variation, Ignition Timing, Spark Plug, and Biogasoline Variations on Motorcycles Exhaust Emissiond Using the Taguchi Method

Riko Saputra^{1*}, Wawan Purwanto¹, Ahmad Arif¹, M. Yasep Setiawan¹

Abstrak

Penelitian ini mengevaluasi performa mesin sepeda motor injeksi 4 langkah menggunakan variasi rasio kompresi, derajat pengapian, busi, dan biogasoline. Pengujian dilakukan dengan variasi rasio kompresi, waktu pengapian, dan jenis busi untuk menentukan tingkat emisi HC dan CO yang optimal. Metode Taguchi digunakan dalam penelitian ini pada mesin Yamaha Vega ZR 2010 yang telah dimodifikasi dengan EFI. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi optimal untuk emisi hidrokarbon adalah biogasoline E70, rasio kompresi 16,1:1, derajat pengapian +4°, dan busi nikel. Sedangkan untuk emisi karbon monoksida, kombinasi optimalnya adalah biogasoline E70, rasio kompresi 15,6:1, derajat pengapian +4°, dan busi platinum. Hasil pengujian verifikasi menunjukkan bahwa kombinasi optimal untuk emisi karbon monoksida lebih disarankan karena nilai total *error* yang lebih rendah.

Kata Kunci

Biogasoline, Rasio Kompresi, Emisi Gas Buang, Derajat Pengapian, Busi

Abstract

This study evaluates the performance of a four-stroke motorcycle engine using variations in compression ratio, ignition timing, spark plugs, and biogasoline. The tests were conducted with variations in compression ratio, ignition timing, and spark plug types to determine the optimal levels of HC and CO emissions. The Taguchi method was used in this study on a 2010 Yamaha Vega ZR engine modified with EFI. The results showed that the optimal combination for hydrocarbon emissions was biogasoline E70, a compression ratio of 16.1:1, ignition timing of +4°, and nickel spark plugs. For carbon monoxide emissions, the optimal combination was biogasoline E70, a compression ratio of 15.6:1, ignition timing of +4°, and platinum spark plugs. The result of verification indicated that the optimal combination for carbon monoxide emissions is more recommended due to a lower total error value.

Keywords

Biogasoline, Compression Ratio, Exhaust Emissions, Ignition Timing, Spark Plug

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

* sriko0853@gmail.com

Dikirimkan: 25 Juli 2024. Diterima: 21 Agustus 2024. Diterbitkan: 26 Agustus 2024.



PENDAHULUAN

Bahan bakar fosil telah menjadi kebutuhan mendasar yang sangat penting di berbagai sektor seperti transportasi, rumah tangga, perusahaan besar, dan usaha kecil. Berdasarkan data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia tahun 2022, konsumsi energi meningkat sebesar 31% dalam sepuluh tahun terakhir. Sektor industri menyumbang 43,21% dari konsumsi ini, diikuti oleh transportasi sebanyak 38,49%, rumah tangga sebanyak 12,97%, komersial sebanyak 4,34%, serta sektor lainnya sebanyak 0,99%. Permintaan transportasi yang meningkat pesat berkontribusi signifikan terhadap lonjakan ini.

Meningkatnya jumlah kendaraan bermotor di Indonesia bukan hanya meningkatkan konsumsi bahan bakar tetapi juga memperburuk polusi udara akibat emisi gas buang. Emisi ini, yang terdiri dari gas beracun seperti HC, CO, dan NO_x yang menimbulkan risiko kesehatan dan lingkungan yang serius. Tingginya konsumsi bahan bakar dari tahun ke tahun mampu mengakibatkan krisis bahan bakar di masa depan. Industri otomotif global menghadapi harga bahan bakar yang tinggi dan menipisnya cadangan bahan bakar fosil, sehingga mencari bahan bakar alternatif seperti etanol, yang merupakan sumber energi terbarukan dari biomassa.

Etanol pertama kali diusulkan sebagai bahan bakar kendaraan di USA pada tahun 1930an serta mulai digunakan secara luas setelah tahun 1970. Saat ini, etanol banyak digunakan sebagai bahan bakar di Brasil dan sebagai aditif bensin di AS dan Kanada untuk meningkatkan angka oktan dan efisiensi pembakaran. Penambahan etanol pada bahan bakar membantu mengurangi emisi HC dan CO. Namun, penggunaan etanol dalam mesin pembakaran dalam membutuhkan modifikasi karena angka oktannya yang tinggi, seperti peningkatan rasio kompresi dan penyesuaian waktu pengapian.

Penelitian [1], mengungkapkan bahwa penggunaan 100% bioetanol, yang dikombinasikan dengan berbagai durasi injeksi dan rasio kompresi, serta pemasukan udara alami, menghasilkan campuran bahan bakar yang lebih kaya pada putaran mesin tinggi (6000-8000 RPM). Hal ini menyebabkan peningkatan emisi karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC). Meskipun demikian, secara keseluruhan, emisi yang dihasilkan dari bioetanol jauh lebih rendah dibandingkan dengan bensin, dengan penurunan signifikan dalam emisi CO sebesar 64,764% dan HC sebesar 14,28%. Di sisi lain, penelitian lain [2] mengeksplorasi kombinasi bahan bakar etanol dan pertalite. Hasilnya menunjukkan bahwa campuran 70% pertalite dan 30% etanol menyebabkan ketidakstabilan mesin pada putaran tinggi. Sebaliknya, campuran 40% pertamax dan 60% etanol terbukti memberikan emisi gas buang yang paling optimal, dengan CO pada level 0,07%, CO₂ sebesar 5,6%, dan HC sebesar 100 ppm.

Campuran bahan bakar yang ideal menghasilkan emisi rendah dan pembakaran optimal, yang sangat dipengaruhi oleh komponen sistem pengapian seperti busi dan waktu pengapian. [3] mempelajari optimasi sistem pengapian menggunakan metode Taguchi, dan menemukan bahwa waktu pengapian dan busi secara signifikan mengurangi emisi HC dan CO masing-masing sebesar 54,77% dan 29,08%. Penelitian ini bertujuan untuk menguji mesin sepeda motor injeksi 4 langkah menggunakan biogasoline (E70, E75, E80). Modifikasi mesin yang diperlukan termasuk optimasi ruang bakar, khususnya perubahan pada geometri piston dan waktu pengapian. Pengujian akan dilakukan dengan berbagai rasio kompresi (15,6:1, 16,1:1, dan 16,6:1) dan waktu pengapian (standar 6° BTDC, +2°, dan +4°), serta penggunaan busi yang berbeda (platinum, nikel, dan iridium) untuk menentukan tingkat emisi HC dan CO terbaik.

Motor Bakar

Motor bakar adalah alat yang berguna mengubah energi kalor menjadi energi mekanik, seringkali dalam bentuk poros berputar serta kadang-kadang dalam bentuk gerakan translasi seperti dalam *jet engine* atau mesin pancar [4]. Persyaratan dalam reaksi pembakaran adalah

terdapat pada segitiga pembakaran yakni udara, api dan bahan bakar. Tanpa salah satu dari itu maka tidak akan terjadinya proses reaksi pembakaran[4].

Rasio Kompresi

Rasio kompresi adalah suatu ukuran yang menunjukkan perbandingan antara volume total dan volume sisa dari ruang bakar dalam mesin [5]. Volume total mencakup ruang yang terbentuk antara piston saat berada di posisi Titik Mati Atas (TMA) hingga tutup silinder, yang merupakan kombinasi dari volume langkah dan volume sisa. Sebaliknya, volume sisa, atau dikenal juga sebagai volume *clearance*, adalah ruang yang tersisa antara piston saat berada di posisi Titik Mati Bawah (TMB) dan tutup silinder.

Dalam penelitian ini, dilakukan perhitungan rinci untuk ruang bakar guna menentukan volume *clearance* serta merancang bentuk dome pada bagian atas piston dengan tujuan meningkatkan rasio kompresi. Proses dimulai dengan menghitung volume *clearance* berdasarkan volume silinder pada rasio kompresi awal yang adalah 9,3:1. Setelah volume *clearance* diketahui, volume tambahan yang diperlukan untuk dome piston dihitung untuk mencapai rasio kompresi maksimum yang ditargetkan, yaitu 17:1. Selanjutnya, desain *geometri dome* piston dikembangkan dan piston standar diganti dengan piston yang telah dimodifikasi sesuai dengan desain dome tersebut. Untuk mengakomodasi variasi rasio kompresi lainnya, dilakukan penambahan ketebalan gasket untuk memperbesar volume ruang bakar, yang mengakibatkan penurunan rasio kompresi dari 16,6:1 menjadi 16,1:1 dan kemudian 15,6:1.

Derajat Pengapian

Derajat pengapian merujuk pada momen spesifik ketika busi memercikkan bunga api di dalam ruang bakar mesin untuk membakar campuran udara dan bahan bakae yang telah dikompresi oleh piston. Proses ini menghasilkan tekanan yang diperlukan untuk menjalankan langkah kerja mesin dengan efektif. Proses pengapian ini terjadi beberapa derajat sebelum piston mencapai Titik Mati Atas (TMA), yaitu posisi tertinggi piston selama siklus kerja mesin. Menurut [6], derajat pengapian untuk campuran bensin dan udara harus dilakukan beberapa derajat sebelum TMA, tepatnya pada akhir fase kompresi. Penggunaan campuran bahan bakar bensin dan ethanol menunjukkan penurunan kinerja mesin, sehingga untuk menghasilkan kinerja yang optimal, salah satunya diperlukan derajat pengapian yang tepat [7]. Penentuan waktu percikan bunga api yang akurat sangat krusial untuk memastikan bahwa pembakaran campuran bensin dan udara terjadi dengan sempurna. Hal ini penting untuk memastikan bahwa mesin dapat beroperasi dengan efisiensi optimal, menghasilkan tenaga maksimum dan performa yang optimal dari mesin.

Busi

Menurut [8], busi merupakan komponen penting dalam mesin yang berfungsi untuk memercikkan bunga api di ruang bakar. Proses ini melibatkan tegangan tinggi yang diciptakan antara elektroda busi, yang disuplai oleh *ignition coil* dengan tegangan yang berkisar antara 15.000 hingga 20.000 volt. Suhu di dalam ruang bakar mesin dapat mencapai tingkat yang sangat tinggi, sekitar 2500^o C. Oleh karena itu, busi harus dirancang untuk menahan kondisi ekstrem ini, baik dari segi suhu maupun tekanan yang sangat tinggi. Secara umum, busi memiliki konstruksi yang terdiri dari dua bagian utama: elektroda dan insulator. Elektroda busi umumnya terbuat dari logam yang dilapisi dengan material tahan panas dan korosi seperti nikel, krom, mangan, dan silikon untuk memastikan ketahanannya terhadap kondisi ekstrem di ruang bakar. Jenis busi sepeda motor adalah busi nikel, platinum, dan iridium [9].

Biogasoline

Mencampurkan ethanol dengan bahan bakar mampu meningkatkan angka oktan dari bahan bakar karena angka oktan ethanol lebih tinggi dibandingkan bensin, dengan angka oktan yang lebih tinggi, akan membantu bensin tahan terhadap *knocking* serta dapat dimanfaatkan

pada mesin dengan kompresi tinggi [10]. Menggunakan ethanol murni secara langsung pada mesin bensin menjadikan mesin akan sulit untuk *starting*. Maka dari itu dengan mencampurkan ethanol dengan bensin akan mempermudah *starting* pada temperatur rendah jika dikombinasikan dengan takaran yang benar [11]. Pada penelitian ini akan digunakan tiga jenis perbandingan pertalite dan ethanol sebagai level faktor yang berbeda, yaitu: E70, E75, dan E80. Dimana E70 adalah 30% pertalite dengan 70% ethanol, E75 adalah 25% pertalite dengan 75% ethanol, dan E80 adalah 20% pertalite dengan 80% ethanol. Pemilihan level pada faktor ini didasarkan pada penelitian [3], dengan perbedaan level ethanol sebesar 5%.

Emisi Gas Buang

Emisi gas buang merujuk pada gas-gas yang diperoleh dari pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna pembakarannya di dalam ruang bakar mesin [12]. Menurut [13], emisi gas buang adalah polutan yang muncul sebagai hasil dari proses pembakaran dalam mesin bensin. Dengan kata lain, emisi gas buang dapat dianggap sebagai zat berbahaya atau pencemar yang diperoleh dari sisa pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna dalam mesin bensin. Proses pembakaran yang tidak sempurna ini menghasilkan berbagai gas buang yang dapat merusak lingkungan, seperti Karbon Dioksida (CO₂), Karbon Monoksida (CO), dan Hidrokarbon (HC).

METODA PENELITIAN

Penelitian berikut memanfaatkan metode Taguchi, yang termasuk dalam kategori penelitian eksperimen. Metode ini diterapkan untuk menentukan level optimal dari berbagai faktor melalui pendekatan desain eksperimen yang sistematis. Dalam konteks ini, eksperimen melibatkan serangkaian pengujian yang dilakukan pada sekelompok variabel, di mana nilai-nilai variabel tersebut diubah sesuai dengan perlakuan atau kondisi tertentu yang diterapkan. Tujuan dari eksperimen ini ialah untuk menganalisis serta mengevaluasi dampak serta akibat yang dihasilkan dari perubahan yang terjadi pada variabel-variabel tersebut, sehingga dapat diidentifikasi kondisi atau level yang memberikan hasil terbaik. Metode Taguchi memungkinkan peneliti untuk secara efektif mengeksplorasi dan menentukan parameter-parameter optimal, yang pada gilirannya membantu dalam meningkatkan kualitas dan efisiensi dalam berbagai aplikasi [14]. Berikut adalah faktor yang akan digunakan beserta levelnya pada penelitian ini yang terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Faktor Yang Akan Digunakan Beserta Levelnya

Kode Faktor	Faktor	Kode Level		
		1	2	3
A	<i>Biogasoline</i>	E70	E75	E80
B	Rasio Kompresi	15,6:1	16,1 : 1	16,6 : 1
C	Derajat Pengapian	Std (6°)	+2°	+4°
D	Busi	Nikel	Iridium	Platinum

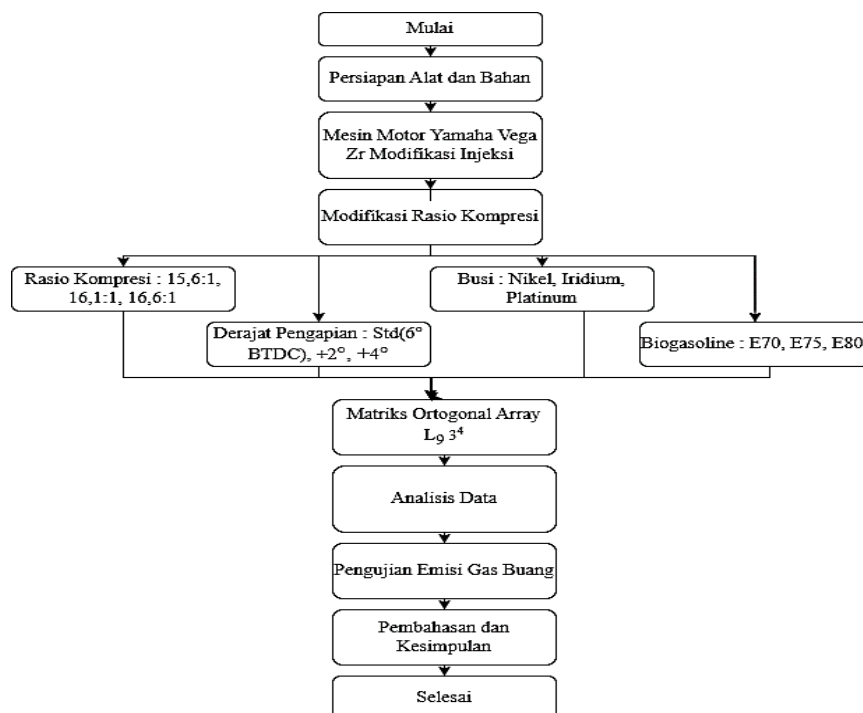
Pada eksperimen ini digunakan empat faktor dengan tiga level. Berdasarkan kombinasi level dan faktor tersebut, jumlah baris pada matriks ortogonal dapat ditentukan yaitu sebanyak 9 baris yang menunjukkan bahwa terdapat 9 percobaan dalam eksperimen ini. Setiap percobaan direplikasi masing-masing sebanyak 3 kali, sehingga total percobaan menjadi 27 kali percobaan. Matriks ortogonal yang akan digunakan dalam eksperimen ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Matriks Orthogonal

Eksperimen	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

Dalam eksperimen ini, objek yang digunakan adalah sepeda motor Vega ZR tahun 2010 yang telah dimodifikasi dengan sistem bahan bakar *electronic fuel injection* (EFI). Objek pada penelitian ini merupakan hasil dari penelitian [15]. Data emisi gas buang diperoleh secara langsung dari alat *Gas Analyzer* untuk setiap kombinasi level faktor eksperimen. Pengujian ini mengikuti prosedur yang ditetapkan oleh Badan Standardisasi Nasional (BNS) dalam SNI 09-7118.3-2005 mengenai metode uji emisi gas buang untuk sepeda motor kategori L dalam kondisi *idle*. Sepeda motor yang diuji dijadikan sebagai sumber data penelitian. Alat-alat yang akan digunakan pada penelitian ini adalah *Tool set* yang digunakan untuk persiapan mesin dalam pengujian, *Gas Analyzer* yang digunakan untuk mengetahui kandungan emisi gas buang Karbon Monoksida (CO) dan Hidrokarbon (HC), Laptop dan *software* yang digunakan untuk mengatur waktu pengapian, *I-max* RPM meter digunakan untuk mengetahui RPM mesin, *Thermocouple* digunakan untuk mengetahui suhu mesin, dan *blower* digunakan untuk menstabilkan suhu mesin.

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni hingga Agustus 2024 di *Workshop* Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang. Alur penelitian tersebut disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Penelitian

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan data secara langsung selama pengujian mesin yang diuji. Data diambil sesuai dengan *Matriks Orthogonal* dan dicatat dalam tabel. Tabel-tabel tersebut kemudian diolah dan dianalisis untuk menghasilkan grafik yang menunjukkan persentase spesifik emisi gas buang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Berdasarkan eksperimen yang dilakukan mengenai emisi gas buang pada sepeda motor Vega ZR 2010, dengan modifikasi pada sistem *Elektronic Fuel Injection* (EFI). Data yang diperoleh disajikan dalam bentuk tabel hasil pengujian. Hasil pengujian emisi hidrokarbon disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Hidrokarbon

Order	Faktor				Uji Emisi HC			Rata-rata	SNR
	A	B	C	D	Uji 1	Uji 2	Uji 3		
1	1	1	1	1	330	325	318	324,33	50,22
2	1	2	2	2	267	254	319	280,00	49,01
3	1	3	3	3	299	375	232	302,00	49,84
4	2	1	2	3	547	495	597	546,33	54,79
5	2	2	3	1	267	375	401	347,67	51,00
6	2	3	1	2	580	586	505	557,00	54,95
7	3	1	3	2	334	269	377	326,67	50,40
8	3	2	1	3	486	449	384	439,67	52,92
9	3	3	2	1	422	397	347	388,67	51,83

Perhitungan nilai SNR dan nilai rata-rata dengan karakteristik *smaller the better* telah dilakukan, yang berarti semakin mendekati nol nilai SNR dan rata-rata, semakin baik emisi yang dihasilkan. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, diperoleh bahwa kombinasi level faktor hidrokarbon yang terbaik berdasarkan nilai rata-rata dan SNR terdapat pada kombinasi 2. Kombinasi 2 menghasilkan nilai rata-rata dan SNR sebesar 280 ppm dan 49,01. Hasil pengujian karbon monoksida disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Karbon Monoksida

Order	Faktor				Uji Emisi CO			Rata-rata	SNR
	A	B	C	D	Uji 1	Uji 2	Uji 3		
1	1	1	1	1	2,03	2,25	2,15	2,14	6,63
2	1	2	2	2	2,52	2,61	2,5	2,54	8,11
3	1	3	3	3	1,20	1,17	1,13	1,17	1,34
4	2	1	2	3	1,66	1,37	1,70	1,58	4,01
5	2	2	3	1	2,28	2,19	2,11	2,19	6,83
6	2	3	1	2	3,06	3,78	3,06	3,30	10,44
7	3	1	3	2	1,49	1,89	1,66	1,68	4,57
8	3	2	1	3	1,24	1,93	1,13	1,43	3,51
9	3	3	2	1	3,00	3,60	3,05	3,22	10,19

Perhitungan nilai SNR dan rata-rata dengan karakteristik *smaller the better* telah dilakukan, yang berarti semakin mendekati nol nilai rata-rata dan SNR, semakin baik emisi yang dihasilkan. Kombinasi dari level faktor karbon monoksida yang terbaik berdasarkan perhitungan rata-rata terdapat pada kombinasi 3, yang menghasilkan rata-rata sebesar 1,17% dan nilai SNR sebesar 1,34. Selanjutnya, perhitungan respon rata-rata untuk hidrokarbon dan karbon monoksida disajikan pada Tabel 5. dan Tabel 6.

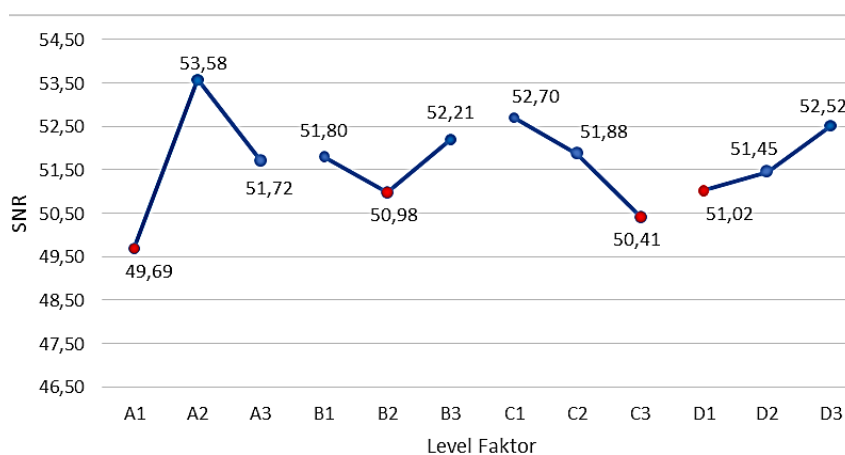
Tabel 5. Tabel Hasil Respon Rata-Rata Hidrokarbon

Eksperimen	Faktor			
	A	B	C	D
Level 1	49,69	51,80	52,70	51,02
Level 2	53,58	50,98	51,88	51,45
Level 3	51,72	52,21	50,41	52,52
Max	53,58	52,21	52,70	52,52
Min	49,69	50,98	50,41	51,02
Diff	3,89	1,23	2,28	1,50
Rank	1	4	2	3
Optimal	A1	B2	C3	D1

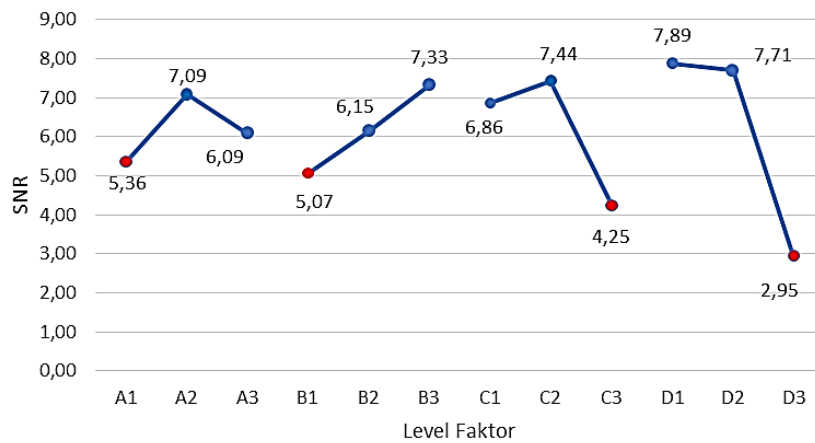
Tabel 6. Tabel Hasil Respon Rata-rata Karbon Monoksida

Eksperimen	Faktor			
	A	B	C	D
Level 1	5,36	5,07	6,86	7,89
Level 2	7,09	6,15	7,44	7,71
Level 3	6,09	7,33	4,25	2,95
Max	7,09	7,33	7,44	7,89
Min	5,36	5,07	4,25	2,95
Diff	1,73	2,25	3,19	4,93
Rank	4	3	2	1
Optimal	A1	B1	C3	D3

Berdasarkan Tabel 5 diperoleh bahwa rancangan yang optimal untuk hidrokarbon (HC) terdapat pada kombinasi level faktor A1, B2, C3, dan D1. Sementara itu, rancangan yang optimal untuk karbon monoksida (CO) terdapat pada kombinasi level faktor A1, B1, C3, dan D3. Hal ini dapat dibuktikan dengan efek plot yang disajikan pada Gambar 2. dan Gambar 3.



Gambar 2. Efek Plot Hidrokarbon



Gambar 3. Efek Plot Karbon Monoksida

Berdasarkan gambar 3 diperoleh bahwa emisi hidrokarbon (HC) seharusnya mampu lebih ditekan jika menggunakan kombinasi A1, B2, C3, dan D1. Hal ini menunjukkan bahwa emisi hidrokarbon akan lebih optimal dengan menggunakan kombinasi *biogasoline* E70, rasio kompresi 16,1:1, derajat pengapian +4°, dan busi nikel. Sementara itu, emisi CO dapat lebih ditekan dengan kombinasi A1, B1, C3, dan D3, yaitu dengan menggunakan *biogasoline* E70, rasio kompresi 15,6:1, derajat pengapian +4°, dan busi platinum. Berdasarkan hasil pengujian, dapat diperoleh hasil dari analisis varians hidrokarbon dan karbon monoksida yang disajikan pada Tabel 7. dan Tabel 8.

Tabel 7. ANOVA Hidrokarbon

Anova HC						
Parameter	SS	Df	Ms	F ratio	SS'	Ratio %
A	22,70	2	11,35	4,37	17,51	47,8%
B	2,35	2	1,18	0,45	-	-
C	8,03	2	4,01	1,55	2,84	7,74%
D	3,56	2	1,78	0,69	-	-
<i>Pooled e</i>	10,38	4	2,59		20,76	56,66%
<i>SSt</i>	36,64	8	4,58		36,64	100%
<i>Mean</i>	24020,48	1				
<i>SSTotal</i>	24057,11	9				

Tabel 8. ANOVA Karbon Monoksida

Anova CO						
Parameter	SS	Df	Ms	F ratio	SS'	Ratio %
A	4,53	2	2,27	0,17	-	-
B	7,63	2	3,81	0,28	-	-
C	17,35	2	8,68	0,64	-	-
D	46,93	2	23,47	1,72	19,65	25,71%
<i>Pooled e</i>	54,56	4	13,64		109,13	142,75%
<i>SSt</i>	76,45	8	9,56		76,45	100%
<i>Mean</i>	343,91	1				
<i>SSTotal</i>	420,36	9				

Pooled e merupakan gabungan faktor yang memiliki *sum of squares* terkecil dengan persentase sekitar 50% dari total faktor. Berdasarkan hasil perhitungan ANOVA HC, faktor A memiliki kontribusi terbesar dalam menurunkan emisi gas HC, yaitu sebesar 47.8%, kemudian faktor C sebesar 7.74%, Pada perhitungan ANOVA emisi CO, faktor D memiliki kontribusi terbesar dalam menurunkan emisi gas CO, yaitu sebesar 25.71%.

Uji Verifikasi

Setelah mendapatkan rancangan optimal, langkah selanjutnya adalah menentukan prediksi kondisi yang optimum dari rancangan kombinasi tersebut. Setelah itu, dilakukan juga uji verifikasi untuk membandingkan hasilnya dengan prediksi kondisi optimum. Jika hasil uji verifikasi dan prediksi kondisi yang optimal cukup dekat, maka dapat disimpulkan bahwa rancangan tersebut cukup memadai. Hasil uji prediksi untuk hidrokarbon dan karbon monoksida dapat dilihat pada Tabel 9. dan Tabel 10.

Tabel 9. Hasil Prediksi Hidrokarbon

Level Faktor Optimal				U prediksi
A1	B2	C3	D1	
49,69	50,98	50,41	51,02	47,11

Tabel 10. Hasil Prediksi Karbon Monoksida

Level Faktor Optimal				U Prediksi
A1	B1	C3	D3	
5,36	5,07	4,25	2,95	-0,91

Berdasarkan hasil prediksi, nilai prediksi dari emisi gas hidrokarbon adalah sebesar 47,11, sedangkan nilai prediksi dari emisi gas buang karbon monoksida adalah sebesar -0,91. Setelah diperoleh perhitungan prediksi yang optimum, langkah berikutnya adalah melakukan uji verifikasi dengan cara membandingkan nilai hasil prediksi tersebut dengan nilai hasil tes eksperimen yang telah diujikna berdasarkan level faktor yang optimum. Hasil uji verifikasi disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil Uji Verifikasi

Uji	Optimal HC		Optimal CO	
	Hidrokarbon	Karbon Monoksida	Hidrokarbon	Karbon Monoksida
1	201	2,02	159	0,97
2	213	2,09	113	0,82
3	214	2,08	145	0,91
<i>Rata-rata</i>	209,33	2,06	139,00	0,90
<i>STDEV</i>	7,23	0,04	23,58	0,08
<i>SNR</i>	46,42	6,29	42,98	-0,88
<i>U Prediksi</i>	47,11	-0,91	47,11	-0,91
<i>Error (%)</i>	1,48	-114,46	9,60	2,86
<i>Total Error (%)</i>	-112,98		12,46	

Berdasarkan hasil dari Tabel 20, dapat diketahui bahwa nilai SNR tes eksperimen gas hidrokarbon dari optimal HC sebesar 46.42, sedangkan nilai rata-rata tes eksperimen gas karbon monoksida dari optimal CO adalah sebesar -0.88. Hasilnya cukup baik jika dibandingkan

dengan nilai prediksi, dibuktikan dengan tingkat kesalahan dibawah 5%, yaitu sebesar 1,48% dan 2,86%. Nilai *error* karbon monoksida (-114,46%) dari optimal HC dan hidrokarbon (9,60%) dari optimal CO merupakan nilai yang tidak diperhitungkan, karena tidak berfokus pada nilai tersebut, namun dapat digunakan untuk memilih kombinasi level faktor optimal yang akan diterapkan pada sepeda motor berdasarkan total nilai *error* yang dihasilkan.

Pembahasan

Penelitian ini mengeksplorasi berbagai faktor yang dapat mempengaruhi emisi gas buang pada sepeda motor, seperti bahan bakar, sistem pengapian, dan spesifikasi mesin. Setiap mesin memiliki karakteristik unik, sehingga diperlukan optimasi berbagai faktor kontrol untuk mencapai pembakaran sempurna dan menurunkan emisi gas buang. Tujuan dari penelitian ini ialah menentukan kombinasi level faktor optimal yang mampu menurunkan emisi gas buang pada mesin motor Vega ZR 2010 modifikasi injeksi menggunakan alat gas *analyzer*. Faktor-faktor yang diuji meliputi campuran *biogasoline*, rasio kompresi, derajat pengapian, dan jenis busi. Data emisi gas buang diambil saat mesin dalam kondisi idle (1500 rpm) dengan tiga kali replikasi untuk setiap kombinasi.

Setelah pengujian dilakukan, data yang diperoleh dianalisis dengan SNR, rata-rata, analisis efek plot, ANOVA, dan uji verifikasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa kombinasi optimal untuk menurunkan emisi gas HC adalah menggunakan *biogasoline* E70, rasio kompresi 16,1:1, derajat pengapian +4°, dan busi nikel. Dengan hasil hidrokarbon yang didapat adalah 209,33 ppm sedikit lebih baik dari kondisi awal yaitu 368 ppm. Yang dimana *biogasoline* yang merupakan faktor dengan pengaruh paling besar diantara keempat faktor tersebut dengan persentase kontribusi sebesar 47,8%. Emisi hidrokarbon ini dapat dihasilkan dari penguapan bahan bakar atau dari pembakaran yang tidak sempurna, yang menyisakan bahan bakar dalam bentuk bahan bakar yang tidak terbakar yang keluar dalam bentuk hidrokarbon[16].

Sementara itu, untuk menurunkan emisi CO, kombinasi optimal adalah *biogasoline* E70, rasio kompresi 15,6:1, derajat pengapian +4°, dan busi platinum. Dengan hasil karbon monoksida yang didapat adalah 0,90% lebih baik dari kondisi awal yaitu 8.94 %. Yang dimana busi yang merupakan faktor dengan pengaruh paling besar diantara keempat faktor tersebut dengan persentase kontribusi sebesar 25,71%. Karbon monoksida dihasilkan dari pembakaran tak sempurna dan terbentuk apabila terdapat kekurangan oksigen dalam proses pembakaran[3]. Analisis efek plot menunjukkan adanya dua kombinasi level faktor yang optimal yang mampu menurunkan emisi gas buang, tetapi hanya satu kombinasi yang dapat diterapkan pada motor Vega ZR 2010 modifikasi tersebut. Berdasarkan uji verifikasi, kombinasi optimal untuk CO lebih disarankan karena total *error* yang lebih rendah dan emisi hidrokarbon yang juga lebih rendah dibandingkan kombinasi optimal untuk HC[17].

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa rancangan optimal hidrokarbon terdapat pada kombinasi level faktor A1 (*biogasoline* E70), B2 (rasio kompresi 16,1:1), C3 (derajat pengapian +4°), dan D1 (busi nikel). Sedangkan rancangan yang optimal pada karbon monoksida (CO) terdapat pada kombinasi level faktor A1 (*biogasoline* E70), B1 (rasio kompresi 15,6), C3 (derajat pengapian +4°), dan D3 (busi platinum).

Kedua kombinasi ini tentu saja tidak mungkin diterapkan bersamaan pada sepeda motor, sehingga dipilih salah satu kombinasi yang dipilih berdasarkan keuntungan yang dihasilkan. Berdasarkan hasil uji verifikasi, kombinasi optimal karbon monoksida dinilai lebih tepat dan cocok untuk diterapkan pada sepeda motor, karena nilai total *error* yang dihasilkan lebih mendekati nol dibandingkan optimal HC serta nilai hidrokarbon yang diperoleh dari kombinasi

optimal CO juga lebih kecil dibanding kombinasi optimal HC itu sendiri. Berdasarkan hasil uji verifikasi yang telah dilakukan, dapat dibuktikan bahwa penelitian ini cukup memadai.

Saran

Penelitian ini hanya fokus pada pengoptimalan faktor-faktor yang mempengaruhi emisi gas buang. Diharapkan penelitian selanjutnya dapat mengoptimalkan faktor-faktor lainnya untuk meningkatkan performa sepeda motor.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Renno, F., "Studi Eksperimen Pengaruh Rasio Kompresi Dan Durasi Penginjeksian Bahan Bakar Terhadap Unjuk Kerja Dan Emisi Gas Buang Engine Honda Cb150r Berbahan Bakar Bioetanol E100," ITS Repository, 2016.
- [2] Suhaimi, M. Y., "Pengaruh Mapping Ecu Racing BRT Vega ZR Modifikasi Injeksi Terhadap Torsi Dan Daya Dengan Variasi Injection Timing dan Ignition Timing," Universitas Negeri Padang, 2022.
- [3] Chaniago, I. P., Purwanto, W., & Arif, A., "Optimasi Sistem Pengapian terhadap Emisi Gas Buang Sepeda Motor 4 Langkah dengan Metode Taguchi," JTPVI: Jurnal Teknologi dan Pendidikan Vokasi Indonesia, vol 1, no. 2, pp 181-190, 2023.
- [4] Satibi, Loekman., Purnawan,Irfan., & Nazifah.Lisa. Mesin Penggerak Utama (Primer Mover) .Yogyakarta: Graha Ilmu, 2016.
- [5] Muku, I D. M., & Sukadana, I G. K., "Pengaruh Rasio Kompresi Terhadap Unjuk Kerja Mesin Empat Langkah Menggunakan Arak Bali Sebagai Bahan Bakar," Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakram, vol. 3, no. 1, pp. 26-32, 2009.
- [6] Jama, J., & Wagino, Teknologi Sepeda Motor Jilid 2, 2008.
- [7] Kbarek, T., & Riupassa, H. "Pengaruh Perubahan Derajat Pengapian terhadap Emisi Gas Buang Motor Bensin Berbahan Bakar Bioethanol". Jurnal Voering Vol. 5 No. 2, Hlm. 71-75, 2020.
- [8] Sugiyanto, D., "Pengaruh Variasi Jenis Busi Dan Campuran Bensin Methanol Terhadap Kinerja Motor 4 Langkah," Jurnal Sainstech Politeknik Indonusa Surakarta, vol. 3, no. 1, pp. 8, 2014.
- [9] Budiyo, B., & Mahfudin, A. E. Perbandingan Busi Standar Dengan Busi Platinum Pada Sepeda Motor Honda Cb 150 Terhadap Power Dan Konsumsi Baha Bakar Dengan Variasi Celah Busi. Surya Teknika, 1-5, 2018.
- [10] Khairi, R., Maksum, H., & Martias, "Pengaruh Penggunaan Campuran Bahan Bakar Premium-ethanol Terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Emisi Gas Buang pada Motor Bensin Empat Langkah". Automotive Engineering Education Journals Vol. 2 No.2, 2013.
- [11] Purwanto, W., Afif, F., Lapisa, R., Yuvenda, D., Setiawan, M. Y., & Saputra, H. D. "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 Volume: 3 Number: 2, Hlm. 79-92, 2022.
- [12] Amin, Bahrul & Ismet, Faisal, Teknologi Motor Bensin, 2016.
- [13] Nugraheni, I. K., & Haryadi, R., "Pengujian Emisi Gas Buang Motor Bensin Empat Tak Satu Silinder Menggunakan Campuran Bahan Bakar Premium dan Ethanol," Jurnal Elemen, vol. 4, no. 1, pp. 22-28, 2017.
- [14] Setyanto, N. W., & Lukodono, R. P., Teori dan Aplikasi Desain Eksperimen Taguchi, 2017.
- [15] Yansah. W. D. V., "Rancang Bangun Sistem Injeksi Sepeda Motor Yamaha Vega ZR Kaburator", Universitas Negeri Padang, 2022.
- [16] Pratama Saputra, A., Purwanto, W., Wagino, & Setiawan, M. Y. "Optimasi Penerapan Nano Spray Terhadap Emisi Gas Buang Pada Sepeda Motor 4 Langkah Modifikasi Injeksi Dengan

Metode Taguchi”. JTPVI: Jurnal Teknologi Dan Pendidikan Vokasi Indonesia, vol. 2, no. 1, pp. 67–76, 2023.

- [17] Herlando, Purwanto, W., Setiawan, M. Y., & Milana. “Optimasi Cairan Water Injection dalam Menurunkan Emisi Gas Buang Sepeda Motor dengan Metode Taguchi”. JTPVI: Jurnal Teknologi Dan Pendidikan Vokasi Indonesia, vol 2, no.1, pp. 101–108, 2023.