



Optimasi Catalytic Converter dan Bahan Bakar Biogasoline Terhadap Emisi Gas Buang Pada Sepeda Motor 4 Langkah Dengan Metode Taguchi

Optimization of Catalytic Converter and Biogasoline Fuel on Exhaust Gas Emissions of 4 Stroke Motorcycle with Taguchi Method

Harris Fedriansyah^{1*}, Wawan Purwanto¹, Wakhinuddin¹, Milana¹

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan bahan dan bentuk katalis pada *catalytic converter* serta mendapatkan perbandingan bahan bakar *ethanol* dan bensin (*biogasoline*) yang optimal dalam mengurangi emisi gas buang pada sepeda motor 4 langkah injeksi, menggunakan metode Taguchi. Penelitian ini menggunakan *Robust Design* dengan 3 faktor dan 3 level faktor, yaitu : A (Bahan katalis level faktornya baja, kuningan, dan tembaga), B (Bentuk katalis level faktornya spiral, jaring laba – laba, dan sarang lebah), C (*biogasoline* level faktornya perbandingan 70:30, 75:25, dan 80:20). Hasil penelitian menunjukkan bahwa rancangan yang optimal untuk menurunkan emisi *carbon monoksida* (CO) adalah katalis berbahan kuningan, berbentuk jaring laba – laba, bahan bakar *biogasoline* perbandingan 70:30, yaitu 0,91% dan faktor paling berpengaruh adalah bahan bakar yaitu 28,21%, dan yang optimal pada emisi *hydrocarbon* (HC) adalah katalis berbahan baja, berbentuk jaring laba – laba, bahan bakar *biogasoline* perbandingan 75:25, yaitu 227 ppm dan faktor paling berpengaruh adalah bahan katalis yaitu 34,31%.

Kata Kunci

Catalytic Converter, Emisi Gas Buang, *Biogasoline*, Metode Taguchi.

Abstract

This study aims to obtain the material and form of catalyst in the catalytic converter and get the optimal ratio of ethanol fuel and gasoline (biogasoline) in reducing exhaust emissions on a 4-stroke injection motorcycle, using the Taguchi method. This study uses Robust Design with 3 factors and 3 factor levels, namely: A (catalyst material factor level steel, brass, and copper), B (catalyst shape factor level spiral, spider web, and honeycomb), C (biogasoline factor level ratio 70:30, 75:25, and 80:20). The results showed that the optimal design for reducing carbon monoxide (CO) emissions was a catalyst made of brass, in the form of a spider web, biogasoline fuel with a ratio of 70:30, which was 0.91% and the most influential factor was fuel, which was 28.21%, and the optimal design for hydrocarbon (HC) emissions was a catalyst made of steel, in the form of a spider web, biogasoline fuel with a ratio of 75:25, which was 227 ppm and the most influential factor was catalyst material, which was 34.31%.

Keywords

Centrifugal Weight Variation, Torque and Power, Machine Condition

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

* fedrianharris@gmail.com

Dikirimkan: 20 Juli 2023. Diterima: 07 Agustus 2023. Diterbitkan: 12 Agustus 2023.



PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan zaman, dan jumlah penduduk semakin meningkat, penggunaan transportasi juga ikut meningkat, terutama pada kendaraan bermotor seperti mobil, sepeda motor, dan kendaraan umum. Hal ini berakibat pada peningkatan polusi udara, sehingga dapat terjadinya gangguan pernapasan, seperti asma, sesak napas, hingga kanker. Selain itu jika polusi udara semakin besar juga dapat berakibat pada pemanasan global. Sebuah kendaraan bermotor, dari proses bekerjanya dapat menghasilkan polutan berupa gas *Carbon Monoksida* (CO), *Hydrocarbon* (HC), *Nitrogen Oksida* (NO_x), *Sulfur Oksida* (SO), dan *Plumbum* (Pb). Salah satu polutan udara yang berbahaya dan sangat dominan jumlahnya adalah gas *Carbon Monoksida* (CO) yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar dan udara yang tidak sempurna pada motor bensin [1].

Salah satu teknologi yang sering diaplikasikan untuk mengurangi emisi pada kendaraan bermotor adalah *catalytic converter*. *Catalytic converter* merupakan suatu alat yang dipasangkan pada kendaraan yang dirancang untuk mengkonversi senyawa-senyawa beracun dalam gas buang menjadi zat-zat yang kurang beracun dan tidak beracun. Pada *catalytic converter* komersial, bahan yang digunakan adalah logam – logam mulia, seperti platinum, *palladium* dan *rhodium*. Logam mulia tersebut mempunyai aktivitas spesifik yang tinggi, tetapi memiliki kekurangan yaitu kelimpahan rendah dan harga yang cukup mahal. Dengan demikian sebagai alternatif digunakan bahan yang mempunyai aktivitas katalis, kelimpahan tinggi dan lebih murah serta sederhana [2]. [3] mengatakan bahwa beberapa logam yang diketahui efektif sebagai katalis oksidasi dan reduksi dari yang besar sampai yang kecil adalah Pt, Pd, Ru > Mn, Cu > Ni > Fe > Cr > Zn dan oksida dari logam – logam tersebut.

Selain penggunaan *catalytic converter*, penelitian ini juga menggunakan *biogasoline* sebagai bahan bakarnya. *Biogasoline* merupakan campuran bahan bakar konvensional dengan *ethanol*. Hal ini didasarkan kepada perkembangan bahan bakar *ethanol* karena sumber utama bahan bakar minyak bumi sudah mulai menipis dan sumber bahan baku dari *ethanol* mudah di dapatkan terutama di Indonesia yang merupakan negara tropis dan sangat cocok untuk menanam tanaman bahan baku *ethanol* seperti tebu dan ketela.

Emisi Gas Buang

Emisi gas buang merupakan polutan yang mengotori udara yang dihasilkan oleh gas buang kendaraan. Gas buang kendaraan yang dimaksud adalah gas sisa proses pembakaran yang dibuang ke udara bebas melalui saluran buang kendaraan. Emisi gas buang kendaraan bermotor diukur dalam gram per kendaraan per km dari suatu perjalanan dan terkait dengan beberapa faktor seperti tipe kendaraan, umur kendaraan, ambang temperatur dan ketinggian. Kendaraan dengan usia dan jenis bahan bakar yang berbeda akan menghasilkan kadar emisi yang berbeda juga [4].

Catalytic Converter

Catalytic converter adalah suatu alat yang dipasang di kendaraan berfungsi untuk mengurangi kadar emisi gas buang pada kendaraan. Semakin merata sisa gas buang yang mengenai permukaan *catalytic converter* maka akan semakin besar emisi gas buang yang di reduksi [5]. *Catalytic converter* berfungsi untuk mereduksi emisi yang di hasilkan pada proses pembakaran dengan menggunakan dua jenis logam yang berbeda dengan fungsi sebagai *reduction catalyst* dan *oksidation catalyst*. *Reduction catalyst* merupakan langkah pertama yang sering menggunakan material platina dan *rhodium* untuk mengurangi kandungan NO_x. *oksidation catalyst* merupakan langkah kedua yang mengurangi HC yang tidak terbakar pada proses pembakaran. Katalisator ini berfungsi untuk membantu reaksi HC dan CO dengan oksigen [6].

Katalis

Katalis adalah zat yang ditambahkan ke dalam suatu reaksi untuk mempercepat laju reaksi. Katalis ikut terlibat dalam reaksi tetapi tidak mengalami perubahan kimiawi yang permanen, dengan kata lain pada akhir reaksi katalis akan dijumpai kembali dalam bentuk dan jumlah yang sama seperti sebelum reaksi [7]. Contoh dari bahan katalis yaitu : baja, kuningan, dan tembaga. Bentuk dari katalis yang digunakan pada *Catalytic converter* yaitu spiral, sarang lebah, dan jaring laba – laba.

Biogasoline

Biogasoline merupakan bahan bakar alternatif campuran dari bensin dan *ethanol* dengan perbandingan tertentu. *Ethanol* mempunyai kelebihan dibandingkan bahan bakar minyak (BBM) yaitu dari bilangan oktannya. *Ethanol* dengan kadar alkohol 70% memiliki angka oktan 118. Akan tetapi *ethanol* perlu dicampur dengan bahan bakar konvensional, dikarenakan bahan bakar *ethanol* belum dapat berdiri sendiri, sebab pemakaian *ethanol* murni secara langsung pada mesin bensin akan sulit untuk terbakar, sehingga sulit untuk starter [8].

METODA

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen yang telah dikembangkan oleh Genichi Taguchi pada tahun 1949. Taguchi menyarankan penggunaan *Robust Design* untuk merancang eksperimen. *Robust Design* adalah metodologi rekayasa untuk meningkatkan produktivitas selama penelitian dan pengembangan sehingga produk berkualitas tinggi dapat diproduksi dengan cepat dan dengan biaya rendah, teknik pengambilan data merujuk pada artikel [9]:

1. Menghitung nilai rata-rata dan *Signal to Noise Ratio* (*S/N Ratio*) rumusnya:

$$\eta = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (1)$$

2. Membuat tabel respon pada nilai rata-rata dan *S/N Rasio*
Menjumlahkan nilai rata-rata level 1 pada faktor A dan dibagi 3, dilakukan hal yang sama pada faktor lainnya.

3. *Analysis of Variance* (ANOVA)

Langkah-langkah dalam perhitungan analisis variansi yaitu:

- a. Menghitung nilai total *Sum of Squares*.

$$SS_{Total} = \sum Y^2 \quad (1)$$

- b. Menghitung *Sum of Squares Due to Mean*.

$$Mean = n\bar{y}^2 \quad (2)$$

- c. Menghitung *Sum of Squares Due to Faktors*.

$$SS_A = (nA1 \times A1^2) + (nA2 \times A2^2) + (nA3 \times A3^2) - Mean \quad (3)$$

- d. Menghitung *Sum of Squares Due to Error*.

$$SS_e = SS_{Total} - SS_{mean} - SS_A - SS_B - SS_C \quad (4)$$

- e. Menentukan derajat bebas sumber-sumber variansi.

$$DFA = \text{jumlah level} - 1 \quad (5)$$

f. Menghitung *Mean Sum of Squares*.

$$DFM_A = \frac{SS_A}{DF_A} \tag{6}$$

g. Menghitung nilai F ratio.

$$F_A = \frac{M_A}{M_e} \tag{7}$$

h. Menghitung *pure sum of squares*.

$$SS'_A = SS_A - (DF_A \times M_e) \tag{8}$$

i. Menghitung *percent contribution*.

$$\rho A = \frac{SS'_A}{SSt} \times 100\% \tag{9}$$

4. Prediksi kondisi optimum [10]

$$\hat{\eta} = \eta_m + \sum_{i=1}^q (\bar{\eta}_n - \eta_m) \tag{10}$$

Dengan :

η_m : Nilai rata - rata dari data keseluruhan

$\bar{\eta}$: Nilai rata - rata pada level optimum

q : Jumlah variabel yang mempengaruhi respon

5. Uji verifikasi

Untuk membuktikan bahwa penelitian memadai maka dilakukan uji verifikasi dengan cara menguji kembali rancangan optimal tersebut, dan membandingkannya dengan prediksi kondisi optimum dan kondisi awal.

Objek penelitian yang digunakan adalah sepeda motor Yamaha Vega ZR tahun 2010 yang sistem bahan bakarnya telah dimodifikasi menjadi *electronic fuel injection* (EFI) merujuk pada artikel [11]. Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah variabel respon yaitu emisi gas buang (CO dan HC), dan variabel bebas yaitu bahan katalis (baja, kuningan, tembaga) yang merujuk pada penelitian [12] tentang spesifikasi baja, [13] tentang spesifikasi kuningan, dan [14] tentang spesifikasi tembaga, bentuk katalis (spiral, sarang lebah, dan jaring laba - laba), dan *biogasoline* dengan perbandingan (*ethanol* : bensin) 70:30, 75:25, dan 80:20. Dari variabel tersebut eksperimen ini dibagi menjadi 3 faktor dan masing - masing faktor dibagi menjadi 3 level dengan kode level faktor yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kode level faktor

Kode Faktor	Faktor	Kode Level		
		1	2	3
A	Bahan Katalis	Baja	Kuningan	Tembaga
B	Bentuk Katalis	Spiral	Sarang Lebah	Jaring Laba- Laba
C	Biogasoline	70:30	75:25	80:20

Berdasarkan jumlah faktor dan level tersebut dapat ditentukan *Orthogonal Array* yaitu $L_9(3^3)$, dimana akan dilakukan 9 kali pengujian dan setiap pengujian direplika sebanyak 3 kali sehingga total pengujian sebanyak 27 eksperimen. *Orthogonal Array* $L_9(3^3)$ dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Ortogonal Array $L_9(3^3)$

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

Pengumpulan data dilakukan dengan teknik pengujian secara langsung kepada objek penelitian dengan menggunakan alat *Gas Analyzer* untuk mengetahui hasil emisi gas buang. Dilakukan sesuai dengan *Ortogonal Array* yang telah ditentukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Data Penelitian

Berdasarkan hasil pengujian emisi gas buang kepada objek penelitian, telah didapatkan data CO dan HC yang dijelaskan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Hasil Uji CO

Order	Faktor			Emisi Gas Buang (CO)			Rata-rata	S/N Ratio
	A	B	C	Uji 1	Uji 2	Uji 3		
1	1	1	1	1.22	1.27	1.24	1.24	1.89
2	1	2	2	1.33	1.65	1.67	1.55	3.85
3	1	3	3	1.69	1.63	1.69	1.67	4.46
4	2	1	2	1.53	1.51	1.44	1.49	3.49
5	2	2	3	1.44	1.54	1.43	1.47	3.35
6	2	3	1	0.9	0.78	0.69	0.79	-2.00
7	3	1	3	1.41	1.84	1.34	1.53	3.78
8	3	2	1	1.43	1.87	1.24	1.51	3.73
9	3	3	2	1.27	1.35	1.34	1.32	2.41

Tabel 4. Hasil Uji HC

Order	Faktor			Emisi Gas Buang (HC)			Rata-rata	S/N Ratio
	A	B	C	Uji 1	Uji 2	Uji 3		
1	1	1	1	423	486	423	444.00	52.97
2	1	2	2	256	237	291	261.33	48.38
3	1	3	3	237	244	250	243.67	47.74
4	2	1	2	373	370	310	351.00	50.94
5	2	2	3	351	340	333	341.33	50.67
6	2	3	1	284	306	323	304.33	49.68
7	3	1	3	321	354	536	403.67	52.35
8	3	2	1	412	404	452	422.67	52.53
9	3	3	2	317	311	310	312.67	49.90

Dari Tabel 3 dan Tabel 4 didapatkan data hasil tiap pengujian, rata – ratanya, dan S/N Ratio. Berdasarkan data tersebut dapat ditentukan tabel respon rata – rata CO dan HC yang hasilnya ditunjukkan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Tabel Respon Rata – rata CO

	A	B	C
1	1.49	1.42	1.18
2	1.25	1.51	1.45
3	1.45	1.26	1.56
Diff	0.24	0.25	0.37
Rank	3	2	1
Optimum	A2	B3	C1

Tabel 6. Tabel Respon Rata – rata HC

	A	B	C
1	316.33	399.56	390.33
2	332.22	341.78	308.33
3	379.67	286.89	329.56
Diff	63.33	112.67	82.00
Rank	3	1	2
Optimum	A1	B3	C2

Bedasarkan Tabel 5 dan Tabel 6 rancangan optimal CO terdapat pada kombinasi level faktor A2, B3 dan C1. Sedangkan rancangan optimal pada HC terdapat pada kombinasi level faktor A1, B3, dan C2. Selanjutnya menentukan analisis variansi (ANOVA) yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. ANOVA CO

Parameter	SS	Df	Ms	Fratio	Ss'	Ratio %
A	0.30	2	0.15	3.54	0.21	10.12%
B	0.29	2	0.15	3.50	0.21	9.95%
C	0.67	2	0.34	8.09	0.59	28.21%
e	0.83	20	0.04	1	1.08	51.72%
SSt	2.10	26	0.67		2.10	100.00%
Mean	52.75	1				
SSTotal	54.85	27				

Tabel 8. ANOVA HC

Parameter	SS	Df	Ms	Fratio	Ss'	Ratio %
A	19543.63	2	9771.81	4.41	15113.02	9.84%
B	57134.52	2	28567.26	12.90	52703.91	34.31%
C	32604.96	2	16302.48	7.36	28174.36	18.34%
e	44306.07	20	2215.30	1	57597.90	37.50%
SSt	153589.19	26	5907.28		153589.19	100.00%
Mean	3171722.81	1				
SSTotal	3325312	27				

Dari Tabel 7 diketahui bahwa faktor yang memberikan pengaruh paling besar terdapat pada faktor C. pengaruh yang diberikan faktor C sebesar 28,21%, faktor A 10,12%, dan faktor

B 9,95%. Sedangkan pada tabel 8 diketahui bahwa faktor yang memberikan pengaruh paling besar terdapat pada faktor B. pengaruh yang diberikan faktor B sebesar 34,31%, faktor C 18,34%, dan faktor A 9,84%. Berdasarkan kombinasi hasil faktor didapatkan rancangan A2B3C1 untuk CO dan A2B3C1 untuk HC, kemudian ditentukan prediksi nilai hasil optimal yang hasilnya CO 0,91 % dan HC 227 ppm.

Uji Verifikasi

Pengujian verifikasi dengan tujuan untuk menentukan bahwa penelitian layak, dengan menguji rancangan optimal tersebut kemudian membandingkan hasil pengujian dengan nilai prediksi kondisi optimum dan kondisi awal.

Tabel 9 merupakan hasil data optimal dari A2B3C1 untuk CO dan A2B3C1 untuk HC. Terakhir melakukan perbandingan antara hasil data optimum, prediksi data optimum dan data awal yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 9. Hasil Data Optimal

Uji	CO	HC
1	0.88	225
2	0.94	231
3	0.90	227
Rata-rata	0.91	227
Standar Deviasi	0.02	3.27

Tabel 10. Hasil Uji Verifikasi

	Hasil Kondisi Optimum	Prediksi Kondisi Optimum	Kondisi awal
CO	0.91 %	0.90 %	2.45 %
HC	227 ppm	226.7 ppm	232 ppm

Dari Tabel 10 dapat dilihat bahwa perbedaan hasil kondisi optimum dan prediksi kondisi optimum cukup dekat, dan meningkat dari kondisi awal, yang mana menunjukkan bahwa penelitian memadai.

Pembahasan

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi emisi gas buang pada sepeda motor. Salah satu faktor yang mempengaruhi emisi gas buang yaitu *catalytic converter* untuk mengkonversikan senyawa-senyawa beracun dalam gas buang menjadi zat-zat yang kurang beracun dan tidak beracun [15]. Berdasarkan tujuan penelitian ini yaitu mengetahui bahan dan bentuk katalis pada *catalytic converter* yang optimal terhadap emisi gas buang khususnya pada CO dan HC pada sepeda motor Yamaha Vega ZR yang telah dimodifikasi menggunakan sistem bahan bakar injeksi dengan bahan bakar biogasoline sebagai bahan bakar utamanya. Dengan cara melakukan pengujian menggunakan dua faktor katalis dan satu faktor bahan bakar. Faktor katalis yang dimaksud yaitu : 1. Bahan katalis dengan tiga level faktor baja, kuningan, dan tembaga. 2. Bentuk katalis dengan tiga level faktor spiral, jaring laba – laba, dan sarang lebah. Adapun faktor bahan bakar yang dimaksud yaitu biogasoline dengan tiga level faktor perbandingan bensin dengan etanol 70:30, 75:25, dan 80:20.

Telah didapatkan hasil yang paling optimal dalam mengurangi CO adalah katalis dengan bahan kuningan dan berbentuk jaring laba – laba serta bahan bakar *biogasoline* pada perbandingan 70:30. Dengan hasil CO yang didapat yaitu sebesar 0,91%. Dimana faktor yang paling mempengaruhi adalah bahan bakar *biogasoline* yaitu sebesar 28,21%. Sedangkan yang paling optimal dalam mengurangi HC adalah katalis dengan bahan baja dan bentuk jaring laba

– laba dengan perbandingan bahan bakar *biogasoline* 75:25. Dengan hasil HC yang didapat yaitu sebesar 227 ppm, dan faktor yang paling mempengaruhi yaitu bahan katalis yaitu sebesar 34,31%.

Pada uji verifikasi dilakukan perbandingan antara hasil pengujian yang paling optimal dengan pengujian awal yang telah dilakukan pada bahan dan bentuk katalis pada *catalytic converter* dengan *biogasoline* sebagai bahan bakar utamanya, dengan tujuan untuk menentukan apakah hasil rancangan memadai. Dalam penelitian didapatkan hasil yang paling optimal dalam mengurangi CO adalah katalis dengan bahan kuningan dan berbentuk jaring laba – laba serta bahan bakar *biogasoline* pada perbandingan 70:30. Hasil yang didapatkan adalah 0,91% yang mana lebih baik dari kondisi awal yaitu 2,45% dan selisihnya dengan prediksi hasil optimum 0,01%. Sedangkan yang paling optimal pada HC adalah katalis dengan bahan baja dan bentuk jaring laba – laba dengan perbandingan bahan bakar *biogasoline* 75:25 yaitu sebesar 227 ppm, yang mana lebih baik dari kondisi awal yaitu 232 ppm dan selisihnya dengan prediksi hasil optimum 0,3 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa hasil rancangan penelitian yang didapat memadai.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Dalam mengurangi emisi CO pada sepeda motor 4 langkah yang telah dimodifikasi injeksi, katalis yang optimal digunakan pada *catalytic converter* adalah berbahan kuningan dan berbentuk jaring laba – laba dengan menggunakan bahan bakar *biogasoline* yang perbandingannya 70:30, yaitu sebesar 0,91% dan faktor yang paling mempengaruhinya adalah bahan bakar *biogasoline* yaitu sebesar 28,21%. Sedangkan dalam mengurangi emisi HC pada sepeda motor 4 langkah yang telah dimodifikasi injeksi, katalis yang optimal digunakan pada *catalytic converter* adalah berbahan baja dan berbentuk jaring laba – laba dengan menggunakan bahan bakar *biogasoline* yang perbandingannya 75:25, yaitu sebesar 227 ppm dan faktor yang paling mempengaruhi adalah bahan katalis yaitu sebesar 34,31%. *Catalytic converter* yang paling optimal untuk mengurangi HC dan CO adalah *catalytic converter* berbahan kuningan dan berbentuk jaring laba – laba dengan menggunakan bahan bakar *biogasoline* yang perbandingannya 70:30, karena berdasarkan Tabel 3 dan Tabel 4 memiliki CO yang paling rendah yaitu 0.79 % dan HC yang tidak terlalu tinggi yaitu 304.33ppm.

Saran

Pada penelitian ini, emisi gas buang yang diuji hanya pada CO dan HC saja. Pada penelitian selanjutnya dapat dikembangkan pada emisi gas buang yang lainnya. Dan juga dalam penggunaan *catalytic converter* perlu diperhatikan ukuran katalisnya dengan menyesuaikan dengan bentuk knalpot pada kendaraan supaya tidak terjadi kebocoran pada knalpot dan mendapatkan hasil yang optimal. Serta pembaca dan peneliti selanjutnya dapat mengembangkan bahan dan bentuk katalis, juga pada bahan bakar *biogasoline* yang lebih optimal dalam mengurangi emisi gas buang.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] A. Wardhana, Dampak Pencemaran Lingkungan Edisi II, Andi Offset, 1995.
- [2] Chusnul. M, “Study Penggunaan Katalis CuO/yAL2O3 sebagai Catalytic Converter Untuk Mereduksi Emisi CO,” ITS, Surabaya, 2005.
- [3] Dowden, Catalytic Hand Book, New York: Atall, 1970.

- [4] A. Yuliasuti, "Estimasi Sebaran Keruangan Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Di Kota Semarang," Undergraduate thesis, Universitas Diponegoro, 2008.
- [5] Warju, "catalytic converter tembaga berlapis mangan terhadap kadar polutan gas buang motor bensin empat langkah," 2006.
- [6] A. Mokhtar, "Catalytic Converter Jenis Katalis Plat Tembaga Berbentuk Sarang Lebah untuk Mengurangi Emisi Kendaraan Bermotor," Jurnal Gamma, 2014.
- [7] B. Ardiansyah, "Studi Kimia Antar Muka pada Reaksi Hidrogenasi," 2010.
- [8] I. G. Wiratmaja, "Analisa Unjuk Kerja Motor Bensin Akibat Pemakaian Biogasoline," Jurnal Energi Dan Manufaktur, 2010.
- [9] M. S. Phadke, *Quality Engineering Using Robust Design*, New Jersey: AT&T Bell Laboratories, 1989.
- [10] S. Apreza, "Optimasi Kekerasan Permukaan Proses Pembubutan Baja ST.42 Dengan Metode Taguchi," Manutech, 2017.
- [11] W. D. V. Yansyah, "Rancang Bangun Sistem Injeksi Sepeda Motor 4 Langkah," no. Journal of Automotive Engineering and Vocational Education, 2022.
- [12] S. G. Tarkono dan Zulhanif, "Studi Penggunaan Elektroda Las yang Berbeda terhadap Sifat Mekanik Pengelasan SMAW Baja AISI1045," Jurnal mechanical, Vol. 3, No. 2, 2012.
- [13] S. Syahruji dan A. Ghofur, "Penggunaan Kuningan Sebagai Bahan Catalytic Converter Terhadap Emisi Gas Buang Dan Performa Mesin Suzuki Shogun Axelo 125," Vol. 4 No. 2 : SJME Kinematika , 2019.
- [14] R. Hartati, "Penentuan tembaga dalam contort geokimia di daerah Bangko, Cara Graphite Furnace AAS," Jurnal Indo Kimia, Vol.2 No. 56, pp. 215-220, 1996.
- [15] I. P. Chaniago, "Optimasi Sistem Pengapian Terhadap Emisi Gas Buang Sepeda Motor 4 Langkah Dengan Metode Taguchi," Jurnal Teknologi Dan Pendidikan Vokasi Indonesia, 2023.

Halaman ini sengaja dikosongkan