

## **PENGARUH *METALLIC CATALYTIC CONVERTER* TEMBAGA BERLAPIS *CHROME* DALAM MENURUNKAN EMISI GAS BUANG MESIN SEPEDA MOTOR EMPAT LANGKAH**

**Sudirman Rizki Ariyanto**

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin  
Universitas Negeri Malang  
Email: sudirman.rizki.2005168@students.um.ac.id

**Retno Wulandari**

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin  
Universitas Negeri Malang  
Email: retno.wulandari.ft@um.ac.id

**Suprayitno**

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin  
Universitas Negeri Malang  
Email: suprayitno@um.ac.id

**Pramuko Ilmu Purboputro**

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin  
Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Email: pip272@ums.ac.id

### **ABSTRAK**

Logam transisi telah muncul dan mulai banyak diteliti sebagai bahan alternatif dalam pembuatan *metallic catalytic converter* (MCC). Pemilihan logam transisi didasari oleh ketersediaan bahan dipasaran yang melimpah, disamping itu harga logam transisi cenderung lebih murah bila dibandingkan dengan PGM. Oleh karena itu, melalui penelitian ini dilakukan analisis pengaruh MCC tembaga berlapis *chrome* (CuCr) terhadap emisi gas buang CO dan HC. Pengujian emisi dilakukan melalui dua kondisi. Kondisi pertama adalah kondisi dimana kendaraan uji masih menggunakan knalpot standar, sedangkan pada kondisi kedua kendaraan uji menggunakan knalpot modifikasi yang dilengkapi dengan teknologi MCC CuCr. Kendaraan uji yang digunakan adalah Honda Supra Fit tahun 2005. Proses pengujian emisi dilakukan berdasarkan standar SNI 09-71118.1-2005 yang kemudian dibandingkan dengan Peraturan Menteri lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006. Temuan penelitian menunjukkan bahwa MCC CuCr terbukti mampu menurunkan emisi gas buang dengan rata-rata penurunan sebesar 24% untuk emisi CO dan sebesar 30% untuk emisi HC. Hasil uji emisi menunjukkan bahwa emisi CO yang terukur sebesar 1.68 %Vol sedangkan ambang batas emisi CO sebesar 5.5 %Vol. Sementara itu, emisi HC yang terukur sebesar 1719 ppmVol sedangkan ambang batas emisi HC sebesar 2400 ppmVol. Dengan demikian, dapat ditarik kesimpulan bahwa MCC CuCr lulus uji emisi sesuai dengan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 5 tahun 2006.

**Kata kunci:** *metallic catalytic converter*, tembaga berlapis *chrome*, emisi CO, emisi HC.

## ABSTRACT

*Transition metals have emerged and have begun to be widely researched as alternative materials in the manufacture of metallic catalytic converters (MCC). The selection of transition metals is based on the availability of abundant materials in the market, besides that the price of transition metals tends to be cheaper when compared to PGM. Therefore, through this study, an analysis of the effect of chrome-plated copper MCC (CuCr) was carried out on CO and HC exhaust emissions. Emission testing is carried out under two conditions. The first condition is the condition where the test vehicle still uses a standard exhaust, while in the second condition the test vehicle uses a modified exhaust equipped with MCC CuCr technology. The test vehicle used was the 2005 Honda Supra Fit. The emission testing process was carried out based on the SNI 09-71118.1-2005 standard which was then compared with the Regulation of the Minister of the Environment, Number 05 of 2006. The research findings show that MCC CuCr is proven to be able to reduce exhaust emissions by an average reduction of 24% for CO emissions and 30% for HC emissions. The emission test results show that the measured CO emission is 1.68% Vol while the CO emission threshold is 5.5% Vol. Meanwhile, the measured HC emission is 1719 ppmVol while the HC emission threshold is 2400 ppmVol. Therefore, it can be concluded that MCC CuCr passed the emission test in accordance with the Regulation of the State Minister of the Environment number 5 of 2006.*

**Keywords:** *metallic catalytic converter, chrome plated copper, CO emission, HC emission.*

## 1. PENDAHULUAN

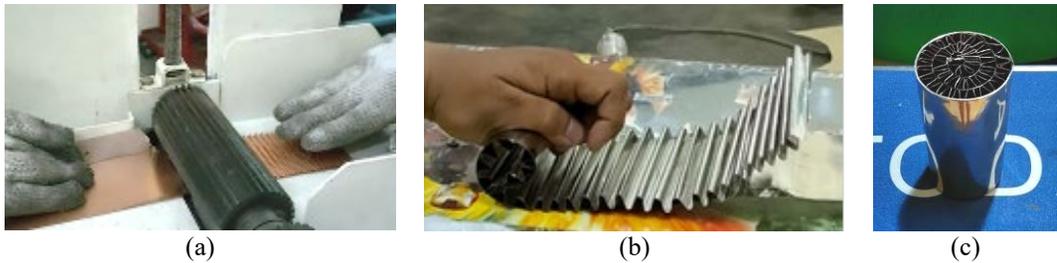
Logam transisi telah muncul dan mulai banyak diteliti sebagai bahan alternatif dalam pembuatan *metallic catalytic converter* (MCC). Logam transisi memiliki keunggulan tersendiri jika dibandingkan dengan logam jenis lain seperti logam mulia atau yang lebih dikenal dalam kelompok *platinum group metal* (PGM). Keunggulan tersebut diantaranya adalah ketersediaan bahan dipasaran yang melimpah, disamping itu harga logam transisi cenderung lebih murah bila dibandingkan dengan PGM. Kemampuan logam transisi dalam proses oksidasi emisi gas buang tentu tidak sebaik PGM. PGM mampu mengoksidasi emisi karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) hingga 99% [1], sedangkan logam transisi mampu mengoksidasi emisi CO dan HC hingga 96% [2]. Oleh karena itu, logam transisi dapat dipertimbangkan untuk digunakan sebagai bahan dasar proses pembuatan *catalytic converter*.

Bagus Irawan, Purwanto, & Hadiyanto (2015) [3] mengatakan bahwa beberapa logam transisi yang efektif digunakan sebagai katalis reduksi dan oksidasi meliputi Mn, Cu, Ni, Fe, Cr, Zn dan oksidanya. Dari beberapa logam transisi tersebut tembaga menjadi salah satu material yang paling banyak digunakan. Biaya lebih rendah dan kelimpahan bahan dipasaran menjadi beberapa alasan tembaga (Cu) layak digunakan sebagai bahan dasar katalis [4]. Selain itu, kemampuannya yang cukup efektif dalam proses reduksi dan oksidasi menjadi alasan kuat material ini banyak diminati. Rathore, Thakur, & Deepak (2018) melalui penelitiannya menunjukkan bahwa MCC berbahan tembaga yang dilapisi nano partikel mampu menurunkan emisi CO berkurang dari 1.25 %Vol menjadi 0.8 %Vol, dan emisi HC berkurang dari 962 ppmVol menjadi 862 ppmVol. Shoffan, Sumarli, & Nauri (2019) melalui penelitiannya menunjukkan bahwa MCC Cu dengan desain tabung bundar terbukti efektif dan efisien dalam menurunkan emisi gas buang, presentase penurunan emisi CO terjadi hingga sebesar 16.67% sedangkan emisi HC turun hingga sebesar 32.54% [5]. Sementara itu, Warju & Drastiawati (2019) melakukan penelitian MCC Cu yang dilapisi oleh TiO<sub>2</sub>. Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi CO mampu turun hingga sebesar 57% sedangkan emisi HC turun hingga sebesar 71%.

Berdasarkan literatur, ditemukan bahwa material *chrome* juga layak digunakan sebagai bahan pelapis MCC tembaga. Oleh karena itu, dalam artikel ini dilakukan percobaan untuk menyelidiki pengaruh MCC tembaga berlapis *chrome* (CuCr) terhadap emisi gas buang. Proses pelapisan dilakukan dengan pada plat tembaga dengan metode *electroplating*. MCC kemudian dibuat dan efek penggunaan MCC CuCr terhadap emisi CO dan HC dianalisis pada sepeda motor empat langkah.

## 2. METODE

### 2.1 Desain Penelitian



Gambar 1. Proses Pembuatan MCC

Penelitian berjenis eksperimen ini menggunakan teknologi MCC CuCr sebagai objek penelitian. Bahan dasar yang digunakan dalam pembuatan MCC adalah plat tembaga dengan ketebalan 0.15 mm. Plat tersebut kemudian dipotong hingga diperoleh dimensi tinggi MCC sepanjang 103.6 mm. Plat tersebut ditekuk menggunakan alat cetak MCC dengan tinggi lekukan 10 mm (Gambar 1.a). Selanjutnya, plat berlekuk digulung (Gambar 1.b) dan dimasukkan pada pipa dengan diameter 63.4 mm (Gambar 1.c). MCC CuCr yang telah dibuat kemudian dipasang pada knalpot modifikasi dan siap untuk dilakukan pengujian emisi CO dan HC sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Knalpot Modifikasi yang Dilengkapi dengan MCC CuCr

### 2.2 Instrumen dan Peralatan Penelitian

Kendaraan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Honda Supra Fit tahun 2005. Instrumen penelitian meliputi *digital tachometer*, *chasis dynamometer*, dan *exhaust gas analyzer* HG-510. Peralatan penelitian meliputi *blower* yang digunakan sebagai media pendingin bagi kendaraan [6]. Agar data yang didapatkan valid dan reliabel, maka proses pengujian emisi disesuaikan berdasarkan standar SNI 09-71118.1-2005 [7]. Kemudian, data hasil pengujian dibandingkan dengan Peraturan Menteri lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006, tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama, dimana sepeda motor 4 langkah dengan tahun pembuatan < 2010 pada parameter putaran *idle* kadar emisi CO yang diizinkan maksimal 5.5% [8]. Selanjutnya, data hasil pengujian dibandingkan dengan data knalpot standar untuk melihat fenomena yang terjadi antara kadar emisi CO dan HC pada sistem pembuangan knalpot standar dengan knalpot yang telah dimodifikasi menggunakan MCC CuCr.



Gambar 3. Instrumen dan Peralatan Penelitian

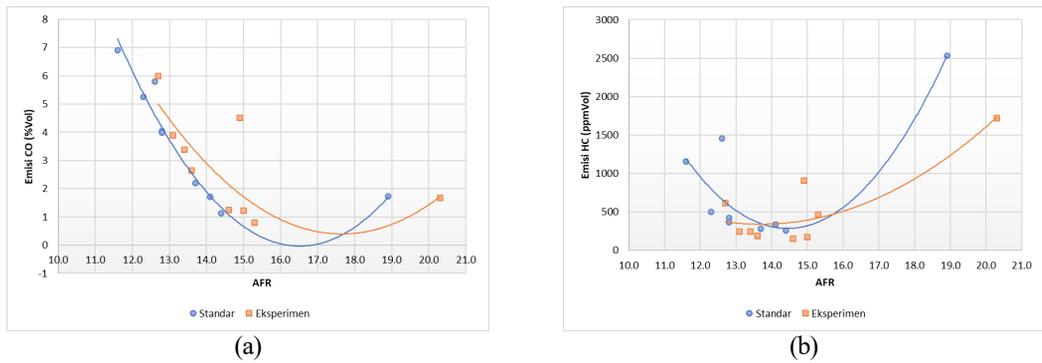
### 3. Hasil dan Pembahasan

Kemampuan MCC CuCr dalam menurunkan emisi CO dan HC pada sistem pembuangan sepeda motor Honda Supra Fit tahun 2005 dapat dilihat pada Tabel 1. Melalui tabel tersebut, kita dapat mengetahui bahwa produk utama yang dihasilkan Ketika udara dan bahan bakar bercampur diruang bakar adalah emisi CO dan HC. Besarnya CO dan HC yang terukur menunjukkan bahwa pembakaran tidak terjadi secara sempurna [9]. Indikator pembakaran sempurna dapat kita ketahui melalui *Air-Fuel Ratio* (AFR). Agar proses pembakaran dapat bertahan pada tingkat ideal atau stoikiometrik, maka campuran perlu diupayakan agar sedekat mungkin dengan 14.7:1 (14.7 kg udara dan 1 kg bahan bakar).

Tabel 1. Data Hasil Pengujian MCC CuCr

Knalpot	RPM	AFR	Temp	CO	HC	CO2	O2
Standar	1000	18.9	21	1.73	2529	6.2	7.33
	2000	12.6	51	5.8	1453	8.6	2.09
	3000	11.6	85	6.91	1156	8.2	1.31
	4000	12.3	117	5.26	503	10.3	0.32
	5000	12.8	171	4.04	420	10.9	0.31
	6000	12.8	260	3.98	367	10.7	0.25
	7000	13.7	301	2.2	277	12.1	0.34
	8000	14.1	384	1.71	334	12	0.7
	9000	14.4	464	1.13	255	12.7	0.62
Eksperimen	1000	20.3	30	1.68	1719	6.8	7.91
	2000	14.9	78	4.52	909	7.3	4.18
	3000	12.7	139	5.99	613	7.9	1.89
	4000	13.1	184	3.89	245	10.3	0.66
	5000	13.4	277	3.38	244	11.1	0.57
	6000	13.6	381	2.65	187	11.3	0.44
	7000	14.6	418	1.24	151	11.7	0.86
	8000	15.0	535	1.22	170	11.8	1.34
	9000	15.3	673	0.8	463	12.3	1.75

Campuran bahan bakar kaya ditunjukkan dengan nilai AFR kurang dari 14,7, sedangkan campuran bahan bakar miskin ditunjukkan dengan nilai AFR lebih dari 14.7. AFR yang cenderung miskin dari stoikiometrik, maka lebih banyak NO<sub>x</sub> yang dihasilkan. Namun, jika AFR cenderung kaya, maka lebih banyak HC dan CO yang dihasilkan [10]. Fenomena tersebut dapat kita lihat pada gambar berikut.

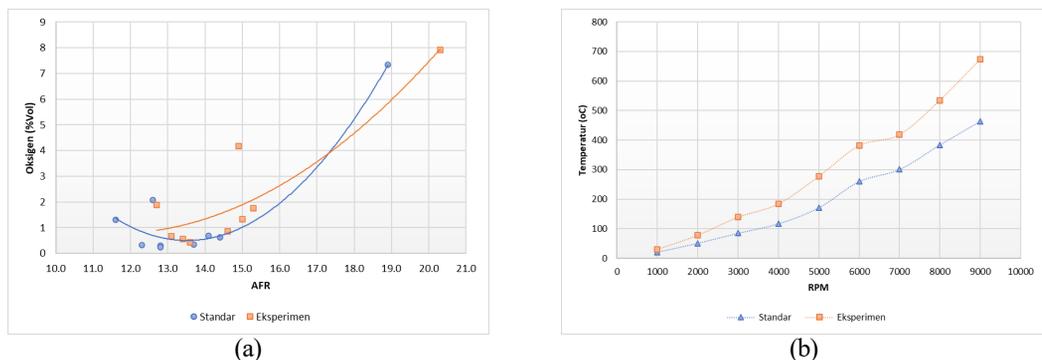


Gambar 4. Tren AFR dengan (a) Emisi CO dan (b) Emisi HC

Dari gambar 4a, dapat kita lihat bahwa pada kisaran campuran bahan bakar kaya (AFR >14.7), emisi CO cenderung lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa bahan bakar memiliki kandungan udara kurang dari rasio stoikiometri. Sementara itu, pada kisaran campuran bahan bakar miskin (AFR <14.7), emisi CO cenderung lebih rendah. Hal ini disebabkan kandungan udara lebih besar dari rasio stoikiometrik [11]. Dalam kondisi ini, jika campuran bahan bakar tidak sesuai dengan rasio stoikiometrik maka akan berpengaruh besar terhadap kesempurnaan proses pembakaran. Campuran udara dan bahan bakar cenderung tidak homogen sehingga emisi CO mudah terbentuk.

Selama kondisi operasi dengan kriteria campuran kaya, proses pembakaran yang tidak sempurna juga mengarah pada pembentukan emisi HC yang cukup tinggi (Gambar 4b). Kemudian, emisi HC cenderung saat mendekati campuran stoikiometrik (14.7:1). Sementara itu, saat kendaraan mengarah pada campuran miskin, emisi HC cenderung kembali meningkat. Saxena et al. (2021) [12] mengungkapkan bahwa meningkatnya konsentrasi HC umumnya disebabkan oleh beberapa alasan seperti retensi bahan bakar yang tidak terbakar di celah-celah silinder mesin, struktur bahan bakar yang jauh dari stoikiometrik, suhu pembakaran, dan waktu tinggal campuran bahan bakar dan udara di ruang bakar.

Secara umum, penggunaan MCC CuCr pada sistem pembuangan sepeda motor Honda Supra Fit tahun 2005 terbukti mampu menurunkan konsentrasi emisi CO dan HC. Persentase penurunan rata-rata emisi CO sebesar 24% sedangkan emisi HC menurun dengan persentase rata-rata sebesar 30% jika dibandingkan dengan knalpot standar. Hasil pengujian emisi diketahui bahwa pada putaran *idle* ( $\pm 1000$  RPM), proses pembakaran cenderung kurang sempurna. Ini terjadi karena AFR terukur cenderung miskin (Tabel 1), atau dengan kata lain jumlah udara lebih banyak dari bahan bakar. Seiring dengan bertambahnya putaran mesin, AFR terukur cenderung mendekati pada tingkat ideal atau stoikiometrik. Akibatnya, emisi CO dan HC terukur cenderung menurun. Sementara itu, pada putaran tinggi AFR terukur cenderung kaya, namun AFR masih berada di dekat tingkat ideal sehingga jumlah emisi CO yang dihasilkan cenderung terus berkurang. Tren penurunan emisi CO pada AFR miskin disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi oksigen ( $O_2$ ) yang menunjukkan terjadinya proses oksidasi emisi CO menjadi  $CO_2$  [13]. Lebih jelasnya, tren peningkatan konsentrasi  $O_2$  dapat dilihat pada Gambar 5a.



Gambar 5. (a) Tren AFR dengan Oksigen dan (b) Tren RPM dengan Temperatur

Dengan menggunakan MCC CuCr, diperoleh permukaan katalis yg optimum dan mampu menurunkan emisi CO dan HC. Ini, juga dibuktikan dari hasil penelitian MCC CuCr yang menunjukkan bahwa rata-rata emisi CO dan HC masing-masing menurun sebesar 24% dan 30%. Penurunan tersebut tidak hanya disebabkan oleh banyaknya permukaan katalis yang bersinggungan dengan gas buang, tetapi juga dipengaruhi oleh tingginya temperatur gas buang. Suhu yang relatif rendah 30-673°C (Gambar 5b) akan berpengaruh terhadap penurunan energi aktivasi yang nantinya dapat membantu mempercepat proses oksidasi dari CO menjadi CO<sub>2</sub> dan HC menjadi H<sub>2</sub>O [14].

Lebih lanjut, hasil uji emisi CO dan HC dari data knalpot standar dan eksperimen sepeda motor Honda Supra Fit tahun 2005 perlu dibandingkan dengan regulasi pemerintah. Regulasi tersebut mengacu pada ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor lama kategori L (sepeda motor 4 langkah) yang disematkan dalam Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 5 tahun 2006. Hasil perbandingan dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 2. Perbandingan Hasil Uji Emisi CO dan HC Terhadap Peraturan Pemerintah**

Emisi	Putaran	Ambang Batas	Knalpot	Hasil	Lulus/Tidak
CO	<i>idle</i>	5,5 %Vol	Standar	1.73 %Vol	Lulus Uji Emisi
			Eksperimen	1.68 %Vol	Lulus Uji Emisi
HC	<i>idle</i>	2400 ppmVol	Standar	2529 ppmVol	Tidak Lulus Uji Emisi
			Eksperimen	1719 ppmVol	Lulus Uji Emisi

Dari Tabel 2, dapat disimpulkan bahwa penggunaan MCC CuCr pada sistem pembuangan sepeda motor Honda Supra Fit tahun 2005 terbukti dapat menurunkan konsentrasi emisi CO jika dibandingkan dengan knalpot standar. Baik knalpot standar maupun eksperimen masuk dalam kategori lulus uji emisi. Ini dikarenakan emisi CO terukur menunjukkan bahwa baik knalpot standar maupun eksperimen menghasilkan emisi CO dibawah ambang batas yakni 5.5 %Vol. Lebih lanjut, hasil uji emisi HC pada knalpot eksperimen juga menunjukkan tren yang positif sehingga masuk dalam kategori lulus uji emisi. Ini dikarenakan dari ambang batas sebesar 2400 ppmVol yang diizinkan pemerintah, penggunaan MCC CuCr hanya menghasilkan emisi HC sebesar 1719 ppmVol, sedangkan knalpot standar tidak lulus uji emisi karena menghasilkan emisi HC sebesar 2529. Dilihat dari keseluruhan, maka tentunya penggunaan knalpot eksperimen berteknologi MCC CuCr masuk dalam kategori lulus uji emisi baik untuk emisi CO maupun HC. Sementara itu, untuk knalpot standar masuk kategori tidak lulus uji emisi meskipun terdapat salah satu emisi yang memenuhi standar. Ini tentu dikarenakan tolak ukur yang ditentukan oleh pemerintah dalam menentukan lulus dan tidaknya uji emisi berdasarkan dua parameter tersebut, sehingga jika terdapat salah satu parameter yang tidak sesuai maka tentunya akan dimasukkan dalam kategori tidak lulus uji emisi.

#### 4. Kesimpulan

Dalam penelitian ini, pengaruh MCC tembaga berlapis *chrome* (CuCr) diselidiki. Pengujian emisi CO dan HC dilakukan di atas *chasis dynamometer* yang berarti pengujian dilakukan dengan menggunakan beban. Selain itu, pengujian emisi juga dilakukan pada berbagai putaran mesin mulai dari RPM 100 hingga 9000. Temuan penelitian menunjukkan bahwa MCC CuCr terbukti mampu menurunkan emisi gas buang dengan rata-rata penurunan sebesar 24% untuk emisi CO dan sebesar 30% untuk emisi HC. Hasil uji emisi menunjukkan bahwa emisi CO yang terukur sebesar 1.68 %Vol sedangkan ambang batas emisi CO sebesar 5.5 %Vol. Sementara itu, emisi HC yang terukur sebesar 1719 ppmVol sedangkan ambang batas emisi HC sebesar 2400 ppmVol. Oleh karena itu, dapat ditarik kesimpulan bahwa MCC CuCr lulus uji emisi sesuai dengan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 5 tahun 2006 untuk kendaraan bermotor lama kategori L (sepeda motor 4 langkah).

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih diberikan kepada Universitas Negeri Malang yang telah memberikan pendanaan untuk penelitian ini dalam skema PNBPN UM 2021 dengan nomor kontrak 5.3.891/UN32.14.1/LT/2021. Selain itu, terimakasih juga diberikan untuk Laboratorium Pengujian Performa Mesin di Jurusan Teknik

Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya yang berkenan memfasilitasi proses pengambilan data dalam penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Khivantsev *et al.*, “Palladium/Zeolite Low Temperature Passive NO<sub>x</sub> Adsorbers (PNA): Structure-Adsorption Property Relationships for Hydrothermally Aged PNA Materials,” *Emiss. Control Sci. Technol.*, vol. 6, no. 2, pp. 126–138, Jun. 2020, doi: 10.1007/s40825-019-00139-w.
- [2] Warju, “Pengaruh Penggunaan Catalytic Converter Tembaga Berlapis Mangan Terhadap Kadar Polutan Gas Buang Motor Bensin Empat Langkah,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2006.
- [3] R. M. Bagus Irawan, P. Purwanto, and H. Hadiyanto, “Optimum Design of Manganese-coated Copper Catalytic Converter to Reduce Carbon Monoxide Emissions on Gasoline Motor,” *Procedia Environ. Sci.*, vol. 23, pp. 86–92, 2015, doi: 10.1016/j.proenv.2015.01.013.
- [4] S. Dey and G. Chandra Dhal, “Controlling carbon monoxide emissions from automobile vehicle exhaust using copper oxide catalysts in a catalytic converter,” *Mater. Today Chem.*, vol. 17, p. 100282, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.mtchem.2020.100282.
- [5] I. A. N. Shoffan, S. Sumarli, and I. M. Nauri, “The effect of copper-based catalytic converter with circular tube shape on exhaust emission of Yamaha Vixion 1PA,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 669, p. 012014, Nov. 2019, doi: 10.1088/1757-899X/669/1/012014.
- [6] R. S. Hidayatullah, I. W. Susila, I. M. Arsana, Warju, and S. R. Ariyanto, “The Effectiveness of Using Variations in Fuel Against Engine Performance 4 Steps 100 CC with Compression Ratio 8:1,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1125, no. 1, p. 012120, May 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1125/1/012120.
- [7] SNI 09-7118.2-2005, *Exhaust gas emissions - Moving sources - Part 2: How to test motorized M, N, and O category vehicles with compression-ignition engine under free acceleration conditions*. Indonesia: National Standardization Agency (NSA).
- [8] Minister of Environment of the Republic of Indonesia, *Regulation of the Minister of Environment of the Republic of Indonesia Number 05 of 2006 concerning the Threshold of Old Motor Vehicle Exhaust Emissions*. Indonesia, 2006.
- [9] Warju, S. P. Harto, and Soenarto, “The Performance of Chrome-Coated Copper as Metallic Catalytic Converter to Reduce Exhaust Gas Emissions from Spark-Ignition Engine,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 288, no. 1, p. 012151, Jan. 2018, doi: 10.1088/1757-899X/288/1/012151.
- [10] R. N. Brady, “Internal Combustion (Gasoline and Diesel) Engines,” in *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, Elsevier, 2013.
- [11] D. A. Vallero, “Thermal reactions,” in *Air Pollution Calculations*, Elsevier, 2019, pp. 207–218.
- [12] M. R. Saxena, R. K. Maurya, and P. Mishra, “Assessment of performance, combustion and emissions characteristics of methanol-diesel dual-fuel compression ignition engine: A

- review,” *J. Traffic Transp. Eng. (English Ed.)*, vol. 8, no. 5, pp. 638–680, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.jtte.2021.02.003.
- [13] I. Prasetyo, S. Sarjito, and M. Effendy, “Analisa Performa Mesin dan Kadar Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor dengan Memanfaatkan Bioetanol dari Bahan Baku Singkong sebagai Bahan Bakar Alternatif Campuran Peralite,” *Media Mesin Maj. Tek. Mesin*, vol. 19, no. 2, pp. 43–54, Jan. 2019, doi: 10.23917/mesin.v19i2.5698.
- [14] G. Kyriakakis, “Extraction of Gold from Platinum Group Metal Ores,” in *Gold Ore Processing*, Elsevier, 2016, pp. 857–870.