



Pengaruh Penggunaan *Catalytic Converter* Kuningan Terhadap Emisi Gas Buang Mobil Antasari Evo I

Muhammad Nizar Ramadhan¹, Muhammad Adha², I. B. Nyoman Bayu Sivanatha³, Muhammad Irza Irawan⁴
^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat
⁴Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat
¹nizarramadhan@ulm.ac.id

Abstract

Vehicles are a means of transportation used by humans to support their daily activities. Its growth rate is getting higher, making this situation one of the causes of air pollution. One of the options in reducing dangerous motor exhaust emissions is to use a catalytic converter. Catalytic converter is a device that is installed in the exhaust channel of vehicles. The purpose of this study was to determine the effect of using a catalytic converter with a 2 mm thick brass plate material on the exhaust emissions of CO₂, CO and HC in the Antasari Evo I. The test was carried out by comparing the exhaust emissions produced by the standard exhaust and the exhaust that was installed with a catalytic converter based on variations in engine idle speed, 2000 rpm, 2500 rpm and 3000 rpm. From the results of the study it was found that the effect of using a catalytic converter with brass plate material placed on the exhaust gas channel can reduce the maximum CO₂ emission level by 42,85%, reduce the maximum CO₂ emission level by 83%, and reduce the maximum HC emission level by 18,4 %.

Keywords: catalytic converter, brass plate, exhaust emissions, machine rotation, Antasari Evo I

Abstrak

Kendaraan bermotor merupakan alat transportasi yang dipergunakan manusia dalam menunjang aktivitas sehari-hari. Tingkat pertumbuhannya yang semakin tinggi, membuat keadaan ini menjadi salah satu sumber penyebab terjadinya pencemaran udara. Salah satu opsi dalam mereduksi emisi gas buang motor yang berbahaya adalah dengan menggunakan catalytic converter. Catalytic converter adalah suatu alat yang dipasang pada saluran pembuangan kendaraan bermotor. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan *catalytic converter* dengan material plat kuningan ketebalan 2 mm terhadap emisi gas buang CO₂, CO dan HC pada Mobil Antasari Evo I. Pengujian dilakukan dengan membandingkan emisi gas buang yang dihasilkan knalpot standar dan knalpot yang dipasang *catalytic converter* berdasarkan variasi putaran mesin *idle*, 2000 rpm, 2500 rpm, dan 3000 rpm. Dari hasil penelitian didapat bahwa pengaruh penggunaan *catalytic converter* dengan material plat kuningan yang diletakkan pada saluran gas buang dapat menurunkan kadar emisi CO₂ maksimum sebesar 42,85 %, menurunkan kadar emisi CO maksimum sebesar 83 %, serta menurunkan kadar emisi HC maksimum sebesar 18,4 %.

Kata kunci: *catalytic converter*, plat kuningan, emisi gas buang, putaran mesin, Antasari Evo I

1. Pendahuluan

Jumlah kendaraan di Indonesia terus bertumbuh dari tahun ke tahun. Menurut data Korps Lalu Lintas Polri angka kendaraan bermotor yang teregistrasi per 3 Januari 2023 mencapai 152.565.905 unit. Jumlah kendaraan saat ini juga terekam melampaui setengah populasi Indonesia yang mencapai 276 juta jiwa [1].

Peningkatan jumlah kendaraan bermotor ini berdampak terhadap meningkatnya volume gas buang, sehingga menghasilkan banyak polusi udara. Emisi gas buang merupakan sisa hasil pembakaran mesin

bermotor. Biasanya emisi gas buang ini terjadi karena pembakaran yang tidak sempurna dari sistem pembuangan dan pembakaran mesin serta lepasnya partikel-partikel karena kurang tercukupinya oksigen dalam proses pembakaran tersebut [2].

Gas buang yang dihasilkan dari jutaan knalpot akan mengakibatkan berkurangnya kualitas udara dan dapat mencemari lingkungan. Oleh sebab itu, diperlukan kendaraan yang ramah lingkungan dengan cara meminimalkan kandungan CO dan HC yang terkandung pada emisi gas buang kendaraan.

Hampir 75% kontribusi polusi udara di perkotaan disebabkan oleh kendaraan bermotor. Sektor transportasi memegang peranan besar dalam kontribusi pencemaran udara, sedangkan proporsi gas pencemar terbesar adalah CO, seperti dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Sumber-Sumber Polusi Udara [3]

Sumber	Polutan (juta ton per tahun)					
	CO	Partikel	Sox	HC	Nox	Total
Transportasi	69,1	1,4	0,9	7,8	9,1	88,3
Pembakaran bahan bakar	2,1	1,4	19,0	0,2	10,6	33,3
Proses industri	5,8	3,7	3,8	10,8	0,7	24,8
Pembuangan limbah padat	2,2	0,4	0,0	0,6	0,1	3,3
Lain-lain (kebakaran hutan, pertanian)	6,2	0,9	0,0	2,4	0,2	9,7
Total	85,4	7,8	23,7	21,8	20,7	159,4

Salah satu cara untuk mereduksi tingkat emisi pada kendaraan bermotor berbahan bakar bensin adalah dengan menggunakan *catalytic converter*. *Catalytic converter* merupakan alat yang digunakan sebagai kontrol emisi gas buang yang diletakkan setelah *exhaust manifold* pada sistem pembuangan kendaraan bermotor [4].

Catalytic converter merupakan salah satu alternatif teknologi yang dapat digunakan untuk menurunkan polutan dari emisi kendaraan bermotor, khususnya untuk motor berbahan bakar bensin [5]. *Catalytic converter* berfungsi untuk mempercepat oksidasi emisi hidrokarbon (HC) dan karbon monoksida (CO). Tujuan pemasangan *catalytic converter* adalah merubah polutan yang berbahaya seperti CO dan HC menjadi gas yang tidak berbahaya seperti karbon dioksida (CO₂) dan uap air (H₂O) melalui reaksi kimia.

Catalytic converter terdiri atas bahan-bahan yang bersifat katalis yaitu bahan yang bisa mempercepat terjadinya reaksi kimia yang tidak mempengaruhi keadaan akhir kesetimbangan reaksi dan komposisi kimia katalis. Katalis dapat berfungsi sebagai zat pengikat [6]. Logam mulia seperti paladium, platinum dan rodium adalah salah satu bahan dasar yang digunakan untuk membuat *catalytic converter*, karena bahan tersebut memiliki luas permukaan spesifik yang besar. Namun kekurangan dari bahan tersebut memiliki harga yang mahal dan ketersediannya yang langka ditemui di alam [7].

Penggunaan logam transisi lebih diminati karena harganya relatif murah dari pada logam paladium, platinum dan rodium serta ketersediannya banyak di alam dan mudah didapat di pasaran [8]. Logam transisi serta paduannya banyak diteliti guna mengurangi kadar emisi gas buang CO dan HC yang

dipakai sebagai bahan dalam pembuatan *catalytic converter* [8].

Tabel 2. *Physical Properties* Kuningan [9]

Properti fisik	Satuan
Massa jenis	8.4 kg/dm ³
Titik lebur	885-910 °C
Modulus elastisitas	102 Gpa
Konduktifitas thermal	109 W/m.K
Konduktifitas listrik	13.9 m/Ω
Resistivas listrik	0.07 Ω mm ² /M
Koefisien ekspansi linier 20°C – 300 °C	21.1 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹
IAICS (International Standart)	24%

Tembaga (Cu) dan seng (Zn) merupakan salah satu logam paduan utama dari bahan kuningan. Bahan paduan utama kuningan adalah tembaga (Cu). Beberapa sifat yang dimiliki oleh tembaga antara lain berat jenisnya 8,9, titik leburnya hingga 1083 °C, mempunyai daya hantar listrik dan panas yang baik, serta tahan terhadap pengaruh udara lembab [10]. Bahan paduan utama kedua adalah seng (Zn). Seng memiliki sifat antara lain berat jenis 6,9 – 7,2, titik cair 419 °C, titik didih 420 °C, dan tahan udara lembab. Seng biasa digunakan untuk melapisi pelat besi agar tidak terjadi korosi [11].

Knalpot dengan penambahan *catalytic converter* dengan material plat kuningan ini diujikan pada mobil urban Antasari Evo I yang dibuat oleh Wasaka Team untuk turun dalam ajang Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE), seperti diperlihatkan dalam Gambar 1. KMHE merupakan sebuah lomba mobil irit bahan bakar tingkat nasional yang diselenggarakan oleh Puspresnas Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Republik Indonesia bekerja sama dengan Perguruan Tinggi. Kegiatan ini juga bertujuan menciptakan kendaraan hemat bahan bakar dan ramah lingkungan.



Gambar 1. Mobil Antasari Evo I

Pemilihan plat kuningan sebagai material yang digunakan sebagai *catalytic converter* dalam penelitian ini dikarenakan kuningan memiliki

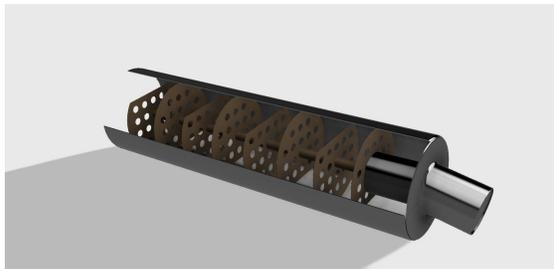
keunggulan, seperti mudah dituang, mudah disolder, mudah dilas, serta tahan terhadap penghantar melalui udara dan air [12]. Tujuan penelitian ini yaitu untuk melakukan proses manufaktur *catalytic converter* dengan menggunakan material plat kuningan. Selanjutnya dilakukan pengujian emisi (CO_2 , CO, dan HC) yang terkandung dalam gas buang dengan membandingkan analisa emisi antara knalpot standar dengan knalpot yang terpasang *catalytic converter* berdasarkan putaran mesin *idle*, 2000 rpm, 2500 rpm, dan 3000 rpm.

2. Metode Penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini terbagi atas dua tahapan, yaitu tahapan manufaktur *catalytic converter* dan tahapan pengujian emisi gas buang.

2.1. Pembuatan *Catalytic Converter*

Tahapan manufaktur *catalytic converter* dimulai dengan perancangan *catalytic converter* menggunakan aplikasi CAD yang hasilnya yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain knalpot dan *catalytic converter*

Setelah semua bahan dan alat terkumpul, langkah selanjutnya yaitu proses manufaktur yang dimulai dari pembuatan pola, pemotongan dan pengeboran pada plat kuningan. Plat kuningan yang digunakan berukuran 20×30 cm dengan ketebalan 2 mm. Plat tersebut kemudian dipotong dan disesuaikan dengan bentuk casing dan diberi lubang berdiameter 8 mm seperti dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil manufaktur plat kuningan

Proses selanjutnya yaitu pengaplikasian plat kuningan yang dipasang ke saringan knalpot dan mengatur jarak antar plat sehingga terlihat seperti berbentuk sekat seperti terlihat pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Pengaplikasian plat kuningan ke saringan



Gambar 5. Tampak depan pengaplikasian plat kuningan ke saringan

2.2. Pengujian *Catalytic Converter*

Tahapan ini dimulai dengan memanaskan mesin dalam kondisi *idle* (950-1000 rpm) sampai suhu oli mesin 700°C . Selanjutnya *gas analyzer* dinyalakan dan sensor pengukuran (*probe sensor*) dimasukkan ke mulut knalpot seperti dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Proses pemasangan *probe sensor* pada knalpot mobil Antasari Evo I

Proses ini dibiarkan berlangsung selama 15 menit sehingga alat ukur dapat melakukan pemanasan dalam menyerap gas buang dan melakukan pengukuran. Setelah alat ukur menunjukkan nilai emisi gas buang, maka hasil pengukuran dicetak seperti dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil pengukuran *gas analyzer*

Setelah selesai, *probe sensor* dilepas dari mulut knalpot, dan dibiarkan 10-15 menit agar gas buang sisa yang masuk pada alat ukur bersih. Kemudian dilanjutkan pengujian untuk variasi putaran mesin selanjutnya yang dilakukan dengan langkah yang sama.

3. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil pengujian *catalytic converter* dengan katalis berbahan kuning terhadap emisi gas buang berdasarkan variasi putaran mesin, maka didapatkan hasil pengujian seperti dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Emisi Gas Buang

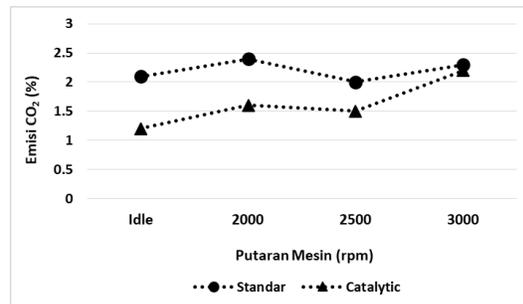
Knalpot	Putaran Mesin (rpm)	Hasil Emisi Gas Buang		
		CO ₂ (%)	CO (%)	HC (ppm)
Standar	Idle	2,1	1,96	103
	2000	2,4	0,74	111
	2500	2,0	0,44	92
	3000	2,3	0,32	125
Dengan <i>catalytic converter</i>	Idle	1,2	0,33	105
	2000	1,6	0,62	98
	2500	1,5	0,37	96
	3000	2,2	0,25	102

Seperti dapat dilihat pada data yang ditampilkan dalam Tabel 3, untuk pengujian emisi gas buang CO₂ pada knalpot standar, dalam posisi *idle* menghasilkan emisi CO₂ sebesar 2,1 %, pada putaran mesin 2000 rpm menghasilkan emisi CO₂ sebesar 2,4 %, pada putaran mesin 2500 rpm menghasilkan emisi CO₂ sebesar 2,0 %, dan pada putaran mesin 3000 rpm menghasilkan emisi CO₂ sebesar 2,3%. Sedangkan pada knalpot yang menggunakan *catalytic converter*, dalam posisi *idle* menghasilkan CO₂ sebesar 1,2 %, pada putaran mesin 2000 rpm menghasilkan emisi CO₂ sebesar 1,6 %, pada putaran mesin 2500 rpm menghasilkan emisi CO₂ sebesar 1,5 %, dan pada putaran mesin 3000 rpm menghasilkan emisi CO₂ sebesar 2,2 %.

Pada pengujian emisi gas buang CO dengan knalpot standar, dalam posisi *idle* menghasilkan emisi CO 1,96 %, pada putaran mesin 2000 rpm menghasilkan

emisi CO 0,74 %, pada putaran mesin 2500 rpm menghasilkan emisi CO 0,44 %, dan pada putaran mesin 3000 rpm menghasilkan emisi CO 0,32 %. Sedangkan pada knalpot yang menggunakan *catalytic converter*, dalam posisi *idle* menghasilkan emisi CO 0,33 %, pada putaran mesin 3000 rpm menghasilkan emisi CO 0,62 %, pada putaran mesin 2500 rpm menghasilkan emisi CO 0,37 %, dan pada putaran mesin 3000 rpm menghasilkan emisi CO 0,25 %.

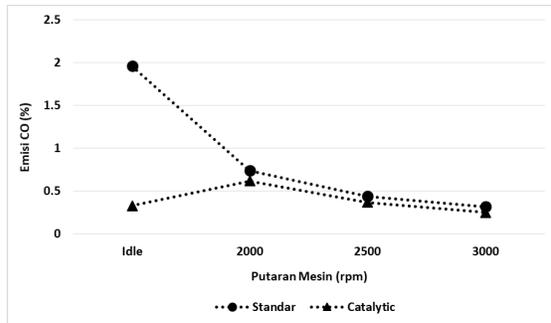
Untuk emisi gas buang HC, pada knalpot standar dalam posisi *idle* menghasilkan emisi HC 103 ppm, pada putaran mesin 2000 rpm menghasilkan emisi HC 111 ppm, pada putaran mesin 2500 rpm menghasilkan emisi HC 92 ppm, dan pada putaran mesin 3000 rpm menghasilkan emisi HC 125. Sedangkan pada knalpot yang menggunakan *catalytic converter*, dalam posisi *idle* menghasilkan HC 105 ppm, pada putaran mesin 2000 rpm menghasilkan emisi HC 98 ppm, pada putaran mesin 2500 rpm menghasilkan emisi HC 96 ppm, dan pada putaran mesin 3000 rpm menghasilkan emisi HC 102 ppm.



Gambar 8. Grafik perbandingan putaran mesin terhadap nilai emisi CO₂

Pada Gambar 8, dapat dilihat hubungan putaran mesin dan emisi CO₂ yang saling berbanding lurus. Jika CO₂ menunjukkan kenaikan maka semakin baik pembakaran yg terjadi. Perlu diingat juga bahwa sumber dari CO₂ ini hanya dari ruang bakar, apabila CO₂ terlalu rendah menunjukkan adanya kebocoran pada *exhaust pipe* [13]. Kenaikan kadar CO₂ ini juga disebabkan karena terlalu rapatnya posisi katalis yang menyebabkan gas buang tidak dapat keluar dengan sempurna, sedangkan CO₂ yang keluar dari ruang bakar terus bertambah pada saluran gas buang, sehingga menyebabkan proses katalisasi tidak dapat berlangsung dengan sempurna [6].

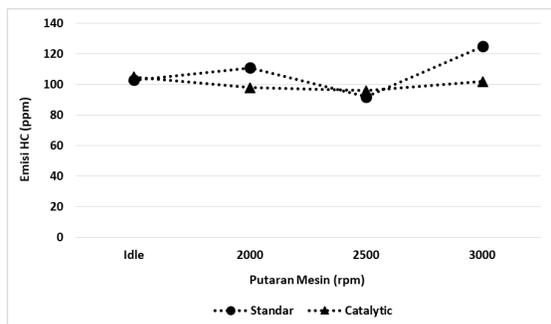
Penggunaan *catalytic converter* mampu menurunkan kadar emisi CO₂ bila dibandingkan dengan penggunaan knalpot standar. Knalpot dengan *catalytic converter* mampu menurunkan nilai emisi CO₂ pada posisi *idle* sebesar 42,85%, pada 2000 rpm sebesar 33.33 %, pada rpm 2500 sebesar 25 % dan pada 3000 rpm sebesar 4,34%.



Gambar 9. Grafik perbandingan putaran mesin terhadap nilai emisi CO

Pada Gambar 9, terlihat tren penurunan emisi CO seiring meningkatnya putaran mesin. Perubahan nilai emisi CO terjadi secara kontinyu seiring dengan bertambahnya kecepatan putaran mesin. Nilai CO tertinggi (1,96%) didapatkan pada knalpot standar saat posisi *idle*. Nilai CO yang tinggi pada posisi *idle* disebabkan panas pada mesin yang belum menyeluruh, sehingga tidak cukup oksigen dalam proses pembakaran sempurna [14]. Kemudian pada saat kecepatan putaran mesin semakin meningkat (2000-3000 rpm), nilai emisi CO semakin menurun disebabkan campuran yang berangsur-angsur semakin encer (*lean*) [15].

Dari perbandingan data pada Gambar 9, kinerja knalpot *catalytic converter* pada saluran gas buang dapat menurunkan konsentrasi emisi CO. Pada posisi *idle*, knalpot dengan *catalytic converter* mampu mereduksi emisi CO sebesar 83 %, pada 2000 rpm sebesar 16,21 %, pada 2500 rpm sebesar 15,91 % dan pada 3000 rpm terjadi kenaikan sebesar 21,87 %. Hal ini tentunya sejalan dengan pernyataan, bahwa reaksi katalitik pada katalis padat terjadi pada permukaan katalis, dan semakin luas permukaan katalis semakin cepat laju raksinya. Sehingga konsentrasi produk yang dihasilkan semakin rendah [16].



Gambar 10. Grafik perbandingan putaran mesin terhadap nilai emisi HC

Pada Gambar 10, menunjukkan hubungan yang berbanding lurus antara kecepatan putaran mesin dan emisi gas buang HC. Pada knalpot tanpa *catalytic converter*, emisi HC yang terkandung dalam gas buang semakin meningkat seiring semakin cepatnya putaran mesin, tetapi pada putaran mesin 2500 rpm

hasil emisi HC mengalami penurunan sebesar 92 ppm. Hal yang sama terjadi juga pada pengujian knalpot dengan menggunakan *catalytic converter*, dimana semakin cepatnya putaran mesin, maka emisi HC juga semakin tinggi. Tetapi pada putaran mesin 2500 rpm hasil emisi HC menurun yaitu sebesar 96 ppm. Penurunan kadar emisi HC ini disebabkan campuran yang berangsur-angsur menjadi encer (*lean*). Sedangkan peningkatan kadar emisi HC pada kecepatan putaran selanjutnya disebabkan adanya penambahan jumlah campuran bahan bakar dan udara baru akibat kenaikan putaran mesin di dalam proses untuk meningkatkan daya, sehingga pembakaran sempurna tidak tercapai [17].

Emisi HC mengindikasikan sisa bensin yang terbuang bersama asap knalpot. Emisi HC yang tinggi, menunjukkan ada 3 penyebab yaitu *catalytic converter* yang tidak berfungsi, *Air Fuel Ratio* (AFR) yang tidak tepat dan bensin tidak terbakar sempurna di ruang bakar [18]. Dilihat dari Gambar 10, pada posisi *idle* dengan *catalytic converter* didapatkan kenaikan nilai emisi HC sebesar 1,9 %, pada 2000 rpm mengalami penurunan HC sebesar 11,17 %, pada rpm 2500 kembali naik sebesar 4,34 % dan pada 3000 rpm kembali turun sebesar 18,4 %.

Dari percobaan yang telah dilakukan, penggunaan plat kuningan sebagai material *catalytic converter* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap emisi gas buang yang dihasilkan Mobil Antasari Evo I. Dengan perpaduan jenis logam tembaga dan seng, maka kuningan (70% Cu, 30% Zn) memungkinkan untuk digunakan sebagai *catalytic* pada saluran buang karena mempunyai konduktivitas termal sebesar 110 W/m.K dan titik lebur 900 °C. Semakin tinggi konduktivitas termal dan titik lebur atau *melting point*, maka semakin bagus pula bahan tersebut untuk digunakan sebagai *catalytic* [19].

4. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan *catalytic converter* dengan material plat kuningan yang diletakkan pada saluran gas buang, dapat menurunkan kadar emisi CO₂ maksimum sebesar 42,85 % bila dibandingkan dengan penggunaan knalpot standar. Selain itu, penggunaan *catalytic converter* berbahan kuningan juga mampu menurunkan kadar emisi CO maksimum sebesar 83 %, serta menurunkan kadar emisi HC maksimum sebesar 18,4 %.

Daftar Rujukan

- [1] R. Kurniawan, 2023. Jumlah Kendaraan di Indonesia Tembus 152 Juta di Awal 2023, KOMPAS.Com. [Online] (Updated 23 Jan 2023)
 Tersedia di : <https://otomotif.kompas.com/read/2023/01/10/064200415/jumlah-kendaraan-di-indonesia-tembus152>

- juta-di-awal-2023. [Accessed 8 Mei 2023].
- [2] F. W. Maleakhi et al., "Pengukuran Kadar Gas Emisi Kendaraan Menggunakan Arduino Keywords : Emission Gas , And Co," eProceedings, vol. 6, no. 2, pp. 3416–3426, 2020, [Online]. Available: <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/appliedscience/article/viewFile/14042/13782>
- [3] H. S. Peavy, G. Tchobanoglous, D. R. Rowe, 1985. *Environmental Engineering*. Kolombia: McGraw Hill.
- [4] W. L. Husselbee, 1985. *Automotive Cooling Exhaust, Fuel and Lubricating Systems*. Reston, Virginia : Prentice Hall Company
- [5] H. Heisler, 1995. *Advanced Engine Technology*. London : Hodder Headline Group
- [6] S. Syahrui and A. Ghofur, "Penggunaan Kuningan Sebagai Bahan Catalytic Converter Terhadap Emisi Gas Buang Dan Performa Mesin Suzuki Shogun Axelo 125," Sci. J. Mech. Eng. Kinemat., vol. 4, no. 2, pp. 67–78, 2019, doi: 10.20527/sjmekinematika.v4i2.118.
- [7] B. R. Irawan and M. Subri, "Unjuk Kemampuan Catalytic Converter Dengan Material Substrat Kuningan (Paduan CuZn) Untuk Mereduksi Gas Buang Motor Bensin," pp. 48–55, 2005.
- [8] I. Prasetyo and M. Fahrurrozi, "Penggunaan Catalytic Converter dari Bahan Kuningan dengan Ketebalan 0,2 mm Terhadap Emisi Gas Buang Kendaraan Pada Motor 2 Tak," Accurate J. Mech. Eng. Sci., vol. 1, no. 2, pp. 1–5, 2020, doi: 10.35970/accurate.v1i2.284.
- [9] R. Laminage, 2018. *Material Safety Data Sheets MSDS : BRASS CuZn28*. Jules, France : Robert Laminage SA
- [10] R. Bagus Irawan, "Efektifitas Pemasangan Catalytic Converter Kuningan Terhadap Penurunan Emisi Gas Carbon Monoksida Pada Kendaraan Motor Bensin," vol. 9, no. 1, pp. 31–38, 2009.
- [11] S. Sudarmadji, B. Haryono, dan Suhardi. 1998. *Prosedur Untuk Uji Analisis Makanan dan Pertanian*. Yogyakarta : Liberty
- [12] B. M. Zuhdi. 2012. *Kriya Logam Jurusan Pendidikan Seni Rupa Fakultas Bahasa dan Seni*. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta
- [13] I. Gasser, M. Rybicki, and W. Wollner, "Optimal control of the temperature in a catalytic converter," *Comput. Math. with Appl.*, vol. 67, no. 8, pp. 1521–1544, 2014, doi: 10.1016/j.camwa.2014.02.006.
- [14] H. Ling, Y. Xiu-Min, L. Guo-Liang, and X. Nan, "Dynamic Response of a Three-Way Catalytic Converter," *Energy Procedia*, vol. 17, pp. 547–554, 2012, doi: 10.1016/j.egypro.2012.02.134.
- [15] D. Fernandez, "Pengaruh Putaran Mesin Terhadap Emisi Gas Buang Hidrokarbon (Hc) Dan Karbon Monoksida (Co)," *J. Sainstek UNP*, vol. 12, no. 1, pp. 1–4, 2014.
- [16] Y. A. Wicaksono and Warju, "Pengaruh catalytic converter titanium dioksida terhadap emisi gas buang sepeda motor honda supra X 125," *J. Tek. Mesin UNESA*, vol. 3, no. 2, pp. 197–206, 2014, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/342338510_Pengaruh_Catalytic_Converter_Titanium_Dioksida_Terdapa_p_Emisi_Gas_Buang_Sepeda_Motor_Honda_Supra_X_125
- [17] A. Ghofur, "Carbon From Peat Soil As An (Hc) And Carbon Monoxide (CO) Emissions In Motor," no. May, pp. 251–256, 2022.
- [18] D. Wahyudi, M. A. Sahbana, and T. D. Putra, "Analisis Penggunaan Zat Aditif pada Bahan Bakar terhadap Emisi Gas Buang pada Mesin Sepeda Motor Yamaha," *Proton*, vol. 4, no. 2, pp. 10–15, 2012.
- [19] A. Razali, H. Maksun, and Daswarman, "Perbandingan gas karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) yang menggunakan catalyst kuningan dengan catalyst tembaga pada motor empat langkah," *Automot. Eng. Educ. Journals*, vol. 2, no. 2, p. 9, 2014, [Online]. Available: <http://ejournal.unp.ac.id/students/index.php/poto/article/view/3162>