

Pengaruh Jumlah Sekat Kuningan dan Serbuk TiO_2 Pada Catalytic Converter Terhadap Emisi Gas Buang Motor Bensin 125 cc

Muhammad Akhlis Rizza*, Moch. Anam Kapit

Abstrak—Pertumbuhan kendaraan bermotor di Indonesia meningkatkan polusi udara akibat emisi gas buang. Katalis dalam *catalytic converter* mempercepat reaksi tanpa berubah secara kimia untuk menurunkan emisi. Penelitian ini bertujuan mengurangi emisi gas buang dengan metode eksperimen pada motor 125 cc yang dilengkapi *catalytic converter* tambahan di leher knalpot. Pengujian emisi menggunakan gas analyzer dilakukan pada knalpot standar dan *catalytic converter* dengan variasi 4 dan 6 sekat, pada putaran 2000–7000 rpm. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan *catalytic converter* berbahan kuningan dan TiO_2 efektif menurunkan emisi CO sebesar 0,50 % pada 4 sekat dan 0,89 % pada 6 sekat di 6000 rpm. Emisi HC juga menurun pada 2000 rpm, dengan penurunan 399 ppm pada 4 sekat dan 124 ppm pada 6 sekat, sehingga *catalytic converter* ini terbukti mampu mengurangi emisi kendaraan.

Kata Kunci—*Catalytic Converter*, Emisi Gas Buang, TiO_2 , Motor Bensin, Knalpot.

I. PENDAHULUAN

PERTUMBUHAN jumlah kendaraan bermotor di Indonesia yang terus meningkat secara langsung dapat menyebabkan peningkatan polusi udara akibat emisi gas buang [1]. Penggunaan kendaraan bermotor menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan, terutama karena gas buang yang dihasilkan sebagai sisa pembakaran. Gas buang ini bersifat beracun dan mencemari lingkungan dalam bentuk polusi udara.

Jumlah kendaraan bermotor di Indonesia terus bertambah setiap tahunnya. Berdasarkan data Korps Lalu Lintas Polri, jumlah kendaraan bermotor yang teregistrasi per 3 Januari 2023 mencapai 152.565.905 unit. Angka ini menunjukkan kenaikan yang signifikan dibandingkan tahun 2020, di mana jumlah kendaraan bermotor di Indonesia tercatat sebanyak 136.137.451 unit [2].

Selain itu total emisi sektor transportasi di Indonesia telah mencapai 150 juta ton karbon dioksida ekuivalen, dengan sepeda motor menyumbang 36,1 persen atau sekitar 54,1 juta ton karbon dioksida ekuivalen dari total emisi tersebut. Gas-gas beracun yang keluar dari jutaan knalpot setiap harinya dapat menurunkan kualitas udara

serta memicu berbagai penyakit kronis pada manusia, tumbuhan, dan makhluk hidup lainnya [3].

Catalytic converter merupakan suatu alat yang dipasang di kendaraan yang berfungsi untuk mengurangi kadar emisi gas buang pada kendaraan dengan jalan bahwa semakin merata sisa gas buang yang mengenai permukaan *catalytic converter* maka akan semakin besar emisi gas buang yang di reduksi, dan alat yang dirancang untuk menetralkan senyawa-senyawa beracun dalam gas buang menjadi zat-zat yang kurang beracun [4].

II. LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

Penelitian oleh Feriansah dengan penelitian yang berjudul “Studi Eksperimental Reduksi Emisi Gas Buang Dengan Catalytic Converter Berbahan Kuningan Pada Engine Stand EFI Toyota Avanza” dari hasil pengujian emisi gas buang dari Catalytic Converter berbahan kuningan didapatkan hasil penurunan kadar CO sebesar 55 % dan penurunan kadar HC sebesar 22 % dibandingkan tanpa penggunaan *Catalytic Converter* [4].

Penelitian yang dilakukan oleh Khoiron dari hasil pengujiannya tingkat emisi CO dan HC tertinggi pada 3.000 rpm dengan diperoleh kadar gas CO sebesar 5,23 % dan kadar gas HC 9.999 ppm, jadi kuningan dengan ketebalan 0,2 mm dengan model sirip efektif dalam mengurangi emisi gas CO dan HC [5]. Penelitian yang dilakukan Khoiron juga meneliti hal yang serupa, yaitu untuk Mengurangi Emisi Karbon Monoksida dan Hidrokarbon Pada Gas Buang Kendaraan Bermotor menunjukkan hasil bahwa kemampuan *catalytic converter* keramik dengan aditif TiO_2 pada mesin bensin mempunyai rendemen rata-rata penurunan emisi CO sebesar 18,22%.

Penelitian yang dilakukan oleh Budiyono [2] yang berjudul “Pengaruh Catalytic Converter Dari Bahan Kuningan Dengan Ketebalan 0,3 mm Terhadap Emisi Gas Buang Kendaraan Pada Motor Honda Supra 2015” hasil dari penelitian ini yaitu *catalytic converter* berbahan kuningan bisa mereduksi kadar emisi gas buang pada putaran mesin 1.500 rpm yaitu nilai CO turun dari 3.96 % menjadi 2,14 %, dan nilai HC turun dari 9.999 ppm turun ke 5.587 ppm.

Penelitian yang sudah dilakukan oleh Nuryoto et al. [6] yang berjudul “Sintesis Bioaditif Gasoline Melalui Katalisasi Gliserol Menggunakan Katalisator Padat” dari

*)Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Jalan Soekarno Hatta No. 9, Jatimulyo, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65141, Indonesia.
Email: muhammad.akhlis@polinema.ac.id

hasil penelitian ini menyatakan bahwa gerak Zigzag bisa menyebabkan aliran fluida yang tidak beraturan atau bisa disebut dengan turbulensi.

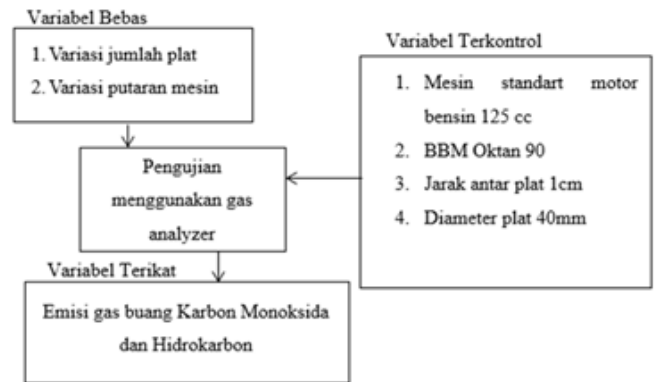
B. Dasar Teori

1) *Katalis*: Menurut Ramadhanti, [7] katalis adalah zat yang berperan sebagai agen perantara dalam reaksi kimia tanpa mengalami perubahan secara permanen. Dalam mekanismenya katalis bekerja yaitu dengan cara mempercepat laju sebuah reaksi tanpa mengalami perubahan secara kimiawi. Dengan adanya katalis, energi aktivasi yang diperlukan untuk mencapai tahap transisi dalam reaksi dapat dikurangi, sehingga reaksi dapat terjadi lebih cepat dan dengan efisiensi yang lebih tinggi.

2) *Emisi Gas Buang*: Menurut Winarno [8] emisi gas buang kendaraan adalah sisa hasil pembakaran bahan bakar di dalam mesin kendaraan yang dikeluarkan melalui sistem pembuangan mesin, sedangkan proses pembakaran adalah reaksi kimia antara oksigen di dalam udara dengan senyawa hidrokarbon di dalam bahan bakar untuk menghasilkan tenaga. Dalam reaksi yang sempurna, maka sisa hasil pembakaran adalah berupa gas buang yang mengandung karbondioksida (CO_2), uap air (H_2O), Oksigen (O_2) dan Nitrogen (N_2). Di samping itu untuk bahan bakar yang mengandung timbal dan sulfur, hasil pembakaran di dalam mesin kendaraan juga akan menghasilkan gas buang yang mengandung sulfurdioksida (SO_2) dan logam berat (Pb).

3) *Titanium Dioksida (TiO_2)*: Menurut Setiyono & Widjanarko, [9] TiO_2 memiliki kelebihan yaitu tidak beracun, stabil secara konsisten, dapat digunakan pada suhu kamar, dan ekonomis, sehingga merupakan katalis yang ideal untuk digunakan sebagai bahan katalis kendaraan. Pemilihan logam titanium didasarkan pada sifat-sifatnya: logam ini dikenal sebagai bahan tidak beracun, memiliki stabilitas termal yang tinggi, dan dapat digunakan berulang kali tanpa kehilangan aktivitas. Sifat TiO_2 yang sangat baik memungkinkan berbagai aplikasi untuk memenuhi kebutuhan yang berbeda. Kinerja TiO_2 bergantung pada metode sintesis, yang mempengaruhi ukuran partikel, kristalinitas, kemurnian, dan komposisi fasa (*anatase*, *brookite*, *rutile*).

4) *Kuningan CuZn*: Menurut Syahrui & Ghofur, [10], Tembaga (Cu) dan seng (Zn) termasuk di antara logam paduan utama dalam kuningan. Sifat-sifat tembaga antara lain berat jenis 8,9, titik leleh 1083 °C, konduktivitas listrik dan termal yang baik, dan ketahanan terhadap pengaruh udara lembab. Komponen paduan utama kedua adalah seng (Zn). Seng memiliki karakteristik seperti berat jenis 6,9 hingga 7,2, titik cair 419°C, titik didih 420°C, dan tahan lembab. Seng biasa digunakan untuk melapisi pelat baja untuk mencegah korosi (Ramadhan et al., 2023). Dengan perpaduan kedua jenis logam tersebut, maka kuningan (70 % Cu, 30 % Zn) memungkinkan untuk digunakan sebagai katalis pada saluran buang karena mempunyai konduktivitas termal (konduksi panas material dan menentukan laju perpindahan panas) sebesar 110 W/m.²K dan titik



Gambar 1. Kerangka Konsep Penelitian

didih 915 °C. Semakin tinggi konduktivitas termal dan titik didih, maka semakin bagus pula bahan tersebut digunakan sebagai katalis.

5) *Bilangan Reynold*: Bilangan Reynolds adalah bilangan yang tak berdimensi yang dapat membedakan aliran itu bisa dinamakan laminar, transisi atau turbulen. Berikut merupakan rumus bilangan reynold yang digunakan untuk mengetahui jenis aliran fluida [11]:

$$Re = \rho D \frac{v}{\mu} \quad (1)$$

dengan:

Re : Bilangan Reynolds

D : Diameter (m)

μ : Viskositas dinamis ($\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$)

v : Kecepatan aliran (m/s)

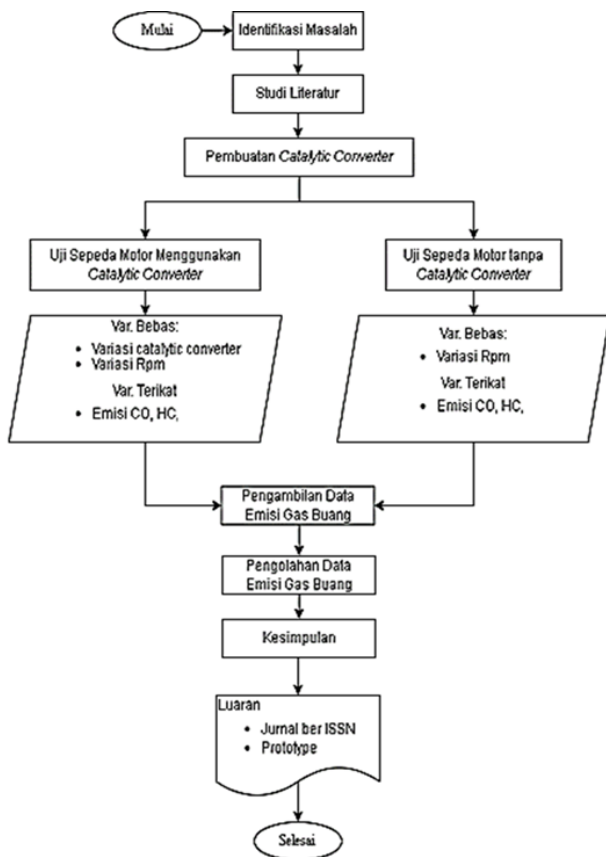
ρ : Massa jenis (kg/m^3)

Jika nilai $Re < 2100$, aliran tersebut laminar. Jika bernilai $Re > 4000$, aliran tersebut turbulen, dan jika Re diantara 2100 – 4000, maka aliran tersebut transisi (Ahyadi Herwan, 2021).

6) *Kerangka Konsep Penelitian*: Gambar 1 adalah kerangka konsep penelitian adalah struktur atau kerangka kerja yang digunakan untuk mengorganisir gagasan-gagasan, teori, dan konsep-konsep yang relevan dalam sebuah penelitian. Ini membantu peneliti untuk menjelaskan pemahaman tentang topik penelitian, mengidentifikasi variabel-variabel utama, dan merumuskan hubungan antara variabel-variabel tersebut.

III. METODE

Penelitian ini bertempat pada bengkel teknik otomotif elektronik Politeknik Negeri Malang tepatnya di Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen yaitu untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh catalytic converter berbahan kuningan dan serbuk TiO_2 dengan variasi 4 dan 6 sekat terhadap emisi gas buang CO dan HC. Gambar 2 merupakan *flowchart* dari peneliti ini.



Gambar 2. Flowchart Penelitian



Gambar 3. Setting Peralatan

A. Setting Alat Penelitian

Gambar 3 adalah setting peralatan dari penelitian ini. Pengujian menggunakan 4 peralatan utama, yaitu:

- 1) Sepeda Motor
- 2) Catalytic Converter 4 dan 6 sekat
- 3) Tachometer
- 4) Gas Analyzer

Pada Gambar 3 ditunjukkan tahapan pengujian. Pertama, siapkan sepeda motor yang akan diuji, kemudian pasang knalpot dengan variasi yang diinginkan. Untuk pengujian menggunakan knalpot standar, langsung lanjut ke tahap penyiapan tachometer. Selanjutnya, siapkan tachometer, kemudian jepitkan kabel merah ke kabel koil dan kabel hitam ke terminal negatif aki. Setelah itu, siapkan gas analyzer dan lakukan kalibrasi agar hasil

pengukuran yang diperoleh akurat. Pasang probe gas analyzer pada knalpot sepeda motor yang akan diuji, kemudian lakukan pengambilan data emisi gas buang. Sebelum pengujian, panaskan sepeda motor hingga suhu mesin mencapai 80–90°C. Setelah itu, siapkan blower pendingin untuk mencegah mesin mengalami overheat saat pengujian berlangsung. Ulangi tahapan tersebut jika akan menguji *catalytic converter* dengan variasi 6 sekat.

B. Metode Pengambilan Data

Metode pengambilan data pada penelitian ini yaitu menggunakan alat berupa gas analyzer. Proses tahap pengukuran kadar emisi gas CO dan HC sebagai berikut:

Proses Pembuatan Catalytic Converter

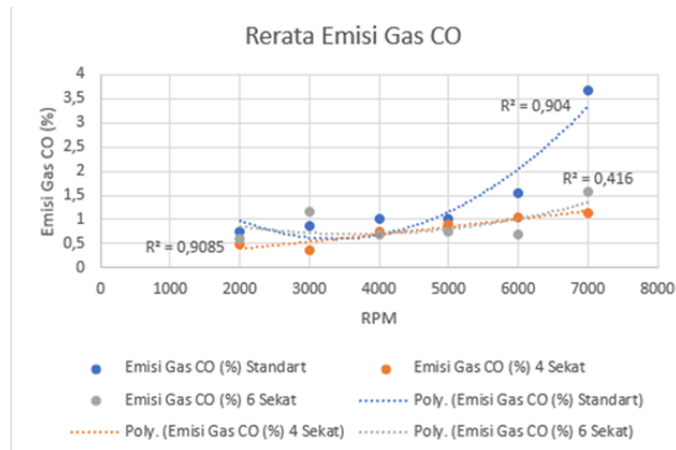
- 1) Mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan untuk pembuatan sekat pada catalytic converter.
- 2) Membuat mal untuk sekat catalytic converter menggunakan kardus, diukur menggunakan jangka dan garisan.
- 3) Memotong plat kuningan sesuai mal kardus menggunakan gunting, kemudian membentuknya menjadi setengah lingkaran dengan bantuan sumpit dan palu.
- 4) Setelah sekat selesai dibentuk, tandai dengan spidol untuk menentukan lubang pada sekat.
- 5) Mengebor sekat yang sudah ditandai menggunakan bor duduk yang tersedia di bengkel Teknik Mesin Polinema.
- 6) Membuat adonan TiO_2 sebagai bahan isian sekat catalytic converter dengan perbandingan 1:2, lalu aduk hingga tercampur rata.
- 7) Memasukkan adonan TiO_2 ke dalam sekat yang telah dibuat.
- 8) Meletakkan sekat dalam bidang yang rata dan membiarkannya pada suhu ruang selama $\pm 2-3$ hari.

Pengujian Emisi Gas Buang

- 1) Mempersiapkan kendaraan yang akan diuji, yaitu sepeda motor berkapasitas mesin 125 cc dengan bahan bakar oktan 90 dalam kondisi prima.
- 2) Memasang knalpot yang telah diberi catalytic converter dengan beberapa variasi.
- 3) Menyalakan gas analyzer dan melakukan kalibrasi selama ± 6 menit hingga display menampilkan “READY” sesuai pedoman penggunaan.
- 4) Memasang kabel plus (+) tachometer pada kabel koil dan kabel minus (-) pada terminal negatif aki.
- 5) Menyalakan sepeda motor hingga suhu kerja mesin tercapai, lalu mengukur suhu dengan thermogun hingga mencapai $\pm 90^\circ\text{C}$.
- 6) Memasang probe gas analyzer pada lubang knalpot.
- 7) Menekan tombol ENTER MEASUREMENT dan mengamati indikator pengukuran gas buang pada display hingga stabil selama ± 30 detik, kemudian menekan tombol HOLD untuk menahan hasil pembacaan, dan menekan tombol PRINT untuk mencetak hasil pengukuran.

TABLE I
DATA EMISI GAS CO PADA BERBAGAI PUTARAN MESIN

Putaran Mesin (rpm)	Standar (%)	4 Sekat (%)	6 Sekat (%)
2000	0.75	0.48	0.61
3000	0.87	0.37	1.16
4000	1.01	0.74	0.69
5000	1.00	0.89	0.75
6000	1.55	1.05	0.69
7000	3.66	1.41	1.56



Gambar 4. Profil Emisi CO

Akhir Pengujian

- 1) Menurunkan putaran mesin secara perlahan hingga mencapai putaran idle.
- 2) Membiarkan mesin beberapa saat pada putaran idle.
- 3) Mematikan mesin.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Emisi CO

Pada Tabel I dan Gambar 4 dapat dilihat bahwa semakin tinggi putaran mesin maka emisi gas CO yang di hasilkan juga semakin tinggi, hal ini disebabkan oleh adanya penambahan jumlah bahan bakar yang dimasukkan ke ruang bakar sedangkan udara yang masuk ke ruang bakar tetap karena volume dalam silinder juga tetap, sehingga campuran udara dengan bahan bakar di dalam silinder menjadi sedikit kaya yang mengakibatkan emisi gas CO semakin meningkat. Pada saat pengujian terjadi pengaruh pada rpm 6000, yang dimana kenalpot standart memperoleh 1.55 % emisi gas CO lalu mengalami penurunan sebesar 0.50 % pada kenalpot dengan catalytic converter 4 sekat yang dimana memperoleh hasil pengujian sebesar 1.05 %, sedangkan penurunan emisi terbesar ada pada kenalpot dengan catalytic converter 6 sekat yaitu mengalami penurunan emisi gas CO sebesar 0.89 %, untuk hasil pengujian dari kenalpot dengan catalytic converter 6 sekat yaitu 0.69 %. Dapat dilihat juga pada grafik bahwa terjadi penurunan dan kenaikan pada emisi gas buang CO [12].

Kenaikan nilai CO disebabkan karena meningkatnya putaran mesin untuk proses meningkatkan daya, sehingga

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Putaran Mesin	15,1136	5,0000	3,0227	132,9537	0,0000	2,4772
Jumlah Sekat	4,4813	2,0000	2,2407	98,5553	0,0000	3,2594
Interaction	7,4840	10,0000	0,7484	32,9180	0,0000	2,1061
Within	0,8185	36,0000	0,0227			
Total	27,8974	53,0000				

Gambar 5. Profil Anova CO

Regression Equation in Uncoded Units

$$\text{Emisi CO (\%)} = 0,423 - 0,000226 \text{ Putaran Mesin} - 0,040 \text{ Jumlah Sekat} + 0,000000 \text{ Putaran Mesin}^2 + 0,0399 \text{ Jumlah Sekat}^2 - 0,000065 \text{ Putaran Mesin} \times \text{Jumlah Sekat}$$

Equation averaged over blocks.

Gambar 6. Profil Persamaan Regresi CO

TABLE II
DATA EMISI HC PADA BERBAGAI PUTARAN MESIN

Putaran Mesin (rpm)	Standar (ppm)	4 Sekat (ppm)	6 Sekat (ppm)
2000	1653	1254	1529
3000	644	736	741
4000	276	201	534
5000	142	1957	543
6000	297	1790	597
7000	485	1267	350

menyebabkan penambahan jumlah campuran bahan bakar dan udara baru yang menyebabkan pembakaran sempurna jadi tidak tercapai (Nusantara & Ghofur, 2022).

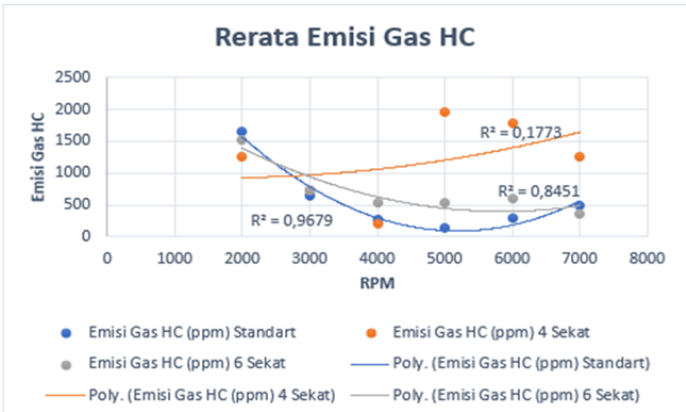
Dapat dilihat dari Gambar 5 anova di atas, dapat diketahui bahwa nilai P-value interaksi memiliki nilai lebih kecil daripada alfa (0,05), sehingga bisa disimpulkan bahwa terdapat interaksi antara jumlah sekat pada catalytic converter terhadap putaran mesin dan emisi gas buang karbonmonoksida yang di hasilkan.

Pada Gambar 6 persamaan regresi emisi CO tersebut menunjukkan koefisien tertinggi yaitu pada jumlah sekat yang bernilai 0,040. Hal ini menyebabkan adanya pengaruh jumlah sekat terhadap emisi CO yang di hasilkan.

B. Hasil Pengujian Emisi HC

Dilihat pada Tabel II dan Gambar 7 bahwa emisi mengalami penurunan terbesar pada putaran 2000 rpm, yang dimana kenalpot standart memperoleh 1653 ppm dari hasil pengujian emisi gas HC lalu mengalami penurunan penurunan emisi terbesar yaitu 399 ppm pada kenalpot dengan catalytic converter 4 sekat yang dimana hasil pengujian sebesar 1254 ppm, sedangkan pada kenalpot dengan catalytic converter 6 sekat hanya mengalami penurunan emisi gas HC sebesar 124 ppm, untuk hasil pengujian dari kenalpot dengan catalytic converter 6 sekat yaitu 1529 ppm.

Naik-turunnya kadar HC yang dihasilkan disebabkan oleh jumlah pasokan bahan bakar yang bercampur dengan udara bersih. Campuran yang miskin mengakibatkan



Gambar 7. Profil Emisi HC

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Putaran Mesin	6325283,4259	5,0000	1265056,852	42,7407	0,0000	2,4772
Jumlah Sekat	3809528,7037	2,0000	1904764,3519	64,3536	0,0000	3,2594
Interaction	7308414,6296	10,0000	730841,4630	24,6919	0,0000	2,1061
Within	1065542,0000	36,0000	29598,3889			
Total	18508768,7593	53,0000				

Gambar 8. Hasil Anova Emisi HC

kadar HC yang dihasilkan semakin besar karena lambatnya proses pembakaran yang terjadi sehingga bahan bakar akan keluar sebelum bahan bakar terbakar sempurna (Eka Novita, et all, 2014).

Dapat dilihat dari profil anova 8, dapat diketahui bahwa nilai P-value interaksi memiliki nilai lebih kecil daripada alfa (0,05), sehingga bisa disimpulkan bahwa terdapat interaksi antara jumlah sekat pada catalytic converter terhadap putaran mesin dan emisi gas buang hidrokarbon yang di dihasilkan.

V. KESIMPULAN

Hasil pengujian menunjukkan tren umum bahwa kenaikan putaran mesin menyebabkan peningkatan emisi CO, karena campuran udara-bahan bakar menjadi lebih kaya. Pemasangan catalytic converter efektif menurunkan emisi: pada 6000 rpm, konfigurasi 4 sekat menurunkan CO dari 1,55 % (standar) menjadi 1,05 %, sedangkan 6 sekat menurunkan lebih jauh hingga 0,69 %. Analisis ANOVA mengonfirmasi adanya interaksi signifikan (P < 0,05) antara jumlah sekat dan putaran mesin terhadap kadar CO, sehingga jumlah sekat berperan penting dalam mengendalikan emisi karbon monoksida. Koefisien regresi tertinggi (0,040) memperkuat bahwa jumlah sekat merupakan faktor dominan. Untuk emisi HC, penurunan terbesar terjadi pada 2000 rpm: converter 4 sekat mengurangi HC sebesar 399 ppm, sedangkan 6 sekat hanya 124 ppm dibanding standar. Fluktuasi HC dipengaruhi kemiskinan campuran yang memperlambat pembakaran. ANOVA kembali menunjukkan interaksi signifikan antara sekat dan putaran mesin (P < 0,05), mengindikasikan efektivitas desain converter dalam berbagai kondisi operasi. Secara keseluruhan, catalytic converter multi-sekat

terbukti mampu menekan emisi CO dan HC; 6 sekat paling efektif untuk CO, sedangkan 4 sekat memberikan reduksi HC lebih besar. Implementasi desain sekat yang tepat menjadi kunci pemenuhan standar emisi pada beragam putaran mesin.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Herwan *et al.*, “Analisis Kinerja Sistem Distribusi Air Bersih di Anjungan Lepas Pantai PT. X,” *Teknik Mesin, PRESISI*, vol. 23, no. 2, pp. 1–18, 2021.

[2] B. Budiyo, “Pengaruh Catalytic Converter Dari Bahan Kuningan Dengan Ketebalan 0,3 mm Terhadap Emisi Gas Buang Kendaraan Pada Motor Honda Supra 2015,” *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 13, no. 1, pp. 1–5, 2020. DOI: <https://doi.org/10.30630/jtm.13.1.356>.

[3] E. J. Novita *et al.*, “Emisi Gas Carbon Monooksida (CO) dan Hidrocarbon (HC) Pada Rekayasa Jumlah Blade Turbo Ventilator Sepeda Motor ‘Supra X 125 Tahun 2006’,” *Teknik Mesin*, vol. 16, pp. 1–6, 2014.

[4] A. Feriansah, “Studi Eksperimental Reduksi Emisi Gas Buang Dengan Catalytic Converter Berbahan Kuningan Pada Engine Stand Efi Toyota Avanza,” *Surya Teknika: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 33–37, 2020.

[5] A. M. Khoiron, S. Anis, Masugino, S. S. Maulana, and S. N. Fajri, “Catalytic Converter berbahan dasar Titanium Oksida (TiO₂) untuk Mengurangi Emisi Karbon Monoksida dan Hidrokarbon pada Gas Buang Kendaraan Bermotor,” *Engineering International Conference (EIC)*, pp. 1–6, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5220/0009005700150020>.

[6] N. Nuryoto, H. Sulisty, W. B. Sediawan, and I. Perdana, “Sintesis Bioaditif Gasoline Melalui Ketalisasi Gliserol Menggunakan Katalisator Padat,” *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, vol. 5, no. 2, pp. 74–83, 2017. DOI: <https://doi.org/10.15294/jbat.v5i2.7431>.

[7] Y. Ramadhanti, “Peran Katalis Dalam Reaksi Kimia: Mekanisme Dan Aplikasi,” *Ilmiah Teknik*, vol. 2, no. 2, pp. 74–78, 2023.

[8] J. Winarno, “Manfaat uji emisi kendaraan 2016,” *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.

[9] D. R. Setiyono and D. Widjanarko, “Use of TiO₂ Powder and Activated Carbon as Catalytic Ceramic Filling Material to Reduce Hazardous Pollutants on Gasoline Engine,” *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, vol. 13, no. 2, pp. 165–173, 2018. DOI: <https://doi.org/10.23955/rkl.v13i2.11901>.

[10] S. Syahrui and A. Ghofur, “Penggunaan Kuningan Sebagai Bahan Catalytic Converter Terhadap Emisi Gas Buang dan Performa Mesin Suzuki Shogun Axelo 125,” *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, vol. 4, no. 2, pp. 67–78, 2019. DOI: <https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v4i2.118>.

[11] R. Nusantara and A. Ghofur, “Pengaruh Penggunaan Arang Kayu Alaban Dengan Aditif Tembaga (Cu) Sebagai Catalytic Converter Terhadap Emisi Gas Buang dan Konsumsi Bahan Bakar Pada Mesin Toyota Kijang 5K,” *JTAM ROTARY*, vol. 4, no. 2, p. 193, 2022. DOI: https://doi.org/10.20527/jtam_rotary.v4i2.6534.

[12] 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: Journal of Mechanical Engineering and Science*, vol. 1, no. 2, pp. 1–5, 2020. DOI: <https://doi.org/10.35970/accurate.v1i2.284>.

Muhammad Akhlis Rizza Muhammad Akhlis Rizza adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang. Ia menyelesaikan pendidikan doktoral (S3) di bidang Teknik Mesin, dengan fokus pada pengembangan teknologi manufaktur dan permesinan. Saat ini, beliau menjabat sebagai Koordinator Program Studi Magister (S2) Rekayasa Manufaktur di Politeknik Negeri Malang, yang merupakan salah satu program lanjutan unggulan di bidang rekayasa terapan. Selama karier akademiknya, Dr. Rizza aktif melakukan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat, khususnya dalam bidang teknik permesinan, rekayasa manufaktur, dan teknologi otomotif.