

Pengaruh Jumlah Sekat Pada Catalytic Converter Berbahan Pelat Kuningan Dan Bubuk Titanium Dioksida Terhadap Daya Dan Torsi Pada Kendaraan 125 cc

David Efan, Muhammad Akhlis Rizza*

Abstrak—Peningkatan jumlah kendaraan di Indonesia menyebabkan peningkatan polusi udara yang signifikan. Jutaan gas buang yang dihasilkan dapat memengaruhi kualitas udara dan mencemari lingkungan. Salah satu teknologi yang dapat membantu mengurangi emisi kendaraan adalah dengan memasang *catalytic converter* pada pipa knalpot kendaraan. Dalam penelitian ini, bahan yang digunakan adalah pelat kuningan dan serbuk titanium dioksida, sehingga biaya pembuatan menjadi lebih terjangkau. Kali ini, peneliti akan menguji performa kendaraan saat menggunakan *catalytic converter*. Media uji yang digunakan adalah sepeda motor 125 cc. Performa daya dan torsi tertinggi diperoleh saat menggunakan *catalytic converter*. Daya tertinggi sebesar 8,92 Hp diperoleh pada *catalytic converter* dengan 6 sekat, sedangkan knalpot standar tanpa *catalytic converter* hanya menghasilkan 8,42 Hp. Torsi tertinggi sebesar 11,22 N.m diperoleh pada variasi *catalytic converter* 6 sekat, sementara knalpot standar tanpa *catalytic converter* hanya menghasilkan 10,34 N.m. Peningkatan performa kendaraan ini disebabkan oleh efek tekanan balik (*back pressure*) dari *catalytic converter* ke ruang bakar, yang dapat membantu meningkatkan efisiensi pembakaran.

Kata Kunci—*Catalytic Converter*, TiO_2 , Motor Bensin, Knalpot, Torsi, Daya.

I. PENDAHULUAN

JUMLAH kendaraan bermotor di Indonesia terus meningkat, yang menyebabkan peningkatan polusi udara yang signifikan. Laju pertumbuhan lalu lintas jalan raya hanya dua kendaraan per tahun tidak sebanding dengan laju pertumbuhan dua puluh mobil per tahun. Pertumbuhan ini pasti akan menyebabkan peningkatan konsumsi bahan bakar dan polusi udara yang tidak dapat dihindari dari gas buang kendaraan. Jumlah mobil meningkat setiap tahun, mengakibatkan peningkatan gas buang dan polusi udara yang serius. Jutaan gas buang dapat mempengaruhi kualitas udara dan mencemari lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan kendaraan yang ramah lingkungan yang meminimalkan tingkat CO dan HC dalam gas buang kendaraan. Memasang *catalytic converter* pada pipa knalpot kendaraan adalah salah

satu teknologi yang dapat membantu mengurangi emisi kendaraan [1].

Salah satu teknologi yang dapat diterapkan adalah *catalytic converter* yang dipasang pada knalpot kendaraan bermotor. Mengingat 65-85% emisi gas buang dihasilkan oleh asap knalpot kendaraan bermotor, maka penerapan teknologi *catalytic converter* pada kendaraan bermotor merupakan suatu keharusan yang mutlak. Sayangnya teknologi *catalytic converter* selama ini dinilai masih cukup mahal sehingga penggunaan teknologi tersebut pada sepeda motor semakin kurang meluas. Mahalnya biaya *catalytic converter* disebabkan oleh bahan-bahannya terbuat dari logam mulia (logam Nobel), seperti Platinum (Pt), Paladium (Pd), dan Rhodium (Rh) dan tingkat ketersediaannya di pasaran masih sedikit.

Tetap saja dapat menurunkan emisi gas buang antara 98-99 %. Oleh karena itu, belakangan ini banyak peneliti dari perguruan tinggi dan lembaga penelitian dan pengembangan yang mulai mengembangkan *catalytic converter* yang berasal dari logam transisi [2].

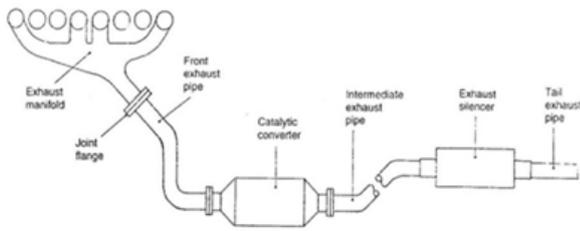
II. LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

Bedasarkan penelitian [3] bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh dari penggunaan *catalytic converter* dari bahan kuningan dengan ketebalan 0,2 mm untuk mengurangi kadar gas CO dan HC pada kendaraan bermotor. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa tingkat emisi CO dan HC terendah terjadi pada 1.500 rpm, tingkat emisi gas CO sebesar 3,96 %, dan kadar gas HC sebesar 9.999 ppm, tertinggi pada pengujian menggunakan knalpot standar.

Sebuah penelitian yang dilakukan [2] yang berjudul “Efek Titanium Dioksida (TiO_2) Berbasis Metal Catalytic Converter Terhadap Kinerja Mesin Sepeda Motor Empat Langkah” memiliki tujuan menganalisis efektivitas penggunaan TiO_2 berbasis Metal Catalytic Converter (MMC) pada performa sepeda motor empat langkah. Penelitian ini menemukan bahwa penggunaan knalpot sepeda motor ramah lingkungan dengan bahan TiO_2 berbasis teknologi MCC mampu meningkatkan torsi pada sepeda motor Yamaha Vixion. Perubahan yang terbaik dalam meningkatkan torsi dan tenaga ada di MMC variasi

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



Gambar 1. Catalytic Converter

Cu 2 mm, Cu 3 mm, Cu 4 mm dilapisi 50 gr TiO₂. Akan tetapi, untuk peningkatan daya maksimal terdapat pada knalpot standard tanpa MMC.

Pada penelitian [4], yang berjudul “Pengaruh TiO₂ Tentang Komposit Karbon Aktif Kulit Jeruk Dalam Reduksi Emisi Karbon Monoksida dan Gas Hidrokarbon”, bahwa pengurangan emisi gas terjadi pada konsentrasi TiO₂ 15 % dengan daya reduksi untuk menurunkan emisi gas CO hingga 53,79 % dan emisi gas HC hingga 55,57 %. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk melihat pengaruh penambahan TiO₂ pada karbon aktif sebagai bahan penurun emisi gas CO dan HC.

B. Dasar Teori

1) *Catalytic Converter*: Alat yang dipasang di kendaraan bertujuan untuk mengurangi emisi gas buang kendaraan secara keseluruhan karena sisa gas buang lebih banyak mengenai permukaan catalytic converter secara merata. Teknologi ini tidak ada di semua kendaraan, dan biasanya hanya ada di mobil yang sudah ada. Pemasangan catalytic converter ini biasanya dilakukan pada sistem saluran buang sisa pembakaran dengan tujuan mengurangi gas gas sisa pembakaran [3].

C. Daya dan Torsi

Kinerja mesin suatu mesin, yang erat terkait dengan daya yang dihasilkannya dan daya gunanya, disebut prestasi mesin. Tiga besaran biasanya digunakan untuk menunjukkan kinerja mesin: tenaga yang dapat dihasilkan, torsi yang dihasilkan, dan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi. Torsi adalah besarnya momen putar yang terjadi pada poros output mesin karena pembebanan dengan sejumlah massa (kg) [5] Untuk menghitung torsi dapat dilakukan dengan persamaan dimana M_p adalah momen putar yang dihasilkan dari perkalian antara gaya keliling (F_k) dengan jari jari (r).

$$M_p = F_k \times r \tag{1}$$

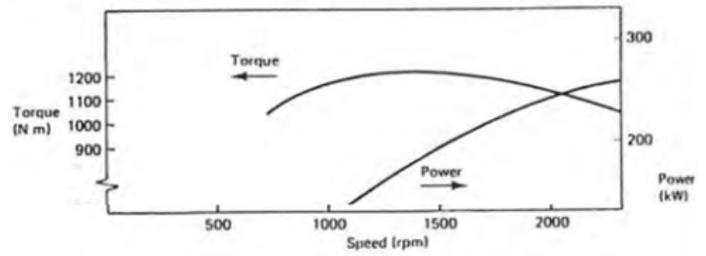
Dengan:

M_p = Momen putar yang dihasilkan (N.m)

r = Jari-jari poros engkol (m)

F_k = Gaya keliling (Newton).

Daya adalah besarnya tenaga yang dihasilkan motor setiap satuan waktu [5]. Daya ini dapat diperoleh dari hasil konversi energi termal hasil pembakaran menjadi energi



Gambar 2. Profil Daya dan Torsi untuk Kecepatan Berbeda

mekanik yang berfungsi dalam mendapatkan top speed mesin. Berikut adalah untuk persamaan dalam menghitung daya.

$$P = \frac{2\pi Tn}{60} \tag{2}$$

Dengan:

P = Daya (kW)

T = Torsi (N.m)

n = Putaran mesin (rpm)

D. Kuningan

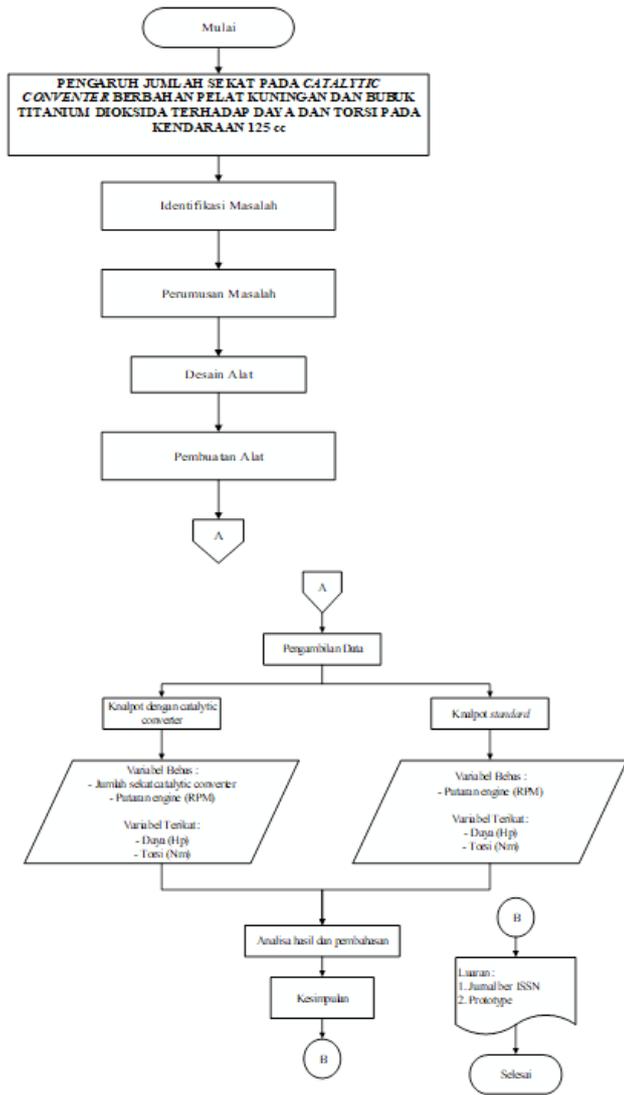
Kuningan adalah logam yang terbuat dari campuran tembaga dan seng yang memiliki warna dari coklat kemerahan gelap hingga kuning perak. Kuningan dengan presentase seng yang lebih tinggi memiliki sifat yang lebih kuat dan keras, tetapi juga sulit untuk dibentuk dan kurang tahan korosi. Kuningan (70 % Cu, 30 % Zn) dengan perpaduan kedua jenis logam ini dapat digunakan sebagai katalis pada saluran buang karena memiliki konduktivitas termal 110 W/m. oK dan melting point 915; konduktivitas termal dan melting point yang lebih tinggi menentukan kualitas katalis. Paduan dari kuningan (CuZn) sendiri juga berpengaruh pada sifatnya, berikut adalah gambar komposisi dan sifatnya menurut ASM (American Society for Metal) [1].

E. Titanium Dioksida

Titanium dioksida (TiO_2) adalah salah satu fotokatalis utama yang digunakan untuk beberapa dekomposisi senyawa organik dan reduksi gas berbahaya [6]. Penggunaan TiO_2 dimaksudkan sebagai katalis karena alasan mudah diperoleh, memiliki kestabilan kimia yang baik dalam semua kondisi reaksi, tidak beracun dan stabil terhadap cahaya [7]. Menurut para ahli kimia, TiO_2 merupakan katalis yang cocok untuk dipergunakan karena mempunyai keuntungan diantaranya tidak bersifat beracun, selalu stabil, bekerja pada suhu ruang dan relatif murah harganya.

F. Tekanan Balik

Tekanan Balik adalah tekanan yang timbul akibat hambatan yang dialami pada sebuah saluran. Dalam kendaraan, tekanan balik ini terjadi ketika adanya ekspansi gas buang secara tiba-tiba dalam saluran buang. Tekanan balik ini timbul selama proses penyaluran gas



Gambar 3. Flowchart Penelitian

buang yang telah dikeluarkan dari silinder mesin dan menuju kembali ke arah silinder. Terjadinya tekanan balik ini terdapat pada pipa muffler ataupun pada catalytic converter yang ada dalam kendaraan. Setiap mesin memiliki karakteristik yang berbeda dalam sistem pembuangannya, sudah sewajarnya pada setiap mesin memiliki tekanan balik yang sesuai untuk kebutuhan mesin [8].

III. METODE

Metode yang digunakan penelitian ini adalah penelitian eksperimental dengan tujuan mencari pengaruh jumlah sekat pada catalytic converter berbahan kuningan dan bubuk titanium dioksida terhadap daya dan torsi pada sepeda motor 125 cc. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu catalytic converter dengan jumlah sekat dan putaran mesin. Variabel terikatnya pada penelitian ini yaitu daya dan torsi mesin.

TABLE I
DATA HASIL PENGUKURAN DAYA (HP)

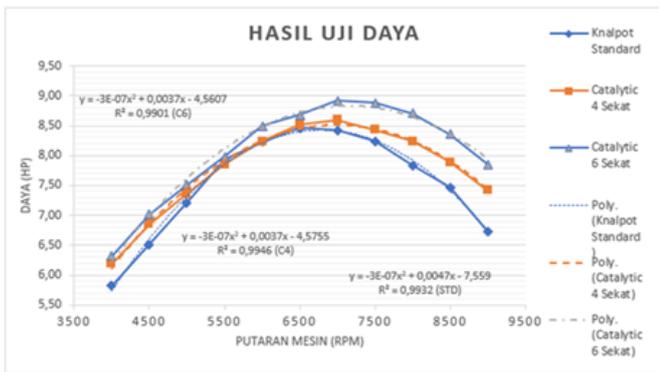
Putaran Mesin (rpm)	Standard	Catalytic 4 Sekat	Catalytic 6 Sekat
4000	5,83	6,11	6,33
	5,80	6,23	6,30
	5,84	6,22	6,33
4500	6,50	6,79	7,07
	6,48	6,86	7,02
	6,56	6,89	6,98
5000	7,24	7,29	7,49
	7,17	7,43	7,50
	7,23	7,36	7,55
5500	7,93	7,77	8,03
	7,92	7,87	7,94
	7,93	7,92	7,97
6000	8,24	8,14	8,50
	8,23	8,20	8,50
	8,23	8,37	8,49
6500	8,42	8,31	8,87
	8,40	8,63	8,43
	8,57	8,61	8,75
7000	8,36	8,45	8,92
	8,43	8,71	8,87
	8,46	8,65	8,97
7500	8,21	8,27	8,91
	8,25	8,54	8,82
	8,25	8,49	8,90
8000	7,84	7,79	8,58
	7,70	8,42	8,78
	7,94	8,50	8,76
8500	7,37	7,65	8,30
	7,49	7,96	8,35
	7,54	8,05	8,43
9000	6,75	7,19	7,85
	6,57	7,54	7,85
	6,87	7,52	7,85

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

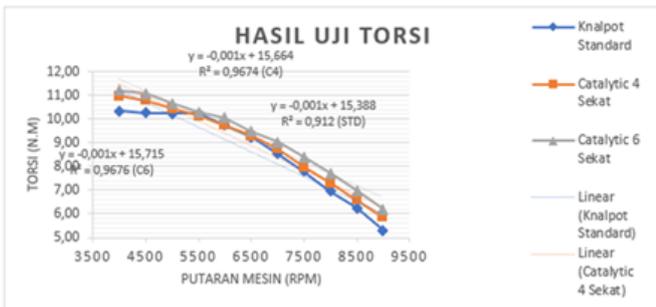
Gambar 4 dan Tabel I menunjukkan profil daya mesin (HP) terhadap putaran mesin (RPM) untuk tiga jenis knalpot: Standard, Catalytic 4 Sekat, dan Catalytic 6 Sekat. Secara umum, daya meningkat seiring kenaikan putaran mesin hingga mencapai puncak pada kisaran 7000–7500 RPM, lalu menurun pada putaran lebih tinggi. Pola ini menggambarkan karakteristik umum mesin pembakaran internal, di mana efisiensi maksimal tercapai pada titik tertentu sebelum mengalami penurunan akibat hambatan mekanis dan termal.

Knalpot dengan konfigurasi Catalytic 6 Sekat menghasilkan daya tertinggi, yaitu sekitar 8,9 HP, dengan persamaan regresi kuadratik: $y = -3 \times 10^{-7}x^2 + 0,0037x - 4,5607$ dan nilai koefisien determinasi sebesar $R^2 = 0,9901$. Konfigurasi Catalytic 4 Sekat menyusul dengan daya puncak sekitar 8,7 HP dan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,9946$. Sementara itu, knalpot Standard menunjukkan performa paling rendah, dengan daya maksimum sekitar 8,4 HP dan nilai determinasi $R^2 = 0,9932$.

Tabel II dan Gambar 5 menunjukkan data dan profil torsi sebagai fungsi kecepatan. Berdasarkan grafik hasil uji torsi, terlihat bahwa knalpot dengan konfigurasi Catalytic 6 Sekat secara konsisten menghasilkan torsi tertinggi di seluruh rentang putaran mesin (RPM). Nilai puncak torsi untuk konfigurasi ini mencapai lebih dari 11 Nm pada



Gambar 4. Profil daya untuk variasi kecepatan



Gambar 5. Profil torsi untuk variasi kecepatan

4000 RPM, dengan tren penurunan yang linear seiring meningkatnya putaran mesin. Persamaan regresi linear yang menggambarkan karakteristik torsi untuk konfigurasi ini adalah $y = -0,001x + 15,715$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,9676$, yang menunjukkan tingkat kesesuaian model yang sangat tinggi terhadap data aktual.

Konfigurasi Catalytic 4 Sekat menghasilkan torsi sedikit lebih rendah dibandingkan 6 Sekat, dengan tren penurunan serupa. Persamaan linear regresinya adalah $y = -0,001x + 15,664$, dan $R^2 = 0,9674$, yang juga menunjukkan hubungan linier yang kuat antara torsi dan putaran mesin.

Sementara itu, knalpot Standard menunjukkan performa torsi paling rendah dibandingkan kedua konfigurasi catalytic. Persamaan regresi liniernya adalah $y = -0,001x + 15,388$ dengan nilai determinasi $R^2 = 0,912$, mengindikasikan bahwa meskipun hubungan antara RPM dan torsi bersifat linier, tingkat kecocokannya terhadap data lebih rendah dibandingkan konfigurasi catalytic.

Analisis dalam penelitian ini juga didukung oleh simulasi, untuk menunjukan perbandingan tekanan di saluran yang ada pada catalytic converter dengan jumlah 4 dan 6 sekat. Sebelum menjalankan simulasi aliran udara yang ada di catalytic converter, kita harus menentukan kecepatan awal dari udara. Dalam menentukan kecepatan udara yang akan dialirkan di simulasi, peneliti menggunakan Persamaan 3 [9]. Hasil simulasi ditunjukkan oleh Tabel III dan Gambar 6.

TABLE II
DATA HASIL UJI TORSI (Nm) PADA BERBAGAI PUTARAN MESIN

Putaran Mesin	Standard	Catalytic 4 Sekat	Catalytic 6 Sekat
4000	10,35	10,85	11,23
	10,29	11,05	11,19
	10,37	11,04	11,24
4500	10,26	10,71	11,16
	10,22	10,83	11,07
	10,34	10,87	11,01
5000	10,27	10,34	10,64
	10,18	10,55	10,64
	10,26	10,45	10,71
5500	10,24	10,03	10,37
	10,22	10,16	10,26
	10,24	10,23	10,28
6000	9,75	9,63	10,06
	9,74	9,70	10,05
	9,74	9,91	10,05
6500	9,20	9,08	9,69
	9,17	9,42	9,21
	9,36	9,40	9,56
7000	8,48	8,57	9,05
	8,54	8,84	8,99
	8,58	8,78	9,09
7500	7,77	7,83	8,43
	7,81	8,08	8,35
	7,81	8,04	8,42
8000	6,96	6,91	7,61
	6,84	7,47	7,79
	7,05	7,54	7,77
8500	6,15	6,39	6,93
	6,26	6,65	6,97
	6,30	6,72	7,04
9000	5,32	5,67	6,19
	5,18	5,94	6,19
	5,42	5,93	6,20

$$V_g = \frac{SN}{3000} \left(\frac{D}{d} \right)^2 \tag{3}$$

dengan:

- D = Diameter piston (mm)
- d = Diameter lubang katup (mm)
- S = Langkah piston (mm)
- V_g = Kecepatan rata-rata gas (m/s)
- N = Kecepatan poros engkol (rpm)

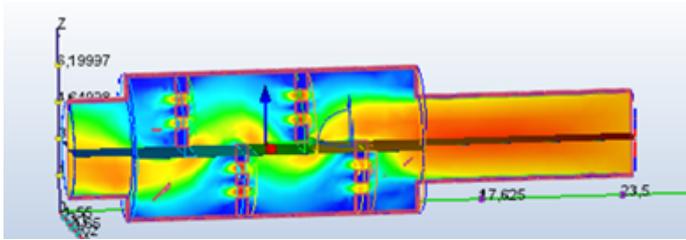
TABLE III
TEKANAN PADA SALURAN INLET (Pa)

Putaran Mesin	Kecepatan Awal Udara (m/s)	Catalytic Converter 4 Sekat	Catalytic Converter 6 Sekat
4000	58,71	12938,2	20079,4
7000	102,74	34959,8	55395,4
9000	132,09	55172,4	89580,8

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



Gambar 6. Profil kecepatan hasil simulasi

4) Gas Analyzer

Tekanan yang tinggi ini memiliki suhu yang tinggi juga, karena sifat tekanan berbanding lurus dengan temperatur. Dikarenakan temperatur yang tinggi ini, tekanan balik ini akan menuju kembali ke ruang bakar sehingga dengan kenaikan temperatur ini akan membantu meningkatkan efisiensi dari pembakaran itu sendiri. Semakin tinggi efisiensinya maka performa mesin juga akan meningkat [10].

Bedasarkan grafik di atas pada putaran rendah daya yang dihasilkan mesin kecil, hal ini terjadi karena mesin belum maksimal dalam menghasilkan daya. Kemudian, seiring putaran mesin bertambah maka daya nya juga bertambah. Hingga di putaran 7000 rpm, daya maksimal telah diperoleh. Kemudian setelah putaran 7000 rpm, daya nya akan perlahan menurun. Hal ini terjadi karena putaran mesin yang semakin tinggi akan semakin singkat pula waktu yang digunakan mesin untuk melakukan proses pembakaran. Dengan campuran bahan bakar dan jumlah udara yang berkurang maka energi gerak juga berkurang. Energi gerak ini adalah cari tau kaitan energi gerak dengan daya.

Pada pengujian torsi, nilai tertinggi diperoleh di putaran mesin bawah. Nilai torsi yang tinggi di awal ini diperlukan untuk kemampuan untuk membawa beban kendaraan pada kecepatan rendah. Seiring semakin tinggi putaran mesin, torsi juga mengalami penurunan. Penurunan ini terjadi dikarenakan waktu pembakaran yang semakin singkat. Sehingga banyak campuran bahan bakar dan udara yang tidak terbakar secara maksimal.

B. Pengaruh jumlah sekat pada daya dan torsi

Analisis data yang digunakan oleh peneliti menggunakan nilai alfa sebesar 0,05. Dilihat dari tabel annova torsi, dapat diketahui bahwa nilai dari P-value interaksi bernilai lebih kecil daripada alfa 0,05 sehingga dapat disimpulkan bahwa ada interaksi antara jumlah sekat pada catalytic converter dengan putaran mesin terhadap torsi yang dihasilkan.

Untuk mencari nilai optimasi dari daya dan torsi, peneliti menggunakan analisa Design Of Experiment dengan metode Response Surface Methodology pada software minitab. melalui metode ini, setelah data daya dan torsi dimasukan dan dianalisa, didapatkan output persamaan regresi seperti berikut.

Untuk mencari nilai optimasi dari daya dan torsi, peneliti menggunakan analisa *Design of Experiment* den-

gan metode *Response Surface Methodology* pada perangkat lunak Minitab. Melalui metode ini, setelah data daya dan torsi dimasukkan dan dianalisis, didapatkan output persamaan regresi sebagai berikut: $Daya = -3.641 + 0.003472 \cdot rpm - 0.0981 \cdot n - 0.0000001 \cdot rpm^2 + 0.000036 \cdot rpm \cdot n$ di mana n adalah jumlah sekat. Dari persamaan regresi daya di atas, koefisien tertinggi diperoleh pada variabel N (Jumlah Sekat) sebesar 0.0981. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah sekat memiliki pengaruh signifikan terhadap daya yang dihasilkan.

Persamaan regresi untuk profil torsi adalah $Torsi = 10.211 + 0.000621 \cdot rpm + 0.0561 \cdot n - 0.0000001 \cdot rpm^2 + 0.000014 \cdot rpm \cdot n$. Dari persamaan regresi torsi tersebut, koefisien tertinggi juga terdapat pada variabel n , yaitu sebesar 0.0561. Hal ini mengindikasikan bahwa jumlah sekat juga berpengaruh terhadap besarnya torsi mesin.

Output dari metode ini, juga bisa memunculkan tabel solusi untuk mencari nilai daya maupun torsi yang optimal. Berikut tabel solusi yang didapat dari analisa Response Surface Method minitab. Berdasarkan analisis Response Surface Methodology, didapatkan nilai optimum dengan putaran mesin sebesar 6069,76 pada catalytic converter 6 sekat dan nilai torsi optimum sebesar 9,94956 dan nilai daya optimum sebesar 8,53279.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, dapat disimpulkan bahwa knalpot dengan konfigurasi Catalytic Converter 6 sekat memberikan performa terbaik dalam menghasilkan torsi dan daya mesin. Konfigurasi ini menunjukkan nilai torsi tertinggi secara konsisten di seluruh rentang putaran mesin, dengan puncak lebih dari 11 Nm pada 4000 RPM dan koefisien determinasi regresi sebesar $R^2 = 0,9676$. Persamaan regresi daya dan torsi menunjukkan bahwa jumlah sekat memiliki pengaruh signifikan terhadap performa mesin. Hasil analisis Response Surface Methodology menghasilkan nilai optimal torsi sebesar 9,95 Nm dan daya sebesar 8,53 HP pada putaran mesin 6069,76 RPM dengan catalytic 6 sekat. Temuan ini menegaskan bahwa peningkatan jumlah sekat pada catalytic converter dapat meningkatkan efisiensi pembakaran dan kinerja mesin secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Ghofur, J. Akhmad Yani Km, and K. Selatan, "Penggunaan Kuningan sebagai Bahan Catalytic Converter terhadap Emisi Gas Buang dan Performa Mesin Suzuki Shogun Axelo 125," 2019.
- [2] W. Warju, N. S. Drastiawati, S. R. Ariyanto, and M. Nurtanto, "The Effect of Titanium Dioxide (TiO₂) Based Metallic Catalytic Converter on the Four-Stroke Motorcycle Engine Performance," *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing Ltd, vol. 1747, no. 1, Feb. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1747/1/012031>.
- [3] 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, Oct. 2020. DOI: <https://doi.org/10.35970/accurate.v1i2.284>.
- [4] Ya' Muhammad Arsyad *et al.*, "Effect of TiO₂ on Orange Peel Activated Carbon Composite in Reducing Carbon Monoxide and Hydrocarbon Gas Emissions," *Jurnal Ilmu Fisika, Universitas Andalas*, vol. 15, no. 2, pp. 73–80, Apr. 2023. DOI: <https://doi.org/10.25077/jif.15.2.73-80.2023>.

- [5] A. Prasetyo, A. Ghofur, and P. Studi Teknik Mesin, "Pengaruh Penggunaan Catalytic Converter Berbahan Kaolin Aditif Tembaga (Cu) terhadap Performa dan Emisi Gas Buang pada Kendaraan Bermotor Satria F 150," vol. 2, 2020. [Online]. Available: <https://ppjp.ulm.ac.id/journals/index.php/rot>.
- [6] T. Suwasono, D. Abdu, and F. Assomadi, "Studi Pengaruh Intensitas Ultraviolet pada Fotokatalis TiO₂ sebagai Reduksi NO₂ dan Mikroorganisme dalam Sistem Ventilasi Ruang," unpublished.
- [7] M. Amin and M. Subri, "Uji Performa Filter Gas Emisi Kendaraan Bermotor Berbasis Keramik Porous dengan Aditif Tembaga, TiO₂, dan Karbon Aktif dalam Penurunan Kadar Gas Carbon Monoksida," 2016.
- [8] S. Josep, E. Sarwuna, W. Ruslan, and I. C. Setiawan, "Kajian Simulasi Pengaruh Tekanan Balik Gas Buang terhadap Kinerja Mesin Sepeda Motor Empat Langkah 135CC," unpublished.
- [9] B. Hermani and M. F. Sidiq, "Rekayasa Rancangan Konstruksi Knalpot Tunggal Sistem Saluran Gas Buang (Exhaust Silencer/Muffler) pada Motor Pembakaran Dalam Sepeda Motor," unpublished.
- [10] W. W. Pulkrabek, *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*, 1st ed.
- [11] M. A. Siregar, C. A. Siregar, Muharnif, A. M. Siregar, and I. Maulana, "Application of Catalytic Converter Copper Catalyst with Honeycomb Surfaces to Reduce Emissions of Flue Gas in Motorcycles," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 674, no. 1, 2019. DOI: 10.1088/1757-899X/674/1/012060.
- [12] S. R. Ariyanto, A. Syifa' Nugraha, W. R. Cahyadi, Y. D. Pratama, "Analyzing Transition Metal Catalytic Converter Impact on Four-Stroke Motorcycle Fuel Consumption," *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology (JMEST)*, 2021.
- [13] W. Warju, S. R. Ariyanto, M. Y. Pratama, "Exhaust Emission Control in Sport Motorcycles: A Comparison of Catalytic Converters with Alternative Metal Materials," *Jurnal Polimesin*, 2023.
- [14] M. N. Ramadhan, M. Adha, I. B. N. Sivanatha, and M. I. Irawan, "Pengaruh Penggunaan Catalytic Converter Kuningan Terhadap Emisi Gas Buang Mobil Antasari Evo I," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 16, no. 1, pp. 24–29, 2023. DOI: <https://doi.org/10.30630/jtm.16.1.1084>.
- [15] S Premkumar et al., "Experimental Investigation of HC and CO Emission Reduction from a Diesel Engine Powered by Plastic Oil Blend Using Fly Ash as Catalyst," *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 147, pp. 1535–1545, Feb. 2022.

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.