

ANALYSIS OF THE EFFECT OF HOLE GEOMETRY ON THE CATALYST ON EXHAUST GAS EMISSIONS IN MOTORCYCLE EXHAUST

(Analisis Pengaruh Geometri Lubang Katalis pada Gas Emisi Kendaraan Bermotor)

Bintara Adi Putra^{1*}, Oleh², Farradina Choria Suci³

ABSTRACT

The increasing number of motorized vehicles has a direct impact on air pollution caused by vehicle exhaust gases. A catalytic converter is a tool used to reduce exhaust emissions by reducing exhaust emissions. The catalyst is the main component in the catalytic converter which functions as a reducing agent. In this study, the material used as a catalyst is brass. This study aims to determine the effect of the geometry of the catalyst on the distribution of pressure, temperature, and velocity and to determine the exhaust gas emissions that come out of the combustion chamber into the environment after adding a catalyst, as well as to compare the results of testing exhaust emissions on a standard exhaust with an exhaust that has added a catalyst. The method used in this study is the simulation method using Solidwork 2019 software and experimental testing using agass analyzer. From experimental testing, the most optimal catalyst geometry will be sought to reduce exhaust gas emission levels such as CO, HC, and CO₂ levels. The result of the largest pressure distribution occurs in the geometry of list IV and the smallest average pressure occurs in the standard exhaust. The largest temperature distribution occurs in the geometry of the catalyst III standard exhaust. The largest average velocity distribution occurs in the standard exhaust and the smallest on the catalyst geometry IV. The results of the experimental test the most optimal percentage reduction in exhaust emissions occurred in the geometry of the alist IV which was compared with the results of the standard exhaust test with results of CO 15.153%, HC 19.713%, and CO₂ 9.275%.

Keywords: Catalytic converter, catalyst, brass material

PENDAHULUAN

Polusi udara merupakan ancaman bagi lingkungan dan kesehatan pernafasan manusia. Sumber-sumber polusi udara dapat berasal dari emisi gas buang mesin-mesin pada pabrik, tidak terkecuali kendaraan bermotor. Pertumbuhan kendaraan bermotor di Indonesia yang terus meningkat, dari data Badan Pusat Statistik (BPS) perkembangan jumlah kendaraan

¹ Universitas Singaperbangsa Karawang, Karawang, Indonesia

*Corresponding author:
1710631150055@student.unsika.ac.id

meningkat setiap tahunnya di Indonesia. Pada tahun 2019, jumlah kendaraan naik bertambah 7.108.236 unit atau meningkat 5,3% menjadi 133.617.012 unit dari tahun sebelumnya sebanyak 126.508.776 unit. Jumlah kendaraan di tahun 2018 naik 5,9% dari tahun 2017 sejumlah 118.922.708 unit (Gaikindo, 2021).

Meningkatnya jumlah kendaraan bermotor setiap tahunnya berdampak terhadap peningkatan gas buang, sehingga menghasilkan banyak polusi udara. Gas buang yang dihasilkan dari jutaan knalpot akan mengakibatkan berkurangnya kualitas udara dan dapat mencemari lingkungan. Pengendalian emisi gas buang ditentukan oleh pemerintah melalui Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 05 Tahun 2006, peraturan ini dikeluarkan oleh pemerintah guna upaya mengendalikan emisi gas buang yang dihasilkan dari kendaraan bermotor. Dalam mengurangi sisa emisi gas buang motor yang berbahaya, salah satunya dengan memberikan perlakuan terhadap gas buang dengan melalui alat pengendali emisi. *Catalytic converter* salah satu teknologi yang sering diaplikasikan pada kendaraan bermotor (Prasetyo & Fahrurrozi, 2020).

Catalytic converter adalah salah satu alat untuk mempercepat terjadinya proses pembakaran sisa-sisa hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO) dan nitrogen oksid (NO_x) yang masih terdapat pada gas buang kendaraan bermotor. Sewaktu melewati *catalytic converter* gas tersebut akan mengalami proses kimia secara oksidasi dan reduksi akibat adanya penambahan oksigen dan temperatur tinggi, proses pembakaran sisa hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), dan nitrogen oksid (NO_x) yang masih terdapat pada gas buang sewaktu melewati katalisator, yang semula berbahaya berupa HC, CO dan NO_x akan berubah menjadi senyawa yang stabil berupa CO₂, senyawa air H₂O, senyawa N₂ dan O₂ (Mokhtar et al., 2015). Katalis merupakan bagian sangat penting dalam *catalytic converter* yang berfungsi untuk mempercepat laju reaksi kimia pada suhu tertentu, tanpa mengalami perubahan atau terpakai oleh reaksi itu sendiri. material yang biasa digunakan sebagai katalis adalah material yang mahal dan jarang seperti palladium, platinum, rodium dan stainless steel (Amin M and Rubijanto, 2020), (Irawan, 2012).

Pada penelitian ini akan menggunakan material kuningan. Kuningan dipilih karena harganya yang relatif murah dan mudah didapat dipasaran daripada palladium, platinum, rodium dan *stainless steel*. Kuningan memiliki konduktivitas termal sebesar 110 W/m °K dan titik lebur 915 °C. Semakin tinggi konduktivitas termal dan titik lebur, maka semakin bagus pula bahan tersebut untuk digunakan sebagai katalis Katalis nantinya akan terpasang pada

muffler (Amin M and Rubijanto, 2018), (Prasetyo & Fahrurrozi, 2020).

Muffler adalah komponen pada sistem gas buang (*exhaust system*) berfungsi untuk meredam suara yang dihasilkan dari gas buang. Selain itu, *muffler* juga berfungsi untuk menurunkan temperature serta menurunkan tekanan yang keluar, serta tekanan balik yang akan mempengaruhi peforma mesin. Temperatur yang tidak terdistribukan dengan baik akan merusak material *Muffler* adalah komponen pada sistem gas buang (*exhaust system*) berfungsi untuk meredam suara yang dihasilkan dari gas buang. Selain itu, *muffler* juga berfungsi untuk menurunkan temperature serta menurunkan tekanan yang keluar, serta tekanan balik yang akan mempengaruhi peforma mesin. Temperatur yang tidak terdistribukan dengan baik akan merusak material (Adolf et al., 2020).

Pada penelitian tugas akhir ini akan menganalisa tentang distribusi kecepatan, tekanan dan temperatur aliran emisi gas buang menggunakan *software* Solidwork 2019 dan pengujian emisi gas buang menggunakan *gases analyzer* pada sepeda motor Suzuki Satria FU150 tahun 2013 dari beberapa geometri katalis yang berbeda sehingga mendapatkan geometri yang optimal. Pada penelitian tugas akhir ini akan menganalisa tentang distribusi kecepatan, tekanan dan temperatur aliran emisi gas buang menggunakan *software* Solidwork 2019 dan pengujian emisi gas buang menggunakan *gases analyzer* pada sepeda motor Suzuki Satria FU150 tahun 2013 dari beberapa geometri katalis yang berbeda sehingga mendapatkan geometri yang optimal.

LANDASAN TEORI

1. Proses Pembakaran

Proses pembakaran adalah reaksi oksidasi yang sangat cepat antara bahan bakar dan oksidator sehingga menimbulkan nyala dan panas. Bahan bakar merupakan dasar yang melepaskan panas ketika dioksidasi dan mengandung unsur – unsur karbon (C), hydrogen (H), nitrogen (N), dan sulfur (S). Oksidator adalah dasar yang mengandung oksigen yang bereaksi dengan bahan bakar. Fenomena–fenomena yang terjadi pada pembakaran antara lain (Lapisa et al., 2019):

- a. Proses – proses kimia dan fisika.
- b. Pelepasan panas yang berasal dari energi ikatan – ikatan kimia.
- c. Proses perpindahan panas.
- d. Proses perpindahan massa.

e. Gerak fluida.

2. Emisi Gas Buang

Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 13 Tahun 1995 emisi didefinisikan sebagai masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan komponen lain ke udara ambient.

Menurut PP No. 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara yang dimaksud dengan emisi adalah zat, energi dan/atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk atau dimasukkannya ke dalam udara ambien yang mempunyai atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar. Sumber emisi adalah setiap usaha dan kegiatan yang mengeluarkan emisi dari sumber bergerak, sumber bergerak spesifik, sumber tidak bergerak maupun sumber tidak bergerak spesifik.

Emisi transportasi adalah pancaran atau pelepasan gas buang yang berasal dari sektor transportasi. Gas buang yang dimaksud merupakan gas buang yang diemisikan ke udara ambien berupa gas dari berbagai jenis polutan dan partikel

Bagian ini ditulis dalam bahasa Indonesia. Spasi tunggal / satu. Jenis huruf Garamond. Ukuran huruf 12 poin. Marjin: normal.

Emisi gas buang adalah sisa – sisa pembakaran yang keluar dari ruang bakar menuju ke lingkungan dari knalpot. Terdapat empat emisi pokok yang dihasilkan oleh kendaraan, diantaranya adalah (Ferdnian, 2016):

- a. Hidrokarbon (HC), Senyawa hidrokarbon terjadi karena bahan bakar belum terbakar tetapi sudah terbang bersama gas buang akibat pembakaran kurang sempurna dan penguapan.
- b. Karbonmonoksida (CO) adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau, mudah terbakar dan sangat beracun. Terbentuknya CO dan HC sangat tergantung dari perbandingan campuran bahan bakar dan udara yang masuk dalam ruang bakar.
- c. Karbondioksida (CO₂) pembakaran bahan fosil meningkatkan konsentrasi CO₂ di bumi. CO₂ tidak beracun seperti gas CO namun dapat menaikkan suhu bumi.
- d. Nitrogen oksida (NO_x) yang terbentuk dari hasil pembakaran pada suhu tinggi, terutama pembakaran bahan bakar, seperti minyak bumi, solar, gas, dan bahan organik.

Pengendalian emisi gas buang diatur oleh Pemerintah Republik Indonesia, yaitu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor (Muhamamd, 2013).

Tabel 1. Ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor (Muhamamd, 2013)

Kategori	Tahun Pembuatan	Parameter		Metode Uji
		CO (%)	HC (ppm)	
Sepeda motor 2 langkah	< 2010	4,5	12000	<i>Idle</i>
Sepeda motor 4 langkah	< 2010	5,5	2400	<i>Idle</i>
Sepeda motor 2 langkah dan 4 langkah	> 2010	4,5	2000	<i>Idle</i>

A. Rumus Emisi Gas Buang

Berikut diawah ini adalah rumus – rumus emisi gas buang (Nasution, 2018):

a. Rumus mencari rata – rata nilai emisi gas buang

$$\text{Nilai rata-rata} = \frac{\text{jumlah nilai}}{\text{banyaknya data}} \dots\dots\dots (1)$$

b. Rumus persentase emisi

$$\text{Persentase emisi} = \frac{\text{rata-rata emisi dengan katalis}}{\text{rata-rata emisi tanpa katalis}} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

c. Rumus persentase penurunan emisi

$$\text{Persentase penurunan emisi} = 100\% - \text{persentase emisi}(\%) \dots\dots\dots (3)$$

3. Sistem Pembuangan Emisi Gas Buang

Menurut Gridoto, Sistem Gas Buang atau disebut dengan *Exhaust System* adalah sistem yang berfungsi untuk membuang gas hasil pembakaran. Sistem gas buang ini disusun oleh beberapa komponen utama yaitu *exhaust manifold (header)*, *catalitic converter*, *muffler* (Nugroho, 2020).

A. Exhaust Manifold (Header)

Header merupakan saluran gas buang hasil sisa pembakaran dari blok mesin yang menjadi bagian terdepan pada knalpot. Bagian ini sebagai alat yang memudahkan mesin untuk mendorong gas dari silinder mesin. Rajasekhar dan Madhava (2012) menyatakan bahwa setelah proses pembakaran di dalam mesin, gas tekanan tinggi akan dilepaskan. Gas tersebut masuk ke exhaust manifold dan terus menuju pipa.

Gambar 1. *Exhaust manifold*

B. Catalytic Converter

Catalytic converter berfungsi digunakan untuk mengkonversi gas yang merugikan seperti gas karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (Nox) menjadi gas yang tidak berbahaya seperti karbon dioksida (CO₂) dan nitrogen (N). *Catalytic converter* merupakan suatu alat yang digunakan untuk menurunkan emisi gas buang sisa pembakaran yang berbahaya sebelum dilepaskan ke udara bebas pada sebuah kendaraan. Untuk dapat bekerja dengan baik katalis harus berada pada suhu 427 °C.

Catalytic converter merupakan gas berbahaya menjadi gas yang tidak berbahaya seperti:

- Merubah HC dan O₂ menjadi CO₂ dan H₂O.
- Merubah CO dan O₂ menjadi CO₂.
- Merubah NO dan H₂ menjadi N₂ dan H₂O.

Salah satu reaksi pada *catalytic converter* adalah penguraian karbon monoksida (CO) menjadi karbon dioksida (CO₂) dan nitrogen (N₂). Reaksi kimianya adalah seperti dibawah ini.



C. Muffler

Muffler merupakan bagian knalpot yang berfungsi untuk mengurangi tekanan dan mendinginkan gas sisa pembakaran. Gas sisa yang keluar dari mesin memiliki tekanan tinggi serta suhu yang tinggi juga. Apabila gas sisa yang keluar dari mesin dengan panas dan tekanan yang tinggi langsung ke udara luar atau lingkungan, maka gas sisa tersebut akan mengembang cepat sekali dan akan menyebabkan timbulnya suara ledakan yang keras (Deky Sanjaya putra, 2017).



Gambar 2. Muffler

4. Katalis

Katalis merupakan bagian penting yang ada pada *catalytic converter*. Katalis adalah suatu zat yang mempengaruhi kecepatan reaksi tetapi tidak dikonsumsi dalam reaksi dan tidak mempengaruhi kesetimbangan pada akhir reaksi. Sifat – sifat katalis adalah:

- a. Komposisi kimia katalis tidak berubah pada akhir reaksi.
- b. Katalis yang diperlukan dalam suatu reaksi sangat sedikit.
- c. Katalis tidak mempengaruhi keadaan akhir suatu kesetimbangan reaksi.
- d. Katalis tidak memulai suatu reaksi tetapi mempengaruhi laju reaksi.

kenaikan konsentrasi katalisator juga menaikkan kecepatan reaksi. Katalisator juga menurunkan tenaga aktivasi hingga menyebabkan kecepatan reaksi meningkat. Bahan katalis yang digunakan adalah kuningan (Purnomo, 2012).



Gambar 3. Katalis

5. Tekanan dan Kecepatan Aliran Gas Buang

Gas buang yang keluar dari ruang bakar menghasilkan sebuah tekanan dan kecepatan aliran gas buang. Proses pembakaran campuran bahan bakar menghasilkan tekanan yang

bekerja pada piston sehingga melakukan langkah kerja. Besarnya tekanan berubah-ubah sepanjang langkah piston tersebut. Tekanan efektif rata-rata atau *mean effective pressure* (*mep*) didefinisikan sebagai tekanan tetap rata – rata teoritis yang bekerja sepanjang volume langkah piston bekerja sehingga menghasilkan daya. Jika tekanan efektif rata – rata dihitung berdasarkan pada *brake horse power* (*bhp*) maka disebut *brake mean effective pressure* (*bmep*) dapat dihitung dengan rumus (Susilo, 2018):

$$bmep = \frac{bhp \times z \times 60 \text{ detik}}{A \times L \times n \times i} \dots\dots\dots (4)$$

Rumus luas penampang:

$$A = \frac{\pi}{4} \times D_s^2 \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

- bmep = Tekanan efektif rata – rata (N/m²).
- bhp = Daya motor (Watt).
- A = Luas penampang (m²).
- L = Panjang langkah piston (m).
- i = Jumlah silinder.
- n = Putaran mesin (rpm).
- z = 1 atau 2 (untuk mesin 2 atau 4 langkah).
- Ds = Diameter silinder.

Tekanan yang keluar dari ruang bakar juga menghasilkan kecepatan aliran emisi gas buang. Ketika katup uang terjadi gelombang energi yang muncul akibat berekspansinya gas pembakaran secara cepat. Secara simultan, gelombang energi dan gas sisa pembakaran masuk ke dalam pipa pembuangan (knalpot) menuju ke lingkungan dengan kecepatan 45-90 m/s. Tenaga maksimum bisa dicapai ketika kecepatan gas sebesar 72-90 m/s (Putra, 2012).

6. Material Kuningan

Tembaga (Cu) dan seng (Zn) merupakan salah satu logam paduan utama dari bahan kuningan. Sedangkan bahan paduan utama kuningan adalah tembaga (Cu). Berat jenisnya 8,9, titik lelehnya sampai 1083°C, mempunyai daya hantar listrik dan panas yang baik dan tahan pengaruh udara lembab merupakan beberapa sifat - sifat yang dimiliki oleh tembaga.

Bahan paduan utama kedua adalah seng (Zn). Seng memiliki sifat-sifat antara lain, berat jenisnya 6,9-7,2, titik cairnya 419°C, titik didih 402°C, dan tahan udara lembab. Seng biasa digunakan untuk melapis pelat besi agar tidak terjadi korosi (Prasetyo & Fahrurrozi, 2020).

Tabel 2. Properti fisik material kuningan (Prasetyo & Fahrurrozi, 2020)

Properti Fisik	Satuan
Massa jenis	8,4 Kg/dm ³
Titik lebur	885-910°C
Modulus elastisitas	102GPa
Konduktivitas termal	109 W/M.K
Konduktivitas listrik	13,9 m/Ω
Resistivas listrik	0,07 Ω mm ² /m
Koefisien ekspansi linear 20° sampai 300 ⁰ C	21,1 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹
LAICS (<i>International Annealed Copper Standart</i>)	24%

7. Gases analyser

Gases analyzer adalah instrument yang digunakan untuk mengukur proporsi dan komposisi dari gabungan gas. Gas yang bisa ukur melalui *gases analyzer* adalah gas karbon dioksida (CO₂), oksigen (O₂), karboh monoksida (CO). *Gases analyzer* berupa alat yang sudah dilengkapi dengan sistem print dan dapat juga memunculkan tampilannya ke laptop.

Gases analyzer adalah instrumen yang mampu menganalisis spesies gas kimia yang ada dalam sampel. Tidak hanya itu mengidentifikasi spesies tetapi juga memiliki kemampuan untuk memberikan nilai pengukuran kuantitas yang ditampilkannya bentuk numerik atau menunjukkannya secara grafis. Pada perangkat *gases analyzer* terdapat beberapa komponen penting, salah satunya adalah sensor. Sensor merupakan sebuah perangkat yang berfungsi untuk mendeteksi dan mengukur kadar gas tertentu sesuai dengan jenis sensornya (Muarif, 2017).

8. Solidworks

Perangkat lunak solidworks adalah perangkat lunak 3D CAD (*Computer Aided Design*) mekanis yang digunakan dalam mendesain produk, desain kontruksi, desain

mekanis, desain perakitan, dan desain maupun operasi lainnya. Solidwors merupakan program pemodelan parametik berbasis fitur. Parameternya sendiri adalah setelah geometri selesai, hubungan antara semua objek dan geometri dapat diubah kembali tanpa harus mengulang sketsa (*sketch*) dari awal. Perangkat lunak Solidworks dilengkapi dengan kemampuan analisis saat mendesain gambar, termasuk analisi dinamis, benturan, aliran (*flow*), *temperature*, dan pergerakan (*simulastion*) (Tjerita, 2018).



Gambar 4. Gases analyser



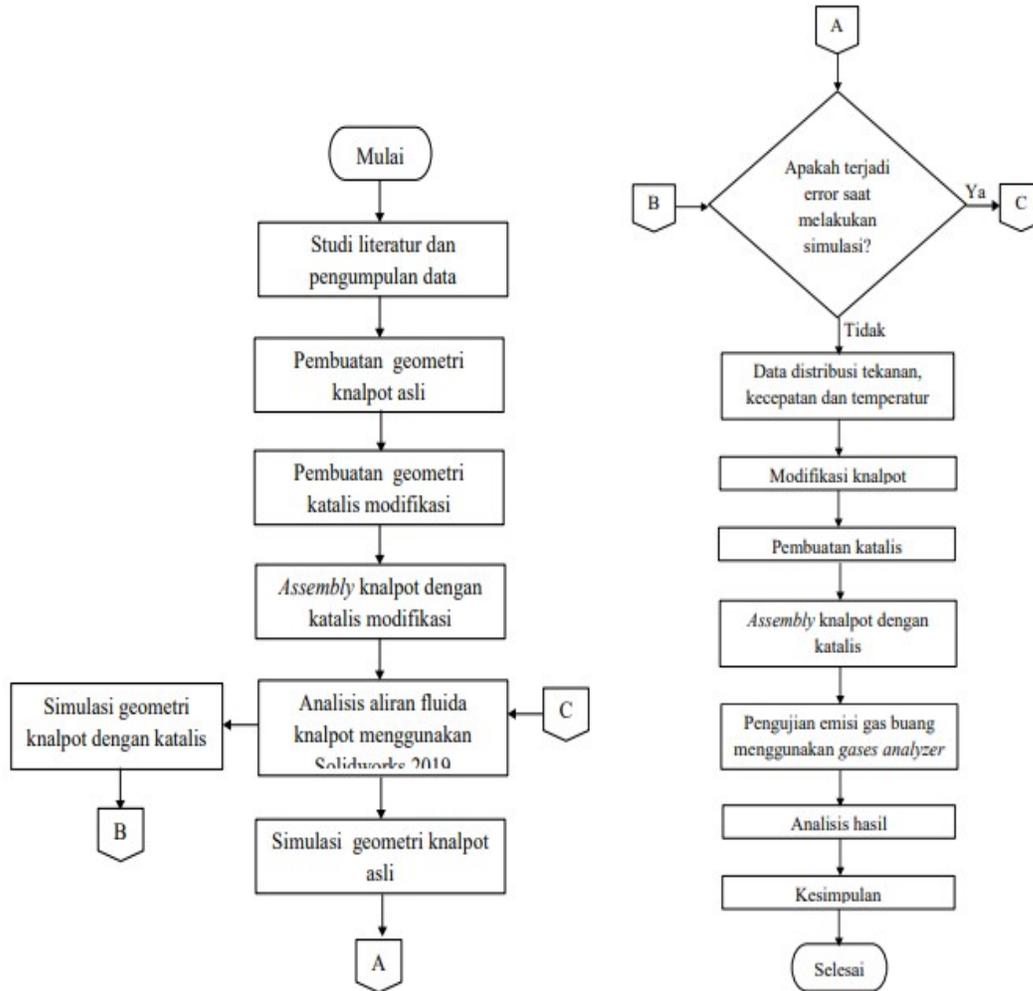
Gambar 5. Solidwork

METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu simulasi dan uji eksperimen.

1. Flowchart Penelitian

Langkah-langkah dalam penelitian ini terlihat pada gambar *flowchart* dibawah ini.



Gambar 6. *Flowchart* penelitian

2. Ruang Lingkup Penelian

Adapun variabel – variabel yang digunakan pada penelitian kali ini yaitu jarak antar lubang serta diameter lubang pada katalis. Adapun hasil yang akan dicari adalah distribusi tekanan, temperatur dan kecepatan aliran serta emisi gas buang. Berikut dibawah ini adalah tabel ruang lingkup penelitian. Geometri lubang pada katalis yang digunakan pada penelitian ini sebanyak tiga geometri.

3. Bahan Penelitian

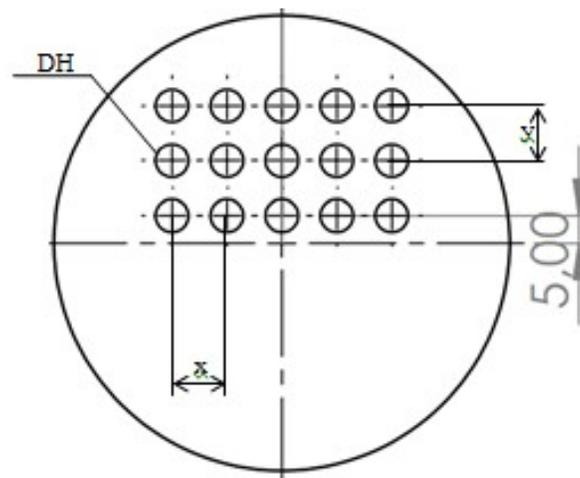
Dalam penelitian ini sebagai media uji memakai sebuah sepeda motor Suzuki Satria Fu150 dengan kapasitas mesin 150 cc dan objek bahan yang dipakai pada penelitian ini terdiri dari dua jenis, yaitu knalpot sepeda motor standar pabrik tanpa penambahan katalis dan knalpot sepeda motor modifikasi yang sudah di pasang katalis. Untuk perancangan katalis dilakukan berdasarkan ruang yang tersedia pada knalpot standar menggunakan 3 plat kuningan dengan tebal 2mm.

Tabel 3. Spesifikasi mesin sepeda motor Suzuki Satria FU150 (Suzuki, 2021)

Mesin	4 langkah, DOHC, 4 katup
Kapasitas mesin	147,3 cc
<i>Bore x Stroke</i>	62 x 48 mm
Kompresi	10,2 : 1
Maksimal <i>power</i>	11,58 hp / 9500 rpm
Maksimal torsi	1,27 kg.m / 8500 rpm

A. Ukuran Geometri Lubang pada Katalis

Ukuran geometri katalis dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 7. Ukuran lubang pada katalis

Tabel 4. Ukuran lubang pada masing-masing katalis

No	Nama	DH (mm)	L (mm)		B
			x	y	
1.	Katalis I	6	10	10	15
2.	Katalis II	6	12	12	15
3.	Katalis III	8	10	10	15

Keterangan:

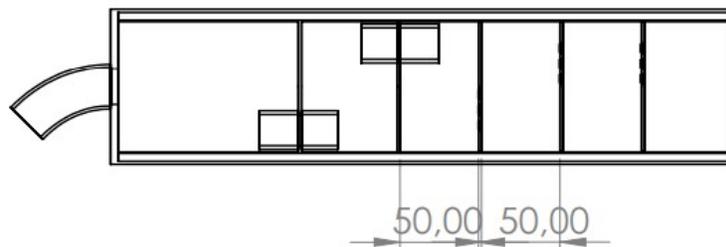
DH = Diameter lubang (mm)

L = Jarak lubang (mm)

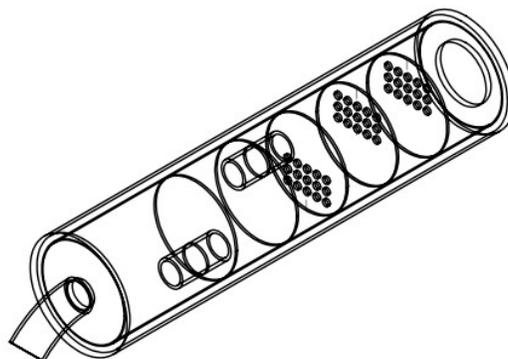
B = Banyak lubang

B. Assembly Knalpot dengan Katalis

Adapun jarak antara plat katalis dengan katalis lainnya yaitu 50 mm. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 8. Jarak antar katalis



Gambar 9. 3D Penempatan katalis pada knalpot standar



Gambar 10. Penampakan penempatan katalis di knalpot standar

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Simulasi Aliran Fluida Knalpot

Sebelum melakukan simulasi pada solidworks 2019, maka dilakukan perhitungan teoritis unruk mengetahui tekanan efektif rata – rata yang terjadi pada saat proses kerja mesin. Perhitungan ini diperlukan sebagai parameter tekanan pada saat simulasi. Sebelum melakukan simulasi pada solidworks 2019, maka dilakukan perhitungan teoritis unruk mengetahui tekanan efektif rata – rata yang terjadi pada saat proses kerja mesin. Perhitungan ini diperlukan sebagai parameter tekanan pada saat simulasi.

$$b_{mep} = \frac{b_{hp} \times z \times 60 \text{ detik}}{A \times L \times n \times i}$$

Diketahui:

$$1 \text{ HP} = 0,746 \text{ Kw}$$

$$b_{hp} = 11,58 \text{ HP} = 8,639 \text{ Kw} = 8639 \text{ Watt}$$

$$n = 8500 \text{ Rpm}$$

$$z = 2$$

$$i = 1$$

$$L = 48 \text{ mm} = 0,048 \text{ mm}$$

$$D_s = 62 \text{ mm} = 0,062 \text{ mm}$$

Besarnya luas penampang pada piston dapat dihitung dengan persamaan:

$$A = \frac{\pi}{4} \times D_s^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} \times 0,062^2$$

$$A=0,00302 \text{ m}^2$$

$$A=3,02 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Sehingga besarnya bmep adalah:

$$b_{mep} = \frac{8639 \text{ Watt} \times 2 \times 60 \text{ detik}}{3,02 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \times 0,048 \text{ mm} \times 8500 \text{ Rpm} \times 1}$$

$$b_{mep} = 841351,773 \text{ Pa}$$

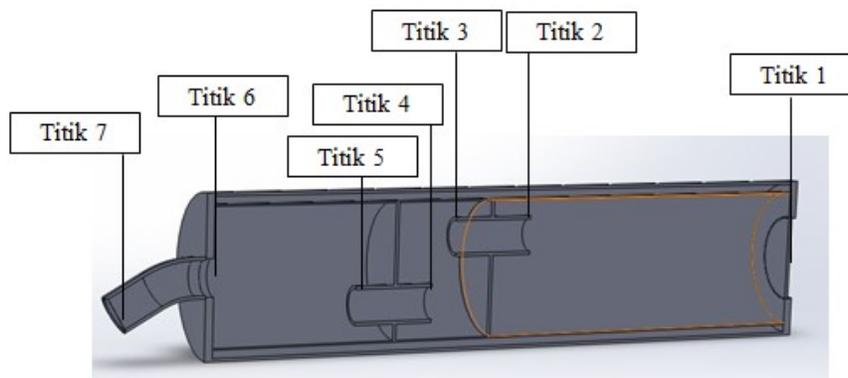
$$b_{mep} = 841,351 \text{ KPa}$$

Parameter yang digunakan pada saat simulasi yaitu temperature emisi gas buang, tekanan efektif rata-rata, tekanan *environment*, temperatur *environment*, dan kecepatan aliran emisi gas buang.

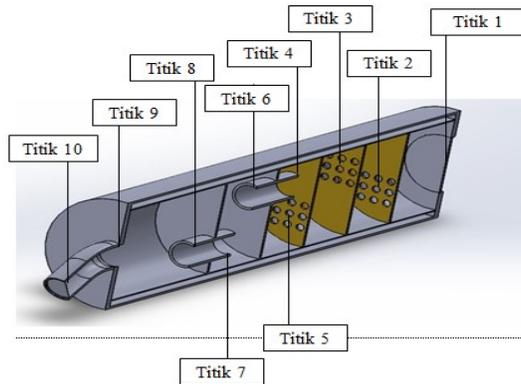
Tabel 5. Parameter simulasi

Parameter	Hasil
Temperatur emisi gas buang	330 °C
Tekanan efektif rata - rata	841351,773 Pa
Tekanan <i>environment</i>	101325 Pa
Temperatur <i>environment</i>	25 °C
Kecepatan aliran emisi gas buang	67,5 m/s

Adapun titik pengambilan data dari simulasi dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



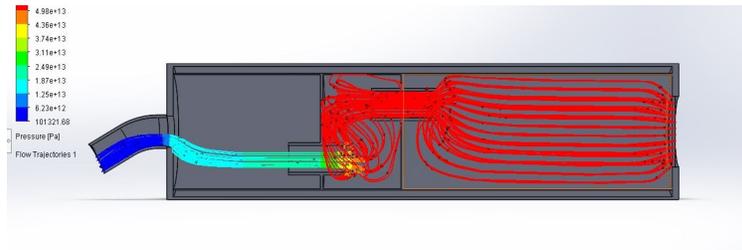
Gambar 11. Titik data yang diambil pada knalpot standar



Gambar 12. Titik data yang diambil pada knalpot dengan katalis

Hasil Simulasi

Setelah dilakukan simulasi didapat hasil seperti pada tabel dibawah ini. Berikut adalah hasil pengujian eksperimen pada knalpot standar tanpa penamahan geometri katalis.



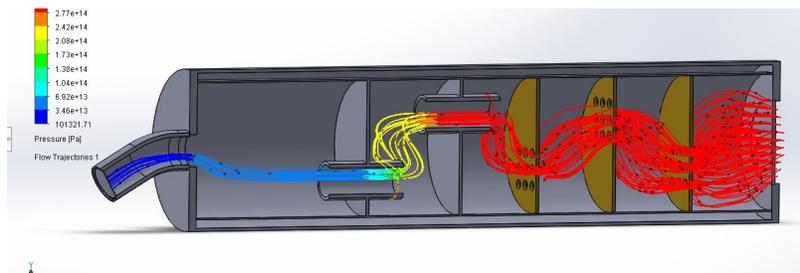
Gambar 13. Bentuk aliran fluida pada knalpot standar

Tabel 6. Hasil simulasi knalpot standar

Titik	Knalpot Standart		
	P (Pa)	T (°C)	V (m/s)
1	$5,60 \times 10^{13}$	330	68
2	$5,60 \times 10^{13}$	323	127
3	$5,24 \times 10^{13}$	322	148
4	$4,32 \times 10^{13}$	320	146
5	$1,86 \times 10^{13}$	279	332
6	$1,38 \times 10^{13}$	302	230
7	$1,15 \times 10^{10}$	145,37	618

Pada simulasi knalpot standar tekanan terbesar terjadi pada titik 1 dan 2 yaitu sebesar $5,60 \times 10^{13}$ Pa, tekanan terkecil terjadi pada titik 7 yaitu sebesar $1,15 \times 10^{10}$ Pa dengan tekanan rata – rata sebesar $3,43 \times 10^{13}$ Pa. Temperatur terbesar terjadi pada titik 1 yaitu sebesar 330 °C, temperatur terkecil terjadi pada titik 7 sebesar 145,37 °C dengan temperatur rata – rata sebesar 289 °C. Kecepatan aliran terbesar terjadi pada titik 7 sebesar 618 m/s, kecepatan aliran terkecil terjadi pada titik 1 sebesar 68 m/s dengan kecepatan aliran rata – rata sebesar 238 m/s.

Berikut adalah hasil pengujian eksperimen pada knalpot standar dengan penambahan geometri katalis.

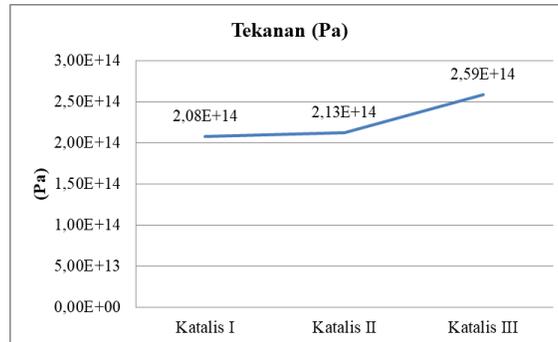


Gambar 14. Bentuk aliran fluida pada knalpot standar dengan penambahan katalis

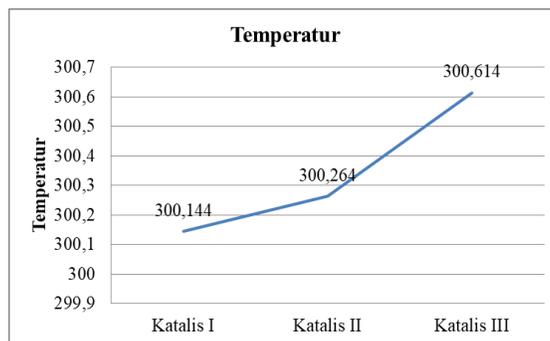
Tabel 7. Hasil simulasi knalpot standar dengan penambahan katalis

Titik	Katalis I	Katalis II	Katalis III	Katalis I	Katalis II	Katalis III	Katalis I	Katalis II	Katalis III
1	$3,11 \times 10^{14}$	$3,11 \times 10^{14}$	$3,11 \times 10^{14}$	330	330	330	68	68	68
2	$3,11 \times 10^{14}$	$3,11 \times 10^{14}$	$3,11 \times 10^{14}$	328,37	328,51	330,54	52	54	49
3	$3,11 \times 10^{14}$	$3,11 \times 10^{14}$	$3,11 \times 10^{14}$	328,52	328,15	330,28	48	54	52
4	$3,11 \times 10^{14}$	$3,11 \times 10^{14}$	$3,11 \times 10^{14}$	331,77	331,79	331,74	19	19	24
5	$3,11 \times 10^{14}$	$3,11 \times 10^{14}$	$3,11 \times 10^{14}$	324,47	324,19	323,49	116	119	123
6	$2,49 \times 10^{14}$	$2,59 \times 10^{14}$	$2,59 \times 10^{14}$	321,6	321,51	321,83	151	152	150
7	$1,89 \times 10^{14}$	$2,02 \times 10^{14}$	$2,02 \times 10^{14}$	316,04	317,31	317,64	171	164	162
8	$5,00 \times 10^{13}$	$6,31 \times 10^{13}$	$6,31 \times 10^{13}$	275,82	276,19	276,08	340	340	340
9	$3,67 \times 10^{13}$	$4,64 \times 10^{13}$	$4,64 \times 10^{13}$	299,9	300,51	300,09	240	237	239
10	$1,29 \times 10^{10}$	$2,05 \times 10^{10}$	$2,05 \times 10^{10}$	144,95	144,48	144,45	618	619	619
Rata-rata	$2,08 \times 10^{14}$	$2,13 \times 10^{14}$	$2,13 \times 10^{14}$	300,144	300,264	300,614	182	183	183
Selisih	$3,11 \times 10^{14}$	$3,11 \times 10^{14}$	$3,11 \times 10^{14}$	185,05	185,52	185,55	551	552	552

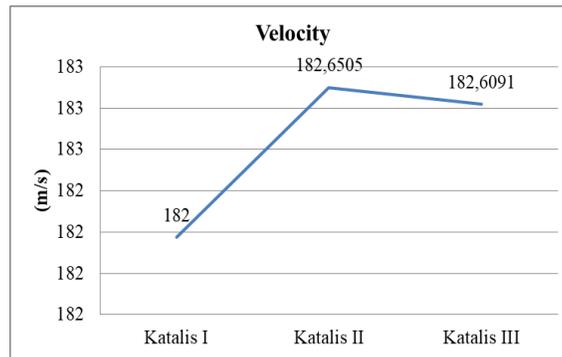
Hasil distribusi tekanan, temperatur dan *velocity* rata – rata knalpot standar dan knalpot yang telah ditambahkan katalis didapatkan pada saat simulasi. Knalpot standar yaitu dengan tekanan rata-rata sebesar $3,43 \times 10^{13}$ Pa, temperatur rata-rata 238 °C, dan *velocity* rata-rata sebesar 238 m/s. Geometri katalis I yaitu dengan tekanan rata – rata sebesar $2,08 \times 10^{14}$ Pa, temperatur rata-rata 300,144 °C, dan *velocity* rata-rata sebesar 182 m/s. Geometri katalis II yaitu dengan tekanan rata-rata sebesar $2,13 \times 10^{14}$ Pa, temperatur rata-rata 300,264 °C, dan *velocity* rata – rata sebesar 183 m/s. Geometri katalis III yaitu dengan tekanan rata-rata sebesar $2,59 \times 10^{14}$ Pa, temperatur rata – rata 300,614 °C, dan *velocity* rata-rata sebesar 183 m/s. Setiap hasil pada simulasi geometri katalis berbeda yaitu dengan tekanan rata-rata terkecil terjadi pada geometri katalis I, temperatur terkecil terjadi pada geometri katalis I dan *velocity* terkecil terjadi pada geometri katalis III. Setiap hasil pada simulasi berbeda-beda yaitu dengan tekanan rata – rata terkecil terjadi pada geometri katalis I, temperatur terkecil terjadi pada geometri katalis I dan *velocity* terkecil terjadi pada geometri katalis I. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Grafik 15. Tekanan rata-rata pada setiap katalis



Grafik 16. Temperatur rata-rata pada setiap katalis



Grafik 17. Velocity rata-rata pada setiap katalis

Hasil Uji Eksperimen

Hasil tersebut digunakan untuk mencari nilai rata – rata, mencari nilai persentase, perhitungan penurunan persentase pada emisi gas buang kendaraan. Berikut dibawah ini adalah data hasil pengujian emisi gas buang kendaraan secara eksperimen.

Tabel 8. Hasil pengujian secara eksperimen

No	Nama	Hasil					
		CO		HC		CO ₂	
		1	2	1	2	1	2
1.	Standart	2,435	2,158	226	220	3,4	3,5
2.	Katalis I	2,161	2,138	215	186	3,15	3,24
3.	Katalis II	1,78	2,502	179	210	3	3,34
4.	Katalis III	2,029	2,061	178	188	3,17	3,1

Setelah dilakukan pengujian secara eksperimen maka akan dilakukan perhitungan mencari nilai rata-rata dengan rumus:

$$\text{Nilai rata-rata} = \frac{\text{Jumlah nilai}}{\text{Banyak data}}$$

Maka akan didapatkan hasil seperti tabel 9. Sedangkan Tabel 8 menunjukkan hasil rata – rata uji emisi gas buang kendaraan standart dan penambahan katalis pada knalpot, dimana di dapatkan hasil pengujian CO, HC dan CO₂. Dengan nilai CO terkecil pada katalis III yaitu sebesar 2,045% dan nilai terbesar terdapat pada knalpot standart yaitu sebesar 2,2965%. Pada

hasil HC didapatkan nilai terkecil pada katalis III yaitu sebesar 183,5 ppm dan nilai terbesar terdapat pada knalpot standar yaitu sebesar 223 ppm. Sedangkan pada nilai CO₂ nilai terkecil pada katalis III yaitu sebesar 3,135 dan nilai terbesar terdapat pada knalpot standar yaitu sebesar 3,45.

Tabel 9. Hasil rata-rata pengujian secara eksperimen

No	Nama	Hasil		
		CO (%)	HC (ppm)	CO ₂
1	Standart	2,2965	223	3,45
2	Katalis I	2,1495	200,5	3,195
3	Katalis II	2,116	194,5	3,17
4	Katalis III	2,045	183,5	3,135

Setelah mendapatkan hasil rata-rata dari pengujian eksperimen, maka akan dilakukan perhitungan persentase penurunan emisi gas buang CO, HC dan CO₂ dengan rumus:

$$\text{Persentase emisi} = \frac{\text{Rata-rata emisi knalpot standar} - \text{Rata-rata emisi dengan katalis IV}}{\text{Rata-rata emisi knalpot standar}} \times 100\%$$

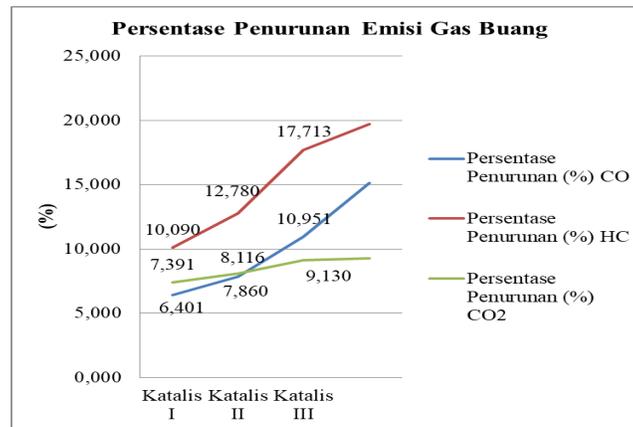
Setelah dilakukan perhitungan maka akan di dapatkan hasil dari persentase penurunan emisi gas buang CO, HC dan CO₂. Seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel 10. Persentase penurunan emisi gas buang pada setiap katalis

No	Nama	Persentase Penurunan (%)		
		CO	HC	CO ₂
1	Katalis I	6,401	10,090	7,391
2	Katalis II	7,860	12,780	8,116
3	Katalis III	10,951	17,713	9,130

Tabel 10 menunjukkan persentase penurunan emisi gas buang kendaraan Dimana penurunan ini didapatkan dari hasil perbandingan antara knalpot standart dengan knalpot yang telah ditambahkan katalis. Dari perbandingan tersebut didapat hasil pada katalis I CO 6,401%, HC 10,090%, dan CO₂ 7,391%. katalis II CO 7,86%, HC 12,78%, dan CO₂

8,116%. katalis III CO 10,951%, HC 17,713%, dan CO₂ 9,13%. Sedangkan, katalis IV CO 15,153%, HC 19,713%, dan CO₂ 9,275%. Lebih jelasnya untuk penurunan persentase emisi gas buang kendaraan dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Grafik 18. Persentase penurunan emisi gas buang pada setiap katalis

Dari grafik diatas diketahui bahwa geometri katalis berpengaruh terhadap persentase penurunan emisi gas buang. Dimana jarak antar lubang, diameter lubang, banyaknya lubang juga berpengaruh terhadap persentase penurunan emisi gas buang. Dimana persentase penurunan tertinggi terdapat pada katalis yaitu katalis III CO 10,951%, HC 17,713%, dan CO₂ 9,13%.

KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian pengaruh geometri katalis terhadap emisi gas buang maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil distribusi tekanan, temperatur dan *velocity* rata – rata knalpot standard dan knalpot yang telah ditambahkan katalis didapatkan pada saat simulasi. Knalpot standar yaitu dengan tekanan rata – rata sebesar $3,43 \times 10^{13}$ Pa, temperatur rata – rata 238 °C, dan *velocity* rata – rata sebesar 238 m/s. Geometri katalis I yaitu dengan tekanan rata – rata sebesar $2,08 \times 10^{14}$ Pa, temperatur rata – rata 300,144 °C, dan *velocity* rata – rata sebesar 182 m/s. Geometri katalis II yaitu dengan tekanan rata – rata sebesar $2,13 \times 10^{14}$ Pa, temperatur rata – rata 300,264 °C, dan *velocity* rata – rata sebesar 183 m/s. Geometri katalis III yaitu dengan tekanan rata – rata sebesar $2,59 \times 10^{14}$ Pa, temperatur rata – rata

- 300,614 °C, dan *velocity* rata – rata sebesar 183 m/s. Setiap hasil pada simulsi geometri katalis berbeda yaitu dengan tekanan rata – rata terkecil terjadi pada geometri katalis I, temperatur terkecil terjadi pada geometri katalis I dan *velocity* terkecil terjadi pada geometri katalis I.
2. Pengujian emisi gas buang kendaraan yang keluar kelingkungan di dapatkan hasil, pada knalpot standar CO 2,2965%, HC 223 ppm, CO₂ 3,43. Geometri katalis I didapatkan hasil CO 2,1495%, HC 200,5 ppm CO₂ 3,195. Geometri katalis II didapatkan hasil CO 2,116%, HC 194,5 ppm, CO₂ 3,17. Geometri katalis III didapatkan hasil CO 2,045%, HC 183,5 ppm, CO₂ 3,135.
 3. Hasil perbandinga dari knalpot standar dengan knalpot yang telah telah ditambahkan katalis di dapatkan persentase penurunan emisi gas buang. hasil pada geometri katalis I CO 6,401%, HC 10,090%, dan CO₂ 7,391%. Geometri katalis II CO 7,86%, HC 12,78%, dan CO₂ 8,116%. Geometri katalis III CO 10,951%, HC 17,713%, dan CO₂ 9,13%. Dimana geometri katalis IV mendapat persentase penurunan yang lebih besar dibandingkan dengan geometri katalis yang lainnya. Dimana geometri katalis III mendapat persentase penurunan yang lebih besar dibandingkan dengan geometri katalis yang lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adolf, R., Sihombing, H., Tetap, D., Stt, Y., & Medan, I. (2020). *Pengaruh Jenis Aliran Silincer Muffler Knalpot Terhadap Kebisingan Pada Sepeda Motor 125 Cc*. 6(1).
- Amin, M., & Rubijanto, J. P. (2020). INVESTIGATION OF THERMAL SHOCK BEHAVIOR IN EXTRUDED CLAY/COPPER-ZINC COMPOSITE MEMBRANES. *Composites: Mechanics, Computations, Applications: An International Journal*, 11(1).
- Amin, M., & Pribadi, R. J. (2018). Effects of brass addition on the flexural strength and microstructure of porous clay/brass composites. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 204, p. 05010). EDP Sciences.
- Deky Sanjaya Putra. (2017). Komparasi Knalpot Standar Yamaha Vixion 2012 Dan Knalpot Racing Nob1 Terhadap Kemampuan Reduksi Emisi Kendaraan, Suara Dan Performa Pada Yamaha Vixion 2012. *Program Studi Teknik Otomotif D3 Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta 2017*, 1–84.
- Ferdnian, M. (2016). Analisis Uji Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Dan Dampaknya Terhadap Lingkungan Di Kota Balikpapan (Kal-Tim). *Transmisi*, Xii, 15–24.

- Gaikindo. (2021). *Hasil Sensus Bps: Jumlah Kendaraan Bermotor Di Indonesia Tembus 133 Juta Unit*. 9 Desember 2021. <https://www.gaikindo.or.id/data-bps-jumlah-kendaraan-bermotor-di-indonesia-tembus-133-juta-unit/#>
- Irawan, B. (2012). Rancangan Bangun Catalytic Converter Material Substrat Tembaga Berlapis Mangan Untuk Mereduksi Gas Karbon Monoksida Motor Bensin. *Seminar Hasil-Hasil Penelitian -Lppm Unismus*, 1–14.
- Lapisa, R., Sugiarto, T., & Halim, A. G. (2019). Efek Geometri Pada Katalis Dalam Penurunan Level Emisi Gas Buang Kendaraan. *Jurnal Pendidikan Teknologi Kejuruan*, 2(1), 1–8. <https://doi.org/10.24036/jptk.v2i1.4523>
- Mokhtar, A., Wibowo, T., & Malang, U. M. (2015). *Catalytic Converter Jenis Katalis Stainless Steel Berbentuk Sarang Laba-Laba Untuk Mengurangi Emisi Kendaraan Bermotor*. *Rengki 2009*, 978–979.
- Muarif, F. R. (2017). *Pengembangan Multimedia Interaktif Penggunaan Gas Analyzer Untuk Meningkatkan Hasil Belajar*. Universitas Negeri Semarang.
- Muhamamd, A. (2013). *Pemodelan Emisi Gas Buang Sepeda Motor*.
- Nasution, I. M. (2018). *Konversi Energi Analisis Catalytic Converter Dengan Bahan Tembaga Berbentuk Sarang Lebah Terhadap Emisi Gas Buang Pada Sepeda Motor 125cc*.
- Nugroho, F. D. (2020). *Analisis Distribusi Kecepatan, Tekanan Dan Temperatur Pada Perancangan Saluran Gas Buang Mobil Desa Dengan Menggunakan Software Solidworks*.
- Prasetyo, I., & Fahrurrozi, M. (2020). 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*, 1(2), 1–5. <https://doi.org/10.35970/accurate.v1i2.284>
- Purnomo, H. (2012). Analisa Pengaruh Knalpot Knalpot Catalytic Converter Dengan Katalis Tembaga (Cu) Berlapis Mangan (Mn) Terhadap Gas Buang Honda Supra X 100 Cc. *Jurnal Ilmiah Its*, 1, 1–9.
- Putra, M. (2012). *Efek Perubahan Aliran Gas Buang Dalam Untuk Diterapkan Pada Mesin Kapal Klotok 10 Hp*. Universitas Indonesia.
- Susilo, B. (2018). *Studi Eksperimental Pengaruh Perubahan Rasio Kompresi Terhadap Unjuk Kerja Dan Emisi Gas Buang Pada Sepeda Motor Honda Megapro 150cc Dengan*

Bahan Bakar E85-Gas Hho.

Suzuki. (2021). *Satria Fu 150*. 9 Desember 2021 <https://www.suzuki.co.id/motorcycle/all-new-satria-f150>

Tjerita, K. N. (2018). *METODA ELEMEN HINGGA TORSI PADA PENAMPANG BATANG NON-CIRCULAR*.