
Penambahan Katalik Konverter Plat Tembaga Berbentuk Spiral Terhadap Emisi Gas Buang Motor Bakar Menggunakan Gasboard 5020

M. Daryono*¹, Seno Darmanto²

^{1,2}D4 Rekayasa Perancangan Mekanik Departemen Teknologi Industri , Sekolah Vokasi , Universitas Diponegoro , Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

e-mail: *¹mohammad.daryono@gmail.com

Abstrak

Akibat tingginya penggunaan kendaraan bermotor, maka akan timbul polusi udara yang dapat mengganggu lingkungan serta kesehatan manusia. Hasil pembakaran bahan bakar kendaraan bermotor menghasilkan polutan berbahaya bagi kesehatan manusia jika terus terhirup manusia dapat menyebabkan iritasi saluran pernafasan, iritasi mata dan alergi kulit sampai menyebabkan kanker paru-paru. Tujuan penelitian ini untuk meneliti apakah plat tembaga dapat digunakan sebagai material pengganti Katalis konverter untuk menurunkan kadar emisi gas buang (gas CO dan HC). Hasil pengujian menunjukkan plat tembaga dapat digunakan sebagai material pengganti Katalis konverter dengan penurunan emisi gas buang yang cukup signifikan, dengan penurunan persentase CO sebesar 29,9 % pada putaran 5000 rpm menggunakan katallis 10 lilitan, dan penurunan persentase HC sebesar 33,9 % pada putaran 5000 rpm menggunakan katallis 10 lilitan. Saran dari penelitian ini adalah jika digunakan untuk keperluan harian sebaiknya menggunakan katalis yang 10 lilitan.

Kata kunci — CO, emisi gas, katalitik konverter, katalis, HC.

Abstract

Due to the high use of motorized vehicles, air pollution will arise which can interfere with the environment and human health. The results of the combustion of motor vehicle fuels produce pollutants that are harmful to human health, if inhaled by humans, they can cause respiratory tract irritation, eye irritation and skin allergies, which can lead to lung cancer. The purpose of this study was to examine whether copper plates can be used as a substitute for catalytic converters to reduce exhaust gas emissions (CO and HC gases). The test results show that copper plate can be used as a catalytic converter replacement material with a significant reduction in exhaust emissions, with a decrease in the percentage of CO by 29.9% at 5000 rpm using a 10 winding catalyst, and a decrease in the percentage of HC by 33.9% at rotation. 5000 rpm using a 10 winding catalyst. Suggestions from this study are if you use it for daily purposes, you should use a catalyst that has 10 winding.

Keywords — CO, Gas emission, catalytic converter, catalyst, HC

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Akibat tingginya penggunaan kendaraan bermotor, maka akan timbul polusi udara yang dapat mengganggu lingkungan serta kesehatan manusia. Pada konsentrasi tertentu, jika gas tersebut sering terhirup oleh manusia secara terus menerus juga sangat membahayakan kesehatan dan dapat menyebabkan kematian. Gas yang terus terkena tubuh dan terhirup manusia dapat menyebabkan iritasi saluran pernafasan, iritasi mata dan alergi kulit sampai menyebabkan kanker paru-paru. Berdasarkan uraian masalah di atas, maka akan dipelajari pengaruh penggunaan plat tembaga dalam Katalis konverter terhadap kadar emisi gas buang pada motor bakar [1]. Batasan masalah dalam penelitian ini antara lain, pengujian menggunakan kendaraan motor Supra X 125, yang telah diproduksi lebih dari 5 tahun, pengujian dilakukan pada putaran idle 3000 rpm, 4000 rpm, dan 5000 rpm, bahan bakar yang digunakan yaitu pertalite, serta knalpot yang digunakan telah dimodifikasi untuk meletakkan plat tembaga.

Tujuan dari penelitian ini antara lain, menganalisa apakah plat tembaga sebagai material pengganti Katalis konverter dapat menurunkan kadar emisi gas buang pada kendaraan. Serta menganalisa jumlah variasi lilitan spiral yang paling optimal untuk menurunkan emisi gas buang, serta mengetahui perbedaan emisi gas buang antara motor dengan Katalis konverter dan motor tanpa Katalis konverter.

Manfaat dari penelitian ini ada dua yaitu manfaat teoritis yaitu, menambah ilmu pengetahuan tentang pengendalian emisi gas buang untuk hidup sehat, memberi informasi tentang bahan yang dapat digunakan untuk mengurangi emisi gas buang kendaraan sepeda motor yang ditambahi Katalis konverter. Dan manfaat praktisnya yang didapat pada penelitian ini adalah menghasilkan produk atau alat yang dapat menurunkan emisi gas buang dengan menambahkan Katalis konverter berbahan plat tembaga.

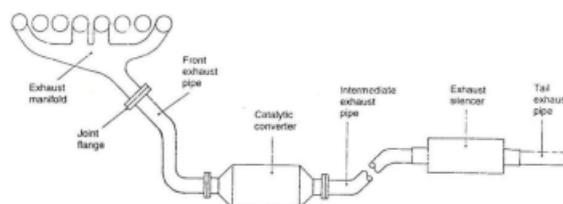
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Emisi Gas Buang

Emisi gas buang merupakan zat pencemar yang dihasilkan dari hasil proses pembakaran di dalam silinder. Zat pencemar dari hasil pembakaran bahan bakar ini dapat dibagi menjadi lima macam yaitu CO (Carbon Monoksida), HC (Hidro Carbon), CO₂ (Karbon Dioksida), O₂ (Oksigen), dan NO_x (Nitrogen Oxide). Tetapi ada pula pencemar yang berupa timah hitam (Pb), hal ini disebabkan karena bahan bakar cair mengandung timbal. Emisi gas buang atau polutan yang paling sering diperhatikan adalah CO, HC, CO₂, dan O₂. Dua gas yang disebutkan terakhir bukan merupakan polutan tetapi terus diperhatikan karena menjadi indikator efisiensi pembakaran [2].

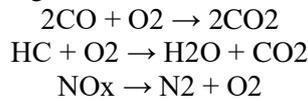
2.2 Pengertian Katalis Konverter

Katalis konverter merupakan alat yang dipasang pada kendaraan bermotor atau mobil. Katalis konverter dipasang dibagian pipa ekor atau setelah saluran buang pada engine atau mesin dan sebelum silinder atau muffler [3]. Katalis konverter ini berfungsi untuk mengurangi emisi gas buang atau mempercepat laju reaksi sehingga menyempurnakan hasil pembakaran ketika pembakaran kurang sempurna agar tidak menambah kadar polusi yang terjadi sekarang.



Gambar 1 Saluran Buang Kendaraan Bermotor

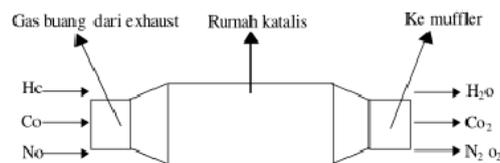
Katalis konverter dapat mengoksidasi dan mereduksi gas berbahaya yang dikeluarkan oleh hasil pembakaran kendaraan bermotor yang tidak sempurna, adapun reaksi dari pengkonversian polutan-polutan sebagai berikut:



Reaksi yang terjadi pada CO dan HC adalah oksidasi atau penambahan unsur oksigen, sedangkan pada nitrogen oksida terjadi pengurangan unsur oksigen atau bisa disebut reduksi.

2.3 Pengertian Katalis

Katalis merupakan zat yang dapat mempercepat laju reaksi gas buang pada suhu tertentu tanpa mengalami perubahannya reaksi itu sendiri. [4], [5]. Proses pembakaran yang tidak sempurna menimbulkan emisi gas polutan seperti HC, CO, NO_x yang dikeluarkan melalui saluran buang kendaraan bermotor, pada kenyataannya tidak mungkin pembakaran bisa sempurna 100%, maka perlu dipasang katalitik konverter pada semua kendaraan bermotor. Pada saat gas buang melewati Katalis konverter emisi gas buang yang tidak sempurna mengalami proses oksidasi dan reduksi atau penambahan dan pengurangan senyawa oksigen pada temperatur yang tinggi. Gas HC, CO dan NO_x ketika melewati katalis akan berubah menjadi CO₂, senyawa air H₂O, senyawa N₂ dan gas O₂ [6], [7].



Gambar 2 Katalis Konverter

2.4 Tembaga

Tembaga memiliki lambang Cu pada tabel periodik. Tembaga adalah logam yang dapat dibentuk karena logam memiliki sifat yang lunak dapat ditempa dan liat. Titik lebur pada tembaga pada suhu 1038°C. Tembaga merupakan salah satu bahan yang dapat dijadikan sebagai katalis, karena tembaga dapat mengoksidasi udara sebab penyerapan terhadap panas sangat baik. Semakin cepat penyerapan panas pada bahan maka semakin baik katalis bekerja.

2.5 Alat Uji Emisi Gas Board 5020

Automotive Emission Gas Analyzer GASBOARD-5020 merupakan instrumen portabel yang dirancang berdasarkan teknologi canggih internasional, yang mengadopsi prinsip non-Dispersive infrared (NDIR) untuk mengukur konsentrasi HC, CO dan CO₂, sedangkan O₂ dan NO didasarkan pada ECD. Alat analisa ini dalam ukuran kecil, mudah dioperasikan, akurat dan fungsinya dapat diandalkan. Ini diterapkan pada stasiun pengujian kendaraan bermotor, pabrik mobil, pabrik perbaikan mobil dan sebagainya.



Gambar 3 Gassboard 5020

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pengumpulan Data

Untuk mendapatkan data – data yang diperlukan dilakukan beberapa tahapan diantaranya yaitu :

- Observasi Lapangan Melakukan pengamatan emisi gas buang yang dihasilkan oleh motor Supra X 125.
- Kajian literatur Melakukan pengkajian terhadap emisi gas buang, mencari pengaruh logam tembaga dalam Katalis konverter terhadap emisi gas buang, serta mengkaji jenis dan tipe alat yang sesuai untuk pengambilan data emisi gas buang.
- Wawancara (Interview) Bertujuan untuk memperoleh data-data lapangan yang lebih lengkap mengenai obyek tugas akhir dan cara pengujian emisi gas buang.

3.2 Persiapan Alat dan Bahan Uji

- Alat Uji
 - Alat Uji Emisi Gas Buang
Yaitu alat yang digunakan untuk mengukur emisi gas buang yang dihasilkan oleh pembakaran motor bakar.
 - Tachometer
Yaitu alat yang digunakan untuk mengukur jumlah rotasi dari motor bakar, alat tersebut nantinya akan dihubungkan dengan coil pengapian, sehingga putaran motor bakar akan terbaca secara teliti.
- Bahan Uji
 - Motor Honda Supra X 125
Sepeda motor yang digunakan yaitu motor Honda Supra X 125 tahun produksi 2008.



Gambar 4 Motor Honda Supra X 125

- Tembaga
Plat Tembaga yang digunakan memiliki tebal 0,3 mm



Gambar 5 Plat Tembaga

3.2 Pengujian Katalis Konverter

- Diagram Alir Pengujian

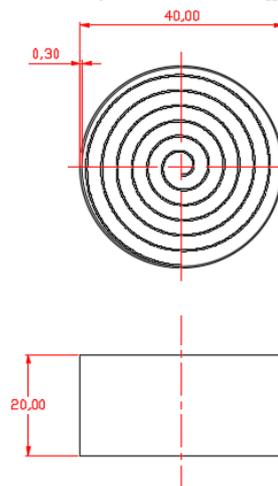


Gambar 6 Diagram Alir Pengujian

- Prosedur Pengujian

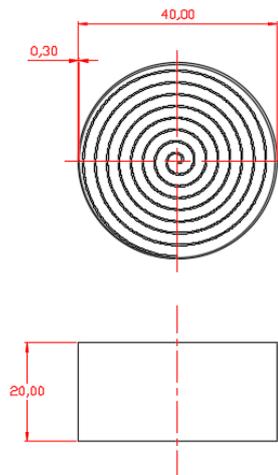
Tahapan dari proyek akhir ini adalah yang pertama mempersiapkan alat dan bahan untuk pengujian. Terdapat empat macam pengujian yang akan dilakukan, dengan syarat motor Supra X 125 sudah diisi dengan bahan bakar Bertalite yaitu :

- Pengujian emisi gas buang motor Supra X 125 tanpa Katalis converter
- Pengujian emisi gas buang motor Supra X 125 dengan katalis 6 lilitan



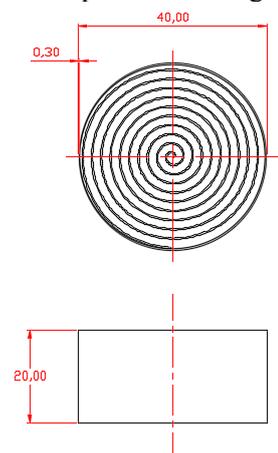
Gambar 7 Katalis 6 lilitan

- Pengujian emisi gas buang motor Supra X 125 dengan katalis 8 lilitan



Gambar 8 Katalis 8 lilitan

- Pengujian emisi gas buang motor Supra X 125 dengan katalis 10 lilitan



Gambar 9 Katalis 10 lilitan

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Data

Pada pengujian yang telah dilakukan didapatkan hasil data pengujian jumlah kadar konsentrasi karbon monoksida (CO) dan hidro karbon (HC). Pengambilan data pada pengujian knalpot standar atau knalpot yang tidak menggunakan katalis dengan knalpot yang telah ditambahkan katalis pada putaran mesin 3000, 4000, dan 5000 rpm. Penambahan katalis pada knalpot dengan 6 lilitan, 8 lilitan, dan 10 lilitan pada setiap putaran mesin. Hasil pengujian yang telah diperoleh dapat dilihat pada tabel dibawah :

Tabel 1 Persentase CO dalam gas buang

Percobaan (RPM)	Persentase CO (%) dalam gas buang				AFR
	Standar	Katalis 6 lilitan	Katalis 8 lilitan	Katalis 10 lilitan	
3000	9.74	8.98	8.53	7.63	22,5
4000	9.49	8.52	8.03	7.16	22,9

5000	9.44	8.12	7.80	6.61	23,8
------	------	------	------	------	------

Tabel 2 Kadar HC

Percobaan (RPM)	Kadar HC (ppm)				AFR
	Standar	Katalis 6 lilitan	Katalis 8 lilitan	Katalis 10 lilitan	
3000	624	532	514	489	22,5
4000	591	508	470	433	22,9
5000	590	471	428	390	23,8

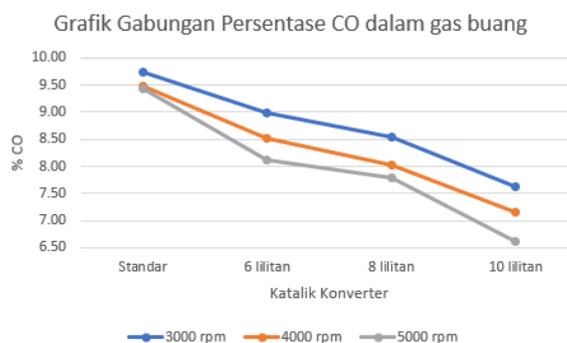
Tabel 3 Konversi lilitan ke luas penampang

Katalik Konverter	
Jumlah lilitan	Luas Penampang
6 lilitan	206 cm ²
8 lilitan	246 cm ²
10 lilitan	289 cm ²

4.2 Analisis Data

- Karbon Monoksida (CO)

Pada pengujian yang telah dilakukan telah didapatkan hasil dari pengujian dengan perbedaan putaran mesin 3000, 4000, dan 5000 Rpm, serta perbedaan pada knalpot dengan tanpa katalis dan dengan katalis, katalis yang digunakan yaitu katalis 6 lilitan, 8 lilitan, dan 10 lilitan. Pengujian dilakukan dengan 3 kali percobaan kemudian hasil tersebut dirata rata. Adapun data penelitian yang telah diambil dapat dilihat pada grafik dibawah

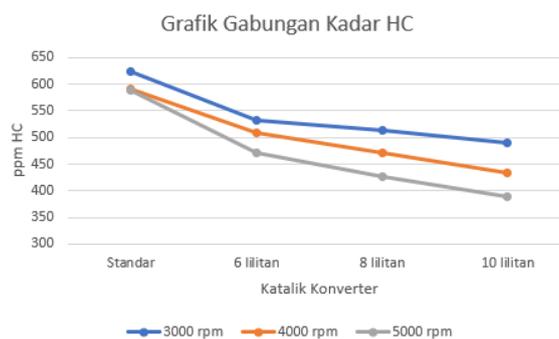


Gambar 10 Grafik Gabungan Persentase CO dalam gas buang

Pada tabel 1 dan gambar 10 menunjukkan adanya penurunan kadar CO pada motor Supra X 125. Penurunan tersebut dikarenakan penambahan Katalis konverter pada knalpot yang sebelumnya tidak ditambahi katalis.

- Hidro Karbon (HC)

Pada pengujian yang telah dilakukan telah didapatkan hasil dari pengujian dengan perbedaan putaran mesin 3000, 4000, dan 5000, serta perbedaan pada knalpot dengan tanpa katalis dan dengan katalis, katalis yang digunakan yaitu katalis 6 lilitan, 8 lilitan, dan 10 lilitan. Pengujian dilakukan dengan 3 kali percobaan kemudian hasil tersebut dirata rata. Adapun data penelitian yang telah diambil dapat dilihat pada grafik dibawah.



Gambar 11. Grafik Gabungan Kadar HC

Pada tabel 2 dan gambar 11 menunjukkan adanya penurunan kadar HC pada pengujian menggunakan motor Supra X 125. Penurunan tersebut diakibatkan adanya penambahan variasi jumlah katalis dan penurunannya juga berbeda-beda.

4.3 Pembahasan

- Emisi Gas Buang

Terbentuknya gas karbon monoksida (CO) ini dikarenakan pembakaran yang tidak sempurna, dikarenakan unsur-unsur udara atau oksigen tidak cukup untuk membakar bahan bakar. Karbon monoksida adalah hasil pembakaran yang tidak sempurna karena pada pencampuran bahan bakar dan udara jumlah udaranya kurang.

Terbentuknya hidro karbon (HC) dikarenakan bahan bakar yang terbakar tidak sempurna atau saat pembakaran bahan bakar tidak bereaksi sepenuhnya dengan oksigen. Menurut (Febriansyah, 2014: 3) Hidrokarbon merupakan hasil pembakaran yang tidak sempurna yang dikarenakan campuran bahan bakar dan udara tidak tercampur dengan rata saat pembakaran, oleh karena itu oksigen tidak dapat bereaksi dan terbentuklah hidrokarbon. Menurut Arifin dan Sukoco, (2009: 43) Terbentuknya HC disebabkan oleh dindingdinding pada ruang bakar memiliki temperatur yang rendah dan tidak mampu membakar, missfire, dan adanya over lap atau kedua katup terbuka bersamasama jadi merupakan gas pembilas.

Pada putaran mesin 3000 rpm dapat dilihat pada tabel 4.1 dan tabel 4.2 kondisi knalpot yang tidak diberi katalis memiliki kadar karbon monoksida (CO) dan hidro karbon (HC) yang tinggi dibandingkan knalpot yang telah diberi katalis. Pada putaran mesin ini udara throttle belum terbuka penuh sehingga oksigen yang masuk ke ruang bakar lebih sedikit dibandingkan ketika rpm mesinnya dinaikan sehingga pembentukan menjadi CO menjadi lebih tinggi. Suhu yang terjadi pada putaran ini juga masih kecil dibandingkan putaran mesinnya dinaikan sehingga terbentuknya HC yang lebih tinggi dibandingkan ketika putaran mesinnya dinaikan.

Pada putaran mesin 3000 rpm ini mengalami penurunan kadar emisi yang lebih tinggi ketika knalpot diberi katalis dengan 10 lilitan dibandingkan jika knalpot diberi katalis 8 lilitan dan 6 lilitan. Penurunan pada CO sebanyak 21,7 % dan HC sebanyak 21,6 %. Semakin banyak jumlah katalisnya semakin baik penurunan CO dan HC, karena banyak gas yang mengenai permukaan katalisnya. Pengoksidasi gas CO, HC banyak yang bereaksi dengan O₂. Sehingga gas yang melewati katalis dari yang berbahaya akan menjadi gas CO₂, dan H₂O yang keluar dari knalpot yang tidak berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan.

Ketika baut penyatel diputar dan menekan throttel sehingga throttel terbuka terjadi kenaikan putaran mesin. Naiknya putaran mesin sehingga menurunkan kadar CO dan kadar HC karena udara yang masuk kedalam ruang bakar menjadi lebih banyak ketika throttle mulai terbuka dan proses pembakaran pada ruang bakar suhu di dalamnya menjadi meningkat. Suhu yang meningkat tersebut membuat campuran bahan bakar dan udara lebih sempurna.

Pada pengujian yang telah dilakukan pada putaran mesin 4000 rpm dan 5000 rpm mengalami penurunan kadar CO dan HC dibandingkan dengan putaran mesin 3000 rpm. Walaupun tidak diberi katalis pada putaran mesin 4000 rpm dan 5000 rpm akan mengalami

penurunan pada CO dan HC karena udara yang masuk pada ruang bakar menjadi lebih banyak dan kenaikan suhu pada ruang bakar yang menjadikan kadar emisi menjadi turun.

Pada putaran mesin 4000 rpm dan 5000 rpm mengalami penurunan kadar CO dan HC ketika pada tiap putaran mesin tersebut diuji dengan pemberian katalis 10 lilitan. Penurunan akan lebih sedikit ketika pada katalis diganti jumlah lilitan dibawahnya (katalis 6 lilitan dan 8 lilitan). Pada putaran mesin 4000 rpm penurunan kadar CO sebesar 24,6% dan HC sebesar 26,7 %. Pada putaran mesin 5000 rpm penurunan kadar CO sebesar 29,9 % dan HC sebesar 33,9 %

- Penurunan Emisi Gas Buang

Pada pengujian kadar karbon monoksida (CO) dan hidro karbon (HC) mengalami penurunan pada putaran mesin 3000 rpm, 4000 rpm dan 5000 rpm, mengalami penurunan juga ketika pada pengujian di setiap putaran mesin dilakukan knalpot ditambahi katalis 6 lilitan, 8 lilitan, dan 10 lilitan. Pada pengujian penurunan paling tinggi disetiap rpm ketika knalpot ditambahi katalis 10 lilitan yang dapat dilihat di tabel 1 dan tabel 2.

Penurunan emisi gas buang dikarenakan gas tersebut melewati Katalis konverter. Katalis konverter berfungsi untuk mempercepat oksidasi emisi hidrokarbon (HC) dan karbon monoksida (CO), serta mereduksi nitrogen oksida (NO_x).

Katalis yang terbuat dari bahan kawat tembaga dan kawat nikel dapat digunakan untuk dijadikan katalis. Menurut Mokhtar dan Trenyu, (2015: 3) Salah satu bahan logam yang efektif untuk dijadikan katalis sebagai oxydation catalyst yaitu tembaga dan nikel.

Untuk mengubah gas buang yang keluar dari mesin yang tidak sempurna katalis membutuhkan panas yang dihasilkan dari mesin dalam mengubah emisi tersebut. plat tembaga merupakan salah satu jenis logam yang mudah atau cepat dalam penyerapan panasnya, Semakin panas plat tembaga maka dalam pengoksidasian emisi gas buang yang tidak sempurna akan semakin cepat.

Ketika katalis sudah mulai panas katalis akan mulai bekerja. Semakin panas maka penurunan kadar CO dan HC akan semakin baik. Ketika katalis sudah mulai panas katalis akan bekerja. Gas buang atau hasil pembakaran yang dikeluarkan melalui saluran buang molekul CO akan menempel pada katalis, pada molekul dari O₂ juga menempel pada katalis. Karena panas yang ditimbulkan oleh katalis molekul dari O₂ terpecah menjadi dua. Molekul O₂ tersebut kemudian bergerak dan bereaksi dengan molekul CO, sehingga molekul tersebut berubah menjadi CO₂ atau karbon dioksida. Molekul CO₂ memiliki ikatan yang lemah terhadap katalis sehingga molekul tersebut terlepas dari katalis dan terbuang ke udara luar. Peristiwa tersebut juga terjadi ada molekul HC.

Jumlah banyaknya katalis juga mempengaruhi penurunan kadar CO dan HC, karena gas buang yang terkena katalis semakin banyak, jumlah katalis yang semakin sedikit penurunan kadar CO dan HC akan semakin sedikit jika dibandingkan dengan jumlah katalis yang lebih banyak. Penurunan tersebut dapat dilihat pada tabel 1 dan 2

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian dan telah mendapatkan hasil maka dapat disimpulkan bahwa :

- Plat tembaga dapat digunakan sebagai material pengganti Katalis konverter dengan penurunan emisi gas buang yang cukup signifikan, dengan penurunan persentase CO sebesar 29,9 % pada putaran 5000 rpm menggunakan katalis 10 lilitan, dan penurunan persentase HC sebesar 33,9 % pada putaran 5000 rpm menggunakan katalis 10 lilitan.
- Jumlah variasi lilitan spiral yang paling optimal untuk menurunkan emisi gas buang yaitu katalis dengan 10 lilitan, dibandingkan katalis 6 lilitan dan 8 lilitan.

-
- Perbedaan emisi gas buang antara motor dengan Katalis konverter dan motor tanpa Katalis converter, yaitu pada kadar persentase CO dan kadar HC, jika tanpa Katalis konverter maka emisi gas tersebut akan tinggi dibandingkan dengan Katalis converter.

5. SARAN

Pada penelitian ini saran yang diberikan oleh penulis berdasarkan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Pada penggunaan Katalis konverter berbahan plat tembaga untuk kendaraan sepeda motor sebaiknya menggunakan katalis 10 lilitan, karena katalis tersebut efektif dalam mengurangi emisi gas buang CO dan HC.
- Perlu dilakukan perancangan ulang pada penambahan Katalis konverter sehingga lebih mudah jika diterapkan dalam penggunaan sehari-hari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Erjavec, Jack. 2000. *Automotive Tecnology: A system Approach*. Cengage Learning
 - [2] Katara, P. 2016. Review Paper on Catalytic Converter for Automobile Exhaust Emission. *Internasional Journal of Science and Reasearch (IJSR)*. Vol. 5. No. 9: 30-33
 - [3] Irawan, R. M. B. 2012. Rancang Bangun Cataytic Converter Material Substrat Tembaga Berlapis Mangan untuk Mereduksi Emisi Gas Karbon Monoksida Motor Bensin. LPPM. 409-422. ISBN: 978-602-18809-0-6.
 - [4] Mokhtar, A., dan T. Wibowo, 2015. Catalytic Converter Jenis Katalis stainless Steel Berbentuk Srang Laba-Laba untuk Mengurangi Emisi Kendaran Bermotor. Seminar Teknologi dan Rekayasa (SENTRA). Vol. 2. 1-6. ISBN: 987-979-796-238-6.
 - [5] Febriansyah. 2014. Pengaruh Penggantian Main Jet pada Karburator terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Emisi Gas Buang Pada Sepeda Motor Yamaha Jupiter Z. *Jurnal Teknik Otomotif Universitas Negeri Padang*. Vol. 1. No. 2: 1-8.
 - [6] Arifin, Z. dan Sukoco. 2009. *Pengendalian Polusi Kendaraan*. Bandung: Alfabeta.
 - [7] R. Al-Waked dan M. Behnia, "Enhancing performance of wet cooling towers," *Energy Convers. Manag.*, vol. 48, no. 10, hal. 2638–2648, 2007, doi: 10.1016/j.enconman.2007.04.018.
 - [8] A. Hamid, L. Karim, M. Jamroni, I. Qiram, dan G. Rubiono, "Pengaruh Bentuk Dan Konfigurasi Alur Sekat Terhadap Unjuk Kerja Menara Pendingin (Cooling Tower)" vol. 10, no. November, hal. 1–5, 2017.
-