

## PENGGUNAAN *TURBOCYCLONE* PADA KENDARAAN BERMOTOR TERHADAP EMISI GAS BUANG CO DAN HC

M. Ihwanudin  
Agus Sholah  
Anny Martiningsih

**Abstrak:** Tujuan Penelitian ini untuk mengetahui adanya pengaruh kadar emisi gas buang karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) antara mesin yang tidak menggunakan *turbocyclone* dengan mesin yang menggunakan *turbocyclone*. Rancangan penelitian yang digunakan adalah Penelitian Eksperimental model (*pretest post test control design*) dan dilakukan di Laboratorium Otomotif VEDC Malang. Data dianalisis menggunakan Uji-T. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *turbocyclone* mampu menurunkan kadar emisi gas buang (CO dan HC).

**Kata-kata Kunci:** *turbocyclone*, emisi gas buang

**Abstract:** *The Effect of the Use of Turbocyclone on Motor Vehicle on the Exhaust Gas Emissions of CO and HC. This research aims to determine the different level of exhaust gas emissions of CO and HC that had been produced by turbocyclone and non-turbocyclone motor vehicle. the burning gas vehicles increased air polluted especially in city area. The research used experimental research design (pretest and post test control design). Research was conducted in the automotive laboratory of VEDC Malang. Data was analyzed using T-test. The results of research showed that the use of turbocyclone is enable to decrease the exhaust gas emissions level (CO and HC).*

**Keywords:** *turbocyclone, exhaust gas emission*

Gas buang merupakan zat beracun sisa pembakaran yang dikeluarkan dari ruang bakar menuju lingkungan. Penghasil gas buang tersebut salah satunya berasal dari kendaraan bermotor. Kandungan zat beracun yang terdapat pada gas buang kendaraan bermotor antara lain terdiri atas: karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), nitrogen oksida ( $NO_x$ ), karbon dioksida ( $CO_2$ ), dan masih banyak yang lainnya. Gas CO merupakan salah satu zat beracun yang paling berbahaya, karena memiliki pengaruh negatif

yang fatal pada kesehatan jika terhirup dalam jangka waktu tertentu serta kadar yang cukup besar. Secara fisik gas CO tidak berwarna dan tidak berbau namun jika terhirup oleh makhluk hidup termasuk manusia akan menyebabkan kekurangan oksigen akut bahkan jika dalam jangka waktu yang lama dapat menyebabkan kematian.

Peningkatan jumlah kendaraan bermotor yang cukup tinggi berasal dari daerah perkotaan. Hal ini disebabkan karena daerah perkotaan memiliki produktivitas

---

M. Ihwanudin adalah Guru SMK Nasional Malang. Alamat: Jl. Langsep 43 Malang 65116. Email: [m.ihwanudin@gmail.com](mailto:m.ihwanudin@gmail.com). Agus Sholah dan Anny Martiningsih adalah Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang. Alamat Kampus: Jl. Semarang No. 5 Malang 65145.

kerja yang tinggi pada berbagai bidang kehidupan. Produktivitas tersebut memiliki kaitan yang erat dengan sarana transportasi, sedangkan salah satu alat transportasi yang sangat banyak digunakan adalah sepeda motor. Berangkat dari permasalahan pencemaran udara tersebut dibutuhkan teknologi alternatif yang dapat diterapkan pada sebuah kendaraan yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pembakaran serta menurunkan kadar emisi dari gas buang. Disamping itu langkah alternatif tersebut diharapkan tetap menjamin performa dan daya dari sebuah kendaraan tetap terjaga secara optimal.

tang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru (Menteri Negara Lingkungan Hidup, 2009) dan Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca. Artinya pemerintah pada dasarnya berupaya secara yuridis telah mengatur dan mengeluarkan rambu-rambu tingkat emisi gas buang kendaraan dan polusi udara di Indonesia (Pemerintah Republik Indonesia, 2011). Rincian indeks kategori udara tercemar dapat dilihat pada Tabel 2.

Salah satu upaya alternatif yang dapat dilakukan untuk mengurangi kadar

**Tabel 1. Jumlah Kendaraan Bermotor Tahun 2010-2014**

No. Jenis Kendaraan	Tahun					Pertumbuhan Rerata (%)
	2010	2011	2012	2013	2014	
1. Mobil	8.891.041	9.548.866	10.166.817	11.111.467	12.260.247	8,89
2. Bus	2.250.109	2.254.406	2.460.240	2.356.510	2.327.438	2,20
3. Truk	4.687.789	4.958.738	5.062.424	5.415.021	5.765.639	5,03
4. Sepeda Motor	61.078.188	68.839.341	74.613.566	83.390.073	92.529.925	12,15
Jumlah	76.907.127	85.601.351	92.303.227	102.273.071	112.883.249	13,54

(Sumber : Departemen Direktorat Jenderal Perhubungan Darat dalam Angka 2014)

Pada sisi lain jumlah produksi kendaraan sepeda motor terus meningkat dari tahun ke tahun, hal tersebut dapat ditunjukkan dari data jumlah kendaraan bermotor yang dihimpun oleh Dinas Perhubungan Darat dalam angka pada tahun 2012 seperti pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan jumlah pertumbuhan kendaraan bermotor mulai tahun 2010 hingga 2014, terdapat pertumbuhan jumlah kendaraan sepeda motor 92.529.592 unit kendaraan. Tiap tahun tercatat rerata kenaikan jumlah kendaraan sepeda motor sebesar 12,15% (Departemen Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, 2014).

Upaya pemerintah dalam mengurangi emisi gas buang kendaraan tertuang pada Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 4 Tahun 2009 ten-

emisi gas buang kendaraan dengan cara mengoptimalkan proses masukan udara pada sebuah mesin kendaraan bermotor adalah dengan mengubah aliran udara masuk yang awalnya berupa aliran fluida laminar menjadi aliran fluida turbulen, pada akhirnya dapat mengoptimalkan

**Tabel 2. Udara Bersih dan Udara Tercemar Menurut WHO**

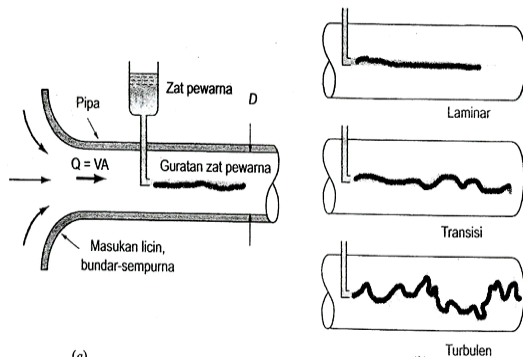
No. Parameter	Udara Bersih	Udara Tercemar
1. Bahan Partikel	0,01 - 0,02 mg/m <sup>3</sup>	0,07 - 0,7 mg/m <sup>3</sup>
2. SO <sub>2</sub>	0,003 - 0,02 ppm	0,02 - 2 ppm
3. CO	< 1 ppm	5 -200 ppm
4. NO <sub>2</sub>	0,003 - 0,02 ppm	0,02 - 0,1 ppm

Sumber : Mukono, 1997

pencampuran udara dengan bahan bakar (Nicolas, 2011: 17-19).

*Turbocyclone* merupakan perangkat tambahan yang digunakan pada mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) yang berfungsi untuk mengubah aliran udara yang akan masuk ke dalam ruang bakar. *Turbocyclone* ini mirip dengan kipas yang memiliki sudu-sudu statis atau tidak berputar (*fixed vane*). Prinsipnya sebuah aliran fluida yang mengalir dalam sebuah pipa seperti *intake manifold* dapat berupa model aliran yang laminar maupun turbulen (Munson, 2005: 5).

Perubahan jenis aliran udara dari aliran model *laminar* (dapat dilihat pada Gambar 1) menjadi aliran *turbulen* mampu memperbaiki efisiensi pencampuran udara dengan bahan bakar (*fuel-air mixing process*), serta sekaligus meningkatkan intensitas pembakaran dan menstabilkan proses pembakaran dengan memanfaatkan zona atau daerah yang masih dipengaruhi gerakan turbulensi fluida udara (Tony, 2006: 30).



**Gambar 1. Bentuk Aliran Laminar, Transisi, dan Turbulen**

(Sumber: Munson, 2005: 6)

Perangkat *turbocyclone* ini mampu mempercepat aliran dan meningkatkan pasokan udara yang masuk ke dalam ruang silinder artinya penambahan *turbocyclone* pada saluran udara dapat mengubah karakteristik aliran udara, dalam hal ini yaitu terjadinya *pressure drop* dan naiknya intensitas turbulensi aliran udara

yang masuk menuju ruang bakar (Tony, 2006: 36).

Dalam penelitian sebelumnya pada penggunaan alat *turbocyclone* sebagai penambah tenaga dan penurunan emisi gas buang kendaraan pada kendaraan konvensional dengan bersistem karburasi menunjukkan hasil positif mampu menurunkan kadar emisi gas buang kendaraan (Surya, dkk., 2013: 24-28).

Seiring berkembangnya teknologi yang diterapkan pada sistem kendaraan bermotor, saat ini penggunaan karburator mulai digantikan dengan sistem injeksi. Secara prinsip kerja, pencampuran udara dan bahan bakar pada sistem injeksi dilakukan oleh sebuah komponen yang disebut *injector*. Sehingga penelitian ini menggunakan kendaraan yang bersistem *fuel injection* dengan tujuan mengetahui sejauh mana alat *turbocyclone* tersebut dapat menurunkan kadar emisi gas buang khususnya gas CO dan HC pada kendaraan yang menggunakan sistem injeksi (*fuel injection*).

## METODE

Penelitian dilakukan di Laboratorium Departemen Otomotif Pusat Pengembangan Pendidikan Vokasional VEDC Malang. Penelitian dilakukan dengan pendekatan eksperimental. Model penelitian yang dilakukan menggunakan model *pre test post test control design*, selanjutnya observasi dan pengambilan data dilakukan sebanyak dua kali yaitu sebelum dan sesudah eksperimen dengan model *pre test* dan *post test* guna mengetahui ada atau tidaknya pengaruh yang ditimbulkan (Darmadi, 2011: 183).

Berdasarkan kajian teoritis hukum aliran fluida gas, aliran fluida di dalam sebuah pipa dapat dikategorikan menjadi 2 macam yaitu berupa aliran laminar atau aliran turbulen yang didasarkan pada nilai tertentu disebut bilangan *Reynolds* (Munson, 2005: 5).

Besarnya *pressure drop* dan intensitas turbulensi sangat dipengaruhi oleh bentuk sudu. Dalam hal ini semakin besar sudut kemiringan sudu akan semakin besar pula *pressure drop* dan intensitas turbulensinya. Bentuk sudu tidak berlubang juga memiliki *pressure drop* dan intensitas turbulensi yang lebih besar dibanding model dengan *turbocyclone* sudu berlubang (Tony, 2006: 36).

Bedasarkan dari teori aliran fluida gas dalam pipa tersebut maka diputuskan tempat pemasangan alat *turbocyclone* berada pada sisi dalam ujung saluran *intake manifold* dengan kemiringan sudu  $60^{\circ}$  memperhitungkan perubahan aliran *fluida laminar transisi dan turbulen* saat pencampuran udara dan bahan bakar. Selanjutnya bentuk *turbocyclone* seperti tertera pada Gambar 2. Selanjutnya uji prasyarat data yang digunakan yaitu uji normalitas dan uji homogenitas, untuk memaknai ada atau tidaknya pengaruh digunakan uji beda (*Uji-T*) dengan bantuan program analisis SPSS 20 for windows (Siregar, 2014: 233).



**Gambar 2.** Alat *Turbocyclone*

Sumber : Dokumentasi Peneliti

Langkah penelitian eksperimen ini memiliki ciri pengukuran dengan menggunakan *pre test* dan *post test* design dengan memperhatikan berbagai variabel kontrol yang dimungkinkan mempengaruhi hasil akurasi atau kevalidan penelitian. spesifikasi standar komponen motor honda supra X 125 helm in PGM FI dan

spesifikasi gas analyzer: merek *techno-test*, model 488 *plus*, jenis *multigas tester* dengan inframerah, negara Italia, pembuat tahun produksi 2013.

## HASIL

Hasil penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut. Rerata kadar emisi gas buang senyawa HC antara mesin standar dengan mesin menggunakan *turbocyclone* dalam satuan *part per milion* (ppm) pada tiga tingkatan putaran mesin *revolution per minutes* (rpm) mulai dari putaran stasioner 1.500 rpm, putaran menengah 3.000 rpm dan putaran tinggi 5.000 rpm.

Pada mesin yang tidak menggunakan alat *turbocyclone* menunjukkan kadar HC sebesar 23,75 ppm pada putaran mesin 1.500 rpm, pada putaran mesin 3.000 rpm sebesar 142,875 ppm dan pada putaran mesin 5.000 rpm sebesar 84 ppm. Sedangkan mesin yang menggunakan *turbocyclone* menunjukkan hasil rerata kadar emisi gas buang HC sebesar 147 ppm pada putaran mesin 1.500 rpm, 127,625 ppm pada putaran mesin 3.000 rpm serta 63,875 ppm pada putaran mesin 5.000 rpm.

Hasil rerata kadar emisi gas buang senyawa CO ditunjukkan dalam satuan % volume CO pada tiga tingkatan putaran mesin *revolution per minutes* (rpm) mulai dari putaran stasioner 1500 rpm, putaran menengah 3.000 rpm, dan putaran tinggi 5.000 rpm. Mesin yang tidak menggunakan alat *turbocyclone* tercatat rerata kadar gas CO sebesar 0,24% vol pada putaran mesin 1.500, selanjutnya pada putaran mesin menengah 3.000 rpm sebesar 0,31% vol, dan pada putaran mesin tinggi 5.000 rpm sebesar 0,06% vol CO.

Analisis prasarat data yang dilakukan adalah uji normalitas dan uji homogenitas. Uji normalitas data menunjukkan data kadar gas CO dan HC CO menunjukkan nilai 0,25. Sehingga nilai signifikansi tersebut lebih besar dari alpha

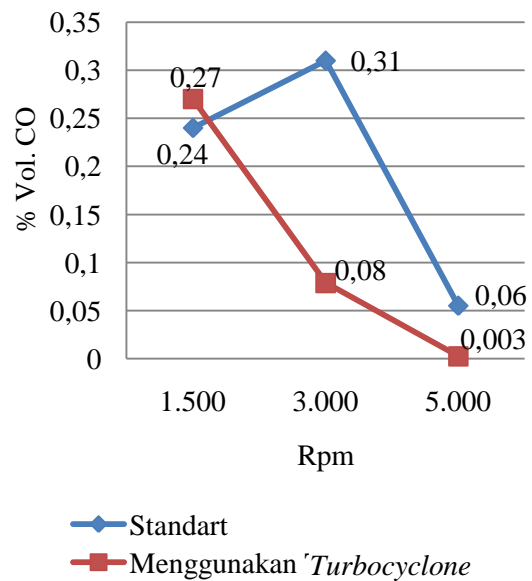
5,00% atau 0,05. Maka  $H_0$  dapat diterima, dan disimpulkan bahwa persebaran data yang terjadi adalah mengikuti sebaran normal. Selanjutnya dari uji homogenitas menunjukkan bahwa kadar gas CO dan HC menunjukkan nilai signifikansi 0,47 lebih besar dari alpha 5,99%. Dengan kata lain,  $0,47 > 0,05$  yang berarti  $H_0$  dapat diterima, dan disimpulkan bahwa data yang diambil memiliki ragam yang konstan (homogen).

Berdasarkan analisis data yang dilakukan menggunakan SPSS 20 for windows dengan metode analisis one tail test dihasilkan nilai signifikansi 0,00. Nilai signifikansi tersebut lebih kecil dari 0,05 atau  $0,00 < 0,05$  sehingga kesimpulannya adalah  $H_0$  ditolak, karena  $H_0$  maka digunakan  $H_a$  sebagai jawaban alternatif hipotesis. Sehingga dengan kata lain dapat disimpulkan bahwa adanya perbedaan signifikan penggunaan alat *turbocyclone* pada motor bensin injeksi terhadap emisi gas buang HC.

## PEMBAHASAN

Pada Gambar 3 menunjukkan adanya perbedaan emisi gas buang CO pada mesin sistem injeksi antara mesin yang tidak menggunakan *turbocyclone* (standart) dengan mesin menggunakan *turbocyclone* pada putaran mesin 1.500, 3.000 dan 5.000 rpm. Gambar 3 menggambarkan rerata kadar gas buang CO yang dilakukan pada mesin bensin injeksi. Sesuai dengan hasil analisis data dapat disimpulkan bahwa adanya perbedaan hasil rerata kadar emisi gas buang pada penggunaan *turbocyclone* terhadap kadar CO. Berdasarkan rerata hasil pengujian dapat menunjukkan adanya perbedaan kadar CO antara mesin bensin injeksi standart atau tidak menggunakan *turbocyclone* dengan mesin bensin injeksi menggunakan *turbocyclone*.

Pada putaran mesin rendah 1.500 rpm, selisih dari reratanya yang terjadi



**Gambar 3. Gambar Rerata Kadar Gas CO**

adalah 0,03% volume CO antara mesin bensin injeksi tidak menggunakan *turbocyclone* (standart) dengan mesin bensin injeksi menggunakan *turbocyclone*. Sesuai dengan Gambar 3 dapat dihitung selisihnya antara mesin yang menggunakan *turbocyclone* dengan mesin yang tidak menggunakan *turbocyclone* sebesar 0,03% volume CO.

Mesin yang menggunakan *turbocyclone* memiliki kadar CO yang lebih rendah dibandingkan dengan mesin yang tidak menggunakan *turbocyclone*, sehingga dari rerata hasil percobaan yang dilakukan pada putaran mesin 1.500 rpm, disimpulkan bahwa ada perbedaan kadar emisi yang terjadi pada putaran mesin 1.500 rpm, namun pada putaran mesin 1.500 rpm perbedaan tersebut tidak signifikan.

Fenomena tersebut sesuai dengan temuan penelitian yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya menyimpulkan bahwa penggunaan *turbocyclone* tidak efektif pada putaran mesin rendah, akan tetapi lebih efektif pada putaran mesin tinggi (Surya, dkk., 2013: 24-28).

Hal ini menunjukkan bahwa untuk putaran rendah alat *turbocyclone* yang mempunyai sudut statis dengan kemi-

ringan sudut  $60^\circ$  tidak membawa dampak yang positif. Sehingga diartikan alat *turbocyclone* tidak bekerja dengan baik, karena aliran fluida udara masih lambat dan keberadaan alat *turbocyclone* belum mampu membantu atau belum mampu mengubah aliran fluida udara dari aliran laminar menjadi aliran turbulen pada *manifold* (Arends dan Brenschot, 1980: 74).

Pada putaran mesin 3.000 rpm menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara mesin bensin injeksi yang tidak menggunakan *turbocyclone* (standart) dengan mesin bensin injeksi menggunakan *turbocyclone*. Selisih dari rerata kadar CO pada putaran mesin 3.000 rpm adalah 0,23% volume CO. Secara kajian teoritis kadar emisi gas buang CO mesin motor bensin mencapai nilai terbesar pada saat putaran rendah, karena pada saat tersebut perbandingan campuran bahan bakarnya sekitar 13:1 (Suhermanto, 2012: 77). Hal ini dikemukakan bahwa putaran mesin yang rendah memiliki derajat volumetrik yang kurang sempurna sehingga pada akhirnya memiliki kadar gas buang CO yang lebih tinggi (Arends dan Brenschot, 1980: 72).

Arends dan Brenschot (1980) memaparkan frekuensi CO untuk putaran tinggi akan semakin meningkat seiring dengan putaran mesin tinggi. Pernyataan tersebut sesuai dengan hasil pengujian mengenai tingkat kadar CO pada putaran 1.500 rpm. Pada putaran mesin 5.000 rpm menunjukkan bahwa selisih kadar CO pada putaran mesin tinggi antara mesin bensin injeksi yang tidak menggunakan *turbocyclone* (standart) dengan mesin bensin injeksi menggunakan *turbocyclone* sebesar 0,05% volume CO.

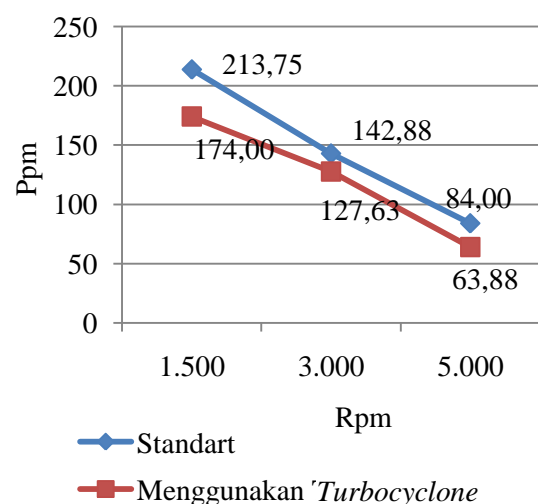
Fenomena ini tentunya sesuai dengan teori Arends dan Brenshot (1980) bahwa untuk putaran mesin sedang antara 3.000 rpm sampai dengan kurang lebih 5.000 rpm terjadi penurunan kadar CO, sedangkan untuk putaran yang lebih tinggi, kadar CO kembali mengalami ke-

naikan. Hal tersebut disebabkan posisi *throttle body* bergerak hampir setengah pembukaan maksimum sehingga menyebabkan campuran lebih kurus dari campuran idealnya (Suhermanto, 2012: 78).

Penggunaan *turbocyclone* pada posisi putaran tersebut telah mampu menimbulkan turbulensi aliran fluida udara pada saluran *intake manifold*, sehingga menimbulkan campuran udara dan bahan bakar menjadi homogen dan didapatkan pembakaran yang semakin sempurna.

Jika dianalisis menggunakan uji beda (*T-test*) data kadar gas CO menunjukkan nilai Sig. (2-tailed) adalah 0,002. Dari hasil tersebut berarti  $0,002 < 0,05$  yang menunjukkan bahwa  $H_0$  ditolak. Dengan kata lain, dapat disimpulkan ada perbedaan yang signifikan penggunaan *turbocyclone* terhadap kadar emisi gas buang senyawa CO pada kendaraan bermotor.

Pengujian selanjutnya dilakukan dengan pengambilan data dan analisis untuk kadar gas buang HC. Sesuai dengan Gambar 4 rerata kadar gas HC menunjukkan adanya pengaruh emisi gas buang pada mesin bensin 4 langkah sistem injeksi antara mesin tidak menggunakan *turbocyclone* (standart) dengan mesin yang menggunakan *turbocyclone* pada putaran mesin 1.500, 3.000, dan 5.000



**Gambar 4. Rerata Kadar Gas Hidrokarbon**

rpm. Pada putaran mesin 1.500, 3.000 dan 5.000 rpm secara berurutan terjadi selisih sebesar 39,75; 15,25; dan 20,13 ppm. Dari selisih rerata yang terjadi tersebut dapat dilihat bahwa adanya perbedaan yang terjadi.

Hasil pengujian emisi gas buang tersebut menunjukkan adanya kestabilan perbedaan kadar emisi HC mulai dari putaran rendah 1.500 rpm, menengah 3.000 rpm serta tinggi 5.000 rpm. Artinya perbedaan yang relatif konstan tersebut menunjukkan campuran bahan bakar dan udara pada mesin yang menggunakan *turbocyclone* lebih sempurna jika dibandingkan dengan mesin yang tidak menggunakan *turbocyclone*. Sehingga kajian teoritis pemodelan aliran laminar, transisi serta turbulen telah sesuai dengan hasil penelitian.

Seperti yang diungkapkan Munson (2005) bahwa aliran turbulen yang memiliki bilangan *reynold* tinggi mampu menimbulkan efek pusaran udara di dalam pipa. Sedangkan pusaran udara tersebut ditimbulkan oleh sudu-sudu yang terdapat pada alat *turbocyclone*. Semakin cepat laju aliran fluida udara maka semakin cepat pula energi pusaran yang ditimbulkan. Aliran fluida gas yang bergerak acak secara teoritis memiliki bilangan *reynold* lebih tinggi dibandingkan dengan aliran fluida yang mengalir secara perlahan (laminar).

## SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian emisi gas buang serta analisis data dan pembahasan hasil penelitian maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut. (1) Terdapat pengaruh yang positif pada penggunaan *turbocyclone* terhadap kadar CO pada emisi gas buang sepeda motor honda supra X 125 PGM FI pada putaran mesin rendah (1.500 rpm), putaran menengah (3.000 rpm) dan putaran tinggi (5.000 rpm). Pemasangan *turbocyclone* mampu

menurunkan kadar emisi gas buang CO (% volume CO). Hasil tersebut masih jauh di bawah nilai ambang batas yang ditetapkan menteri lingkungan hidup sebesar  $\leq 4,50\%$  volume CO. (2) Terdapat pengaruh yang positif pada penggunaan *turbocyclone* terhadap kadar HC pada emisi gas buang sepeda motor honda supra X 125 PGM FI pada putaran mesin rendah (1.500 rpm), putaran menengah (3.000 rpm), dan putaran tinggi (5.000 rpm).

Hasil pengujian kadar emisi gas buang CO dan HC tersebut masih jauh di bawah nilai ambang batas yang ditetapkan Menteri Lingkungan Hidup sebesar  $\leq 2.400$  ppm HC. Adapun saran yang diberikan sebagai berikut. (1) Bagi sekolah dan universitas, hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi ilmu pengetahuan khususnya pada bidang kajian emisi gas buang (CO dan HC), namun perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui selisih kadar (CO dan HC) pada putaran tinggi mesin injeksi ( $> 5.000$  rpm). (2) Guru mata pelajaran SMK, dari hasil penelitian ini dapat dijadikan ilmu pengetahuan tambahan dan dapat dijadikan inovasi materi pembelajaran khususnya pada kompetensi dasar memperbaiki gangguan sistem emisi gas buang pada pembelajaran di sekolah menengah kejuruan (SMK).

## DAFTAR RUJUKAN

- Arends, B.P.M. & Barendschot, H. 1980. *Motor Bensin*. Erlangga, Indonesia, Vam.Voorschoten, Belanda.
- Darmadi, H. 2011. *Metode Penelitian Pendidikan*. Bandung: Alfabeta.
- Departemen Direktorat Jenderal Perhubungan Darat. 2014. *Perhubungan Darat dalam Angka 2014*. Jakarta. ([www.hubdat.web.id](http://www.hubdat.web.id), diakses 16 september 2014).
- Menteri Negara Lingkungan Hidup. 2009. *Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 4 Tahun*

- 2009, *tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru*. Jakarta: Menteri Negara Lingkungan Hidup.
- Mukono, H.J. 2003. *Pencemaran Udara dan Pengaruhnya terhadap Gangguan Pernafasan*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Munson, B.R. 2005. *Mekanika Fluida, Edisi Keempat, Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Nicolas, S. 2011. 40 Years with Swirl, Vortex and Combustion. *Journal Aerospace Science Meeting. Olorado florida*, 10 (5): 1–22.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2011. *Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2011, tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca*. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.
- Siregar, S. 2014. *Statistik Parametrik untuk Penelitian Kuantitatif*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Suhermanto, M. 2012. *Pengaruh Penghalusan Intake Manifold dan Penggunaan Turbocyclone terhadap Emisi Gas Buang (CO dan HC) pada Motor Bensin 4 Tak*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Universitas Negeri Malang.
- Surya, D., Toni, D.P., & Muhammad, A.S. 2013. Studi Pengaruh Active Turbocyclone terhadap Emisi Gas Buang pada Motor Bensin 4 Tak 1 Silinder. *Jurnal Proton*, 5 (1): 23–28.
- Tony, S.U. 2006. Simulasi Efek Turbocyclone terhadap Karakteristik Aliran Udara pada Saluran Udara Suatu Motor Bakar Menggunakan Computational Fluid Dynamics. *Jurnal Rotasi*, 8 (2): 30–36.