

REDUKSI EMISI GAS BUANG PADA MOTOR BENSIN MENGGUNAKAN SERBUK TEMBAGA DAN BATU APUNG

Stephen Sanjaya¹⁾, Ir. Philip Kristanto²⁾

Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Petra

Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236. Indonesia

Phone: 0062-31-8439040, Fax: 0062-31-8417658

E-mail : stephen_sanjaya@hotmail.com¹⁾, philip@peter.petra.ac.id²⁾

ABSTRAK

Penambahan Catalytic Converter pada mesin bensin Toyota Kijang 5K standard yang bertujuan untuk mereduksi emisi gas buang kendaraan bermotor. Catalytic Converter merupakan salah satu alternatif teknologi yang dapat digunakan untuk mereduksi polutan emisi gas buang pada kendaraan bermotor yaitu Carbon Monoksida (CO) dan Hidrokarbon (HC). Penelitian ini dilakukan dengan menguji 3 model yang telah dibuat yaitu Catalytic Converter I (Pellet), Catalytic Converter II (Sekat Tembaga), Catalytic Converter III (Batu Apung). Dapat disimpulkan bahwa Catalytic Converter III (Batu Apung) adalah model yang terbaik untuk digunakan dalam mereduksi emisi gas buang. Dalam pengujian ini juga dilakukan pengukuran tekanan vakum dan terjadi kenaikan tekanan vakum, yaitu sebesar -17 in/Hg. Kenaikan tekanan vakum di intake manifold pada Catalytic Converter III lebih tinggi bila dibandingkan dengan Catalytic Converter II, dapat diakibatkan karena pada Catalytic Converter III menggunakan granular batu apung yang dapat menghambat laju tekanan pada saluran pipa gas buang. Selain itu pengujian ini membuktikan konsentrasi CO menurun cukup signifikan dengan penambahan batu apung pada saluran gas buang, namun untuk konsentrasi HC tidak jauh berbeda dengan hasil pengujian Catalytic Converter II. Hal ini ditunjukkan melalui penurunan konsentrasi CO sebesar 19,75% dan HC sebesar 15,37% dari keadaan standard yaitu tanpa menggunakan Catalytic Converter.

Kata Kunci : catalytic converter, katalis, tembaga, batu apung.

1. Pendahuluan

Perkembangan otomotif sebagai alat transportasi, baik di darat maupun di laut, sangat memudahkan manusia dalam melaksanakan suatu pekerjaan. Selain mempercepat dan mempermudah aktifitas, di sisi lain penggunaan kendaraan bermotor juga menimbulkan dampak yang sangat buruk terhadap lingkungan, terutama gas buang dari hasil pembakaran bahan bakar yang tidak terurai atau terbakar dengan sempurna.

Empat produk emisi utama motor pembakaran dalam adalah Karbon Monoksida (CO), Hidrokarbon (HC), Nitrogen Oksida (NO_x), dan partikulat padat. Hidrokarbon dalam gas buang merupakan bahan bakar dan partikel pelumas yang tak terbakar dan partikel-partikel bahan bakar lebih kecil yang tidak setimbang dari hanya terbakar sebagian.

Untuk itu sejumlah riset dan pengembangan dilakukan terutama untuk dapat menekan emisi gas buang dari kendaraan bermotor dengan melalui beberapa regulasi emisi yang semakin ketat.

Berikut ini adalah dua metode yang dapat digunakan untuk mengurangi emisi motor yang berbahaya. Pertama, dengan meningkatkan teknologi bahan bakar dan motor hingga terjadi pembakaran lebih baik dan menghasilkan emisi lebih rendah. Kedua dengan memberikan perlakuan lanjut (*after treatment*) terhadap gas buang.

Hal ini dilakukan dengan penggunaan konverter termal (*thermal converter*) atau konverter katalitis (*catalytic converter*) yang mengembangkan reaksi kimia di dalam aliran pembuangan. Reaksi kimia ini mengubah emisi yang berbahaya ke CO₂, H₂O, dan N₂ yang kurang beracun.

Risiko kesehatan yang dikaitkan dengan pencemaran udara di perkotaan secara umum disebabkan oleh kendaraan bermotor yang terus bertambah dan akan menyebabkan gangguan kesehatan bagi manusia yang bisa mengakibatkan kematian.

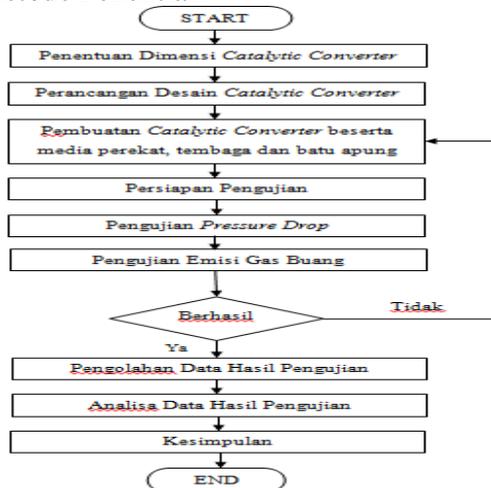
CO yang dihirup oleh manusia akan bereaksi dengan Hemoglobin dalam darah. Berbagai usaha telah dilakukan untuk melakukan kontrol terhadap pencemaran CO di udara, karena sebanyak 60% emisi CO dihasilkan dari sektor transportasi.

Dalam konsentrasi normal di atmosfer Hidrokarbon (HC) tidak berbahaya. Namun Hidrokarbon memiliki kemampuan untuk membentuk kabut, apabila bercampur dengan Nitrogen Oksida di udara. Hidrokarbon adalah salah satu emisi gas buang yang merupakan polutan primer.

Bahaya yang disebabkan dengan adanya emisi Hidrokarbon terhadap manusia adalah dapat memperkecil jarak pandang penglihatan. Selain itu emisi Hidrokarbon dapat menyebabkan penyakit leukimia dan kanker.

Nitrogen Oksida (NO_x) merupakan emisi gas buang yang berbahaya bagi manusia karena berdasarkan hasil penelitian aktifitas mortalitas kedua komponen tersebut menunjukkan bahwa NO₂ empat kali lebih beracun dibandingkan dengan (NO). NO₂ sangat berbahaya bagi manusia, karena NO₂ bersifat racun terhadap paru-paru manusia yang akan menyebabkan sesak nafas. Penelitian ini bertujuan untuk membuat media pereduksi gas buang dengan cara mengkombinasi antara tembaga dan batu apung yang dapat mengurangi konsentrasi CO dan HC pada kendaraan bermotor yang keluar melalui saluran gas buang kendaraan bermotor. Manfaat dari penelitian ini adalah mengetahui media pereduksi dapat mengurangi polusi udara yang disebabkan oleh emisi gas buang kendaraan bermotor (CO dan HC) dengan menggunakan batu apung dan tembaga.

2. Metode Penelitian



Gambar 1. Bagan Flow Chart Penelitian

Dari metode penelitian di atas, akan dilakukan penelitian sesuai dengan langkah-langkah yang telah ditentukan.

Penentuan Dimensi Catalytic Converter

Untuk penentuan dimensi *Catalytic Converter* ini disesuaikan dengan *Catalytic Converter* yang sudah ada dan dimensi yang didapatkan berasal dari perbandingan kendaraan bermotor jenis Toyota Kijang Innova (2000cc) yang menggunakan *Catalytic Converter* dengan Toyota Kijang 5K (1500cc) tanpa menggunakan *Catalytic Converter*. Dari perbandingan dimensi saluran gas buang diperoleh dasar perancangan *Catalytic Converter* untuk Toyota Kijang 5K.

Dimensi *Catalytic Converter* pada Toyota Kijang Innova adalah sebagai berikut:

- Panjang pipa katalik 120 mm.
- Diameter pipa katalik 115 mm.
- Diameter luar kerucut atau resonator 64 mm.

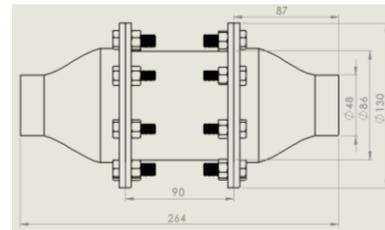
Dengan data dimensi katalik di atas akan dibuat *Catalytic Converter* untuk saluran pipa gas buang Toyota Kijang 5K (1500cc) dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Dimensi diameter dalam saluran pipa gas buang 42 mm.
- Diameter pipa katalik 80 mm.

- Panjang pipa 90 mm.
- Pada kedua ujung tabung diberi tambahan berbentuk kerucut seperti resonator dengan ukuran diameter 48 mm.

Perancangan Desain Catalytic Converter

Desain *Catalytic Converter* ini disesuaikan dengan bentuk *Catalytic Converter* yang telah ada, namun pada *Catalytic Converter* ini ditambahkan *flange* (penopang) yang berdiameter luar 130mm dan diameter dalam yang disesuaikan dengan ukuran pipa tabung katalik yaitu 86mm. *Flange* ini dibuat agar media pereduksi didalamnya bisa dibongkar pasang dengan tujuan mempermudah pembersihan maupun penggantian media pereduksi.



Gambar 2. Desain Casing Catalytic Converter

Pembuatan Casing Catalytic Converter

Berikut ini adalah gambar dari *Casing Catalytic Converter* yang telah ditentukan dimensi beserta desainnya. Dimensi total dari *Catalytic Converter* adalah 264 mm.



Gambar 3. Casing Catalytic Converter

Pembuatan Media Pereduksi

Pembuatan media pereduksi *Catalytic Converter* ini memiliki 3 desain. Berikut ini adalah desain yang akan dibuat dan diuji coba dengan menggunakan *Casing Catalytic Converter* yang telah dibuat:

1. Catalytic Converter I.

Pembuatan *Catalytic Converter* menggunakan serbuk tembaga dan batu apung serta menggunakan media perekat (serlak). Cara pembuatan serbuk tembaga adalah dengan menggunakan as tembaga yang berdiameter 20mm yang permukaannya di pahat menggunakan mesin bubut hingga berupa serpihan (*chips*).



Gambar 4. Serbuk Tembaga (*chips*)

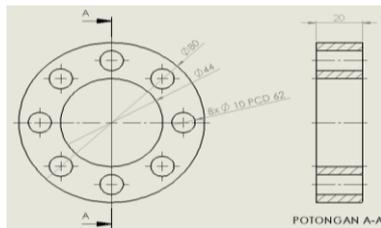
Cara pembuatan granular batu apung ini adalah dengan menumbuk bongkahan batu apung yang semula berukuran diameter 10-15cm, hingga menjadi granular yang berukuran kecil.



Gambar 5. Granular Batu Apung

Kemudian *chips* dan granular di campur menjadi satu dengan perbandingan 1:4 dengan penambahan serlak sebagai media perekat yang di ikut sertakan dari permulaan proses cetak dengan membuat lapisan hingga mencapai ketinggian 20mm.

Pada tahap akhir pembuatan *pellet* ini, permukaan beserta diameter lubang dalam maupun permukaan dari *pellet* ini dibuat menjadi kasar dengan tujuan agar serbuk batu apung dan tembaga tidak tertutup media perekat (serlak).



Gambar 6. Desain *Pellet*.

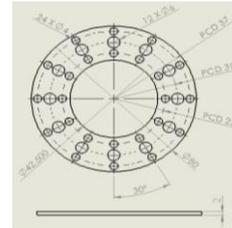


Gambar 7. *Pellet* Serbuk Tembaga dan Batu Apung

2. *Catalytic Converter* II.

Pembuatan dengan menggunakan sekat tembaga dan batu apung berbentuk granular. Cara pembuatan sekat tembaga ini berasal dari plat tembaga dengan ketebalan 2mm yang dipotong berbentuk lingkaran dengan diameter 80mm dan diameter dalam 42mm.

Untuk *finishing* dari sekat ini diberi lubang pada permukaan sekat yang berfungsi sebagai luasan kontak penyerapan gas buang hasil pembakaran.

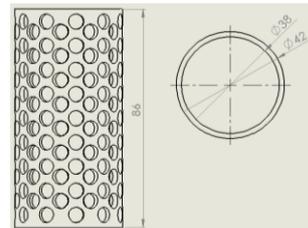


Gambar 8. Sekat Tembaga

Berikut ini pipa tembaga yang telah berlubang dan pemasangannya diletakkan pada posisi tengah diameter dalam sekat tembaga yang berfungsi sebagai penahan dari sekat tembaga sekaligus untuk peredam gelombang suara pada gas buang.

Cara pembuatan pipa tembaga berlubang ini adalah dengan membuat pola berupa kotak-kotak kecil pada permukaan pipa yang nantinya akan dilubangi secara merata dengan menggunakan bor berdiameter 2mm (lubang awal), dan kemudian lubang diperbesar hingga mencapai ukuran akhir, yaitu diameter 6mm.

Lubang pada pipa tembaga ini dibuat dengan ukuran diameter yang lebih kecil dari ukuran diameter batu apung dengan tujuan agar batu apung tidak terlempar keluar pada saat tekanan gas buang terjadi.



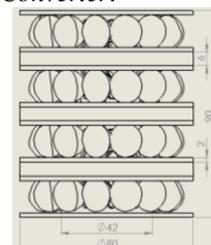
Gambar 9. Pipa Tembaga

Cara pembuatan batu apung berbentuk granular ini adalah dengan cara menumbuk bongkahan batu apung yang berukuran \pm 10-15cm hingga menjadi granular yang berukuran 10-15mm.



Gambar 10. Granular Batu Apung

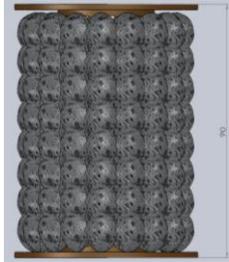
Berikut ini adalah gambar dari penyusunan sekat tembaga dan batu apung berbentuk granular di dalam *Casing Catalytic Converter*.



Gambar 11. *Catalytic Converter* II

3. Catalytic Converter III.

Pembuatan dengan menggunakan granular batu apung. Cara pembuatan batu apung berbentuk granular ini adalah dengan cara menumbuk bongkahan batu apung yang semula berdiameter 10-15cm hingga menjadi granular yang berukuran 10-15mm.



Gambar 12. Catalytic Converter III

Pengukuran Pressure Drop

Pengukuran tekanan vakum dapat dijadikan sebagai indikasi perubahan pada *pressure drop*. Pengukuran kevakuman (*Vacuum gauge*) digunakan untuk mengukur tekanan vakum di *intake manifold*. Kevakuman menunjukkan perbedaan tekanan antara atmosfer luar dan yang terjadi pada *intake manifold*. Dalam mesin pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*), tekanan pada *intake manifold* selalu lebih rendah dari tekanan atmosfer.

Hasil dari pengukuran tekanan vakum dapat digunakan untuk pengukuran *pressure drop* yang bilamana, pengujian *pressure drop* terlalu tinggi akan mengakibatkan penurunan daya mesin serta tekanan kevakuman akan berkurang, dan apabila *pressure drop* setelah dilakukan pengujian katalis terlalu rendah bisa diakibatkan dari saluran gas buang atau performa dari mesin tersebut tidak optimal.

Untuk memasang *vacuum gauge*, hal yang harus diperhatikan bahwa saluran untuk pengukuran kevakuman harus diambil dari *intake manifold* yang berada dibelakang *throttle valve* (katup gas). Pada umumnya saluran yang diambil berasal dari dua tempat, yaitu:

1. Pada selang *Vacuum Advancer*

Dipasang diantara selang karburator yang menuju ke *vacuum advancer* dengan selang pembagi T, sehingga *vacuum advancer* tetap bisa bekerja dan *vacuum gauge* juga bisa melakukan pembacaan kevakuman.



Gambar 13. Pemasangan *vacuum gauge*

2. Selang *Brake Booster (Booster Rem)*

Saluran kevakuman yang menuju ke *booster rem* juga bisa kita gunakan untuk lokasi pemasangan *vacuum gauge*. Pemasangan *vacuum gauge* ini dilakukan dengan cara melepas selang yang menuju ke *booster rem* dan kemudian memasangkannya pada *vacuum gauge*.



Gambar 14. Pemasangan *vacuum gauge* pada *booster rem*

Pergerakan jarum yang terdapat pada *vacuum gauge* merupakan indikasi penting dalam pengambilan kesimpulan tentang keadaan mesin terutama saat *throttle valve* dibuka dan ditutup dengan cepat.

Pada saat mesin hidup, prosedur pengujian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

- Hubungkan *vacuum gauge* pada saluran vakum di *intake manifold*.
- Jalankan mesin pada suhu operasi normal dengan putaran *idle*.

Hasil Pengujian Saat Mesin Hidup



Gambar 15. Gambar Pembacaan *Vacuum Gauge*

Apabila hasil tes seperti pada gambar di atas, pembacaan *vacuum gauge* stabil pada 18 in/Hg dan menunjukkan mesin bekerja normal.



Gambar 16. Gambar Pembacaan *Vacuum Gauge*

Apabila jarum bergerak naik turun atau bergetar tak menentu menunjukkan terjadi ketidak beresan pada semua silinder yang tidak merata dan tidak konsisten.

Untuk membedakan ketidak beresan yang terjadi, jalankan mesin pada putaran sekitar 2000 RPM.

Jika jarum stabil, lakukan pemeriksaan:

1. *Timing* pengapian
2. Campuran udara/bahan bakar saat *idle*.
3. Jika jarum tetap bergerak naik turun dengan simpangan lebar, periksa pegas katup (kemungkinan lemah atau rusak).
4. Jika jarum bergerak naik turun dengan simpangan pendek dan cepat, maka periksa:
 - Kebocoran pada karburator atau *intake manifold*.
 - Kesempurnaan penutupan katup.

Pengujian Emisi Gas Buang

Tahap ini dilakukan untuk mengetahui hasil dari pengujian emisi gas buang motor bensin sebelum dipasang *Catalytic Converter* II maupun III dan sesudah pemasangan di saluran pipa gas buang. Untuk pengujian emisi gas buang digunakan alat sebagai berikut:

Infra Red Multigas Analyzer, dengan spesifikasi sebagai berikut:

Merk : TECHNOSTEST

Model : 488

Field Measurement:

CO : 0-9,99% Vol, res. 0,01

CO₂ : 0-19,9% Vol, res. 0,1

HC : 0-10000 ppm, res. 1

O₂ : 0-25,0% Vol, res. 0,1

NO_x : 0-4000 ppm, res 10 (preset)

Lambda : 0,5-1,500

Thermometer : from 0°-150°C, res.1



Gambar 17. *Infra Red Multigas Analyzer*

3. Hasil dan Analisa

Pengujian *Pressure Drop*

Pengukuran *pressure drop* dilakukan dengan tujuan agar dapat membandingkan kendaraan uji pada saat keadaan *standard (Non-Catalytic)* dan dengan adanya pemasangan *Catalytic Converter*. Pengukuran tekanan vakum dapat dijadikan sebagai indikasi perubahan pada *pressure drop*.

Pengukuran kevakuman (*Vacuum gauge*) digunakan untuk mengukur tekanan vakum di *intake manifold*. Kevakuman menunjukkan perbedaan tekanan antara atmosfer luar dan yang terjadi pada *intake manifold*. Dalam mesin pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*), tekanan pada *intake manifold* selalu lebih rendah dari tekanan atmosfer.

Hasil dari pengukuran tekanan vakum dapat digunakan untuk pengukuran *pressure drop* yang bilamana, pengujian *pressure drop* terlalu tinggi akan mengakibatkan penurunan daya mesin serta tekanan kevakuman akan berkurang, dan apabila *pressure drop* setelah dilakukan pengujian katalis terlalu rendah bisa diakibatkan dari saluran gas buang atau performa dari mesin tersebut tidak optimal.

Berikut ini adalah hasil pengukuran tekanan vakum pada Toyota Kijang 5K dengan pengujian *standard* saluran pipa gas buang.



Gambar 18. Pengukuran tekanan vakum di *intake manifold* pada keadaan *standard*

Hasil dari pengukuran tekanan vakum di *intake manifold* yang dilakukan pada keadaan *standard* menunjukkan performa dari mesin Toyota Kijang 5K bekerja secara normal dan stabil yaitu -18 in/Hg.



Gambar 19. Pengukuran tekanan vakum di *intake manifold* pada *Catalytic Converter* II

Pada gambar diatas menunjukkan hasil dari pengukuran tekanan vakum di *intake manifold* yang dilakukan pada *Catalytic Converter* II. Hasil pengukuran kevakuman menunjukkan adanya penurunan, yaitu pada -17,5 in/Hg.



Gambar 20. Pengukuran tekanan vakum di *intake manifold* pada *Catalytic Converter* III

Analisa Hasil Pengujian *Pressure Drop*

Pada saat Pengujian Emisi Gas Buang dilakukan pula pengukuran tekanan vakum dari keadaan *Standard*, *Catalytic Converter* II, maupun *Catalytic Converter* III. Hasil pengukuran kevakuman mesin bekerja normal atau dapat dikatakan stabil yaitu -18 in/Hg, -17.5 in/Hg, dan -17 in/Hg. Perubahan yang didapat dari perbedaan tekanan vakum dapat dikatakan tidak terlalu berpengaruh karena hasil yang didapatkan tidak terlalu berbeda jauh dari keadaan stabil pada saat pemasangan *Catalytic Converter* maupun dalam keadaan *standard*.

Analisa Hasil Pengujian Emisi Gas Buang

Berikut ini adalah hasil pengujian pada *Catalytic Converter* I yang tidak diuji emisi gas buang maupun tekanan vakum karena media perekat *Catalytic Converter* I terbuat dari media perekat (serlak) tidak tahan panas suhu tinggi.

Pada saat uji coba, *pellet* meleleh dan berubah bentuk sehingga emisi gas buang tidak dapat tereduksi. Berikut ini adalah gambar *Catalytic Converter I* sebelum dan setelah uji coba.

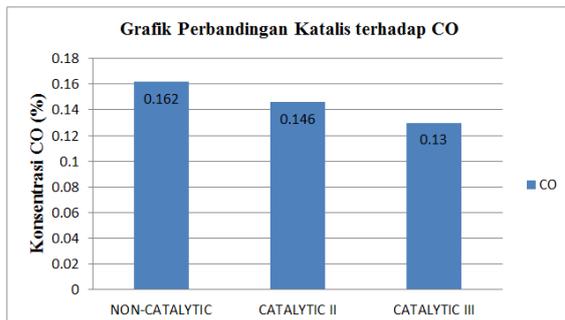


Gambar 21. *Catalytic Converter I* Sebelum Uji Coba

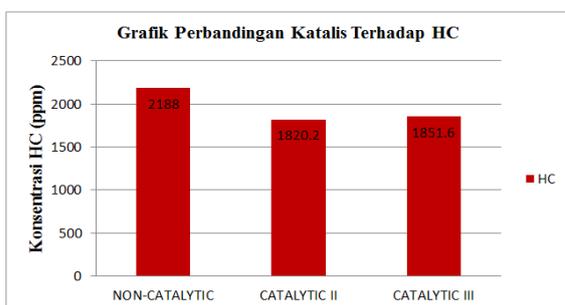


Gambar 22. *Catalytic Converter I* Setelah Uji Coba

Grafik Pengujian Emisi Gas Buang terhadap CO dan HC



Gambar 23. Grafik perbandingan Katalis terhadap CO



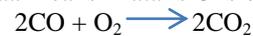
Gambar 24. Grafik perbandingan Katalis terhadap HC

Hasil pengujian emisi gas buang dengan menggunakan *Catalytic Converter II* menunjukkan adanya penurunan konsentrasi CO sebesar 9,88% dan HC sebesar 16,81% dibandingkan dengan keadaan *standard*. Dalam pengujian ini juga terjadi kenaikan tekanan vakum di *intake manifold*, yaitu sebesar -17,5 in/Hg.

Kenaikan tekanan vakum ini dapat diakibatkan karena *Catalytic Converter II* terbuat dari sekat tembaga dan batu apung yang dapat menghambat laju tekanan pada saluran pipa gas buang. Selain itu pengujian ini membuktikan bahwa penurunan yang paling dominan adalah pada konsentrasi HC yaitu mencapai 16,81%, namun untuk konsentrasi CO tidak mengalami penurunan yang cukup signifikan dibandingkan dengan *Catalytic Converter III*.

Tembaga juga dikenal sebagai salah satu logam yang memiliki sifat katalisis. Sifat katalisis adalah sifat dari material yang dapat mempercepat laju reaksi kimia (*catalyze*). Hal ini disebabkan sifat tembaga terhadap CO dan dapat membantu mempercepat terjadinya reaksi CO dapat teroksidasi menjadi CO₂. Katalis ini juga membantu reaksi CO dan HC dengan oksigen yang ada di dalam gas buang.

Persamaan reaksi Katalis Oksidasi:



Hasil pengujian emisi gas buang dengan menggunakan *Catalytic Converter III* menunjukkan adanya penurunan konsentrasi CO sebesar 19,75% dan HC sebesar 15,37% dibandingkan dengan *standard*. Dalam pengujian ini juga terjadi kenaikan tekanan vakum di *intake manifold*, yaitu sebesar -17 in/Hg.

Kenaikan tekanan vakum ini dapat diakibatkan karena pada *Catalytic Converter III* menggunakan granular batu apung yang dapat menghambat laju tekanan pada saluran pipa gas buang. Selain itu pengujian ini membuktikan konsentrasi CO menurun cukup signifikan dengan penambahan batu apung pada saluran gas buang, namun untuk konsentrasi HC tidak jauh berbeda dengan hasil pengujian *Catalytic Converter II*. Struktur berongga batu apung mengandung udara yang dimana terdapat O₂, maka gas CO dan HC dapat menjadi CO₂ dan H₂O.

Kesimpulan

Dari hasil pengujian emisi gas buang dengan menguji 3 model yang telah dibuat yaitu *Catalytic Converter I*, *Catalytic Converter II*, dan *Catalytic Converter III*. Dapat disimpulkan bahwa *Catalytic Converter III* yaitu jenis batu apung adalah model yang terbaik untuk digunakan dalam mereduksi emisi gas buang. Dalam pengujian ini juga dilakukan pengukuran tekanan vakum dan terjadi kenaikan tekanan vakum, yaitu sebesar -17 in/Hg.

Kenaikan tekanan vakum di *intake manifold* pada *Catalytic Converter III* ini merupakan kenaikan yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan *Catalytic Converter II*, dapat diakibatkan karena pada *Catalytic Converter III* menggunakan granular batu apung yang dapat menghambat laju tekanan pada saluran pipa gas buang. Selain itu pengujian ini membuktikan konsentrasi CO menurun cukup signifikan dengan penambahan batu apung pada saluran gas buang, namun untuk konsentrasi HC tidak jauh berbeda dengan hasil pengujian *Catalytic Converter II*.

Struktur berongga dari batu apung mengandung udara yang dimana terdapat O₂, maka gas CO dan HC dapat

teroksidasi menjadi CO₂ dan H₂O. Hal ini ditunjukkan melalui penurunan konsentrasi CO sebesar 19,75% dan HC sebesar 15,37% dari keadaan *standard* yaitu tanpa menggunakan *Catalytic Converter*.

Daftar Pustaka

1. Arya, W. Wisnu. (1999). *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Yogyakarta: Andi Offset.
2. Bachrun. (1993). *Polusi Udara Perkotaan, Pemantauan dan Pengaturan*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
3. Cahaya, Indra. (2003). *Pengendalian Pencemaran Udara Melalui Penanganan Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
4. Hakam. M., Sungkono. D. (2006). *Analisa Pengaruh Penggunaan Logam Tembaga sebagai Katalis pada Saluran Gas Buang Mesin Bensin Empat Langkah terhadap Konsentrasi Polutan CO dan HC*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.
5. Irawan B. (2003). *Rancang Bangun Catalytic Converter dengan Material Substrat Tembaga (Cu) untuk Mereduksi Emisi Gas CO*. Semarang: Universitas Diponegoro.
6. J. C. Prince, C. Trevino, M. Diaz. (2008). *Modeling a Catalytic Converter for CO and NO Emissions*. London: Proceedings of the World Congress on Engineering.
7. Johan Wahyudi, et al. (2007). *Pengaruh Pemanfaatan Batu Zeolit Untuk Reduksi Emisi Gas Buang Pada Kendaraan Bermotor Bensin*. Surabaya: Universitas Kristen Petra.
8. Kevin Stewart McCartney. (1997). *Catalytic Converter Theory, Operation and Testing*. Retrieved January 15, 2015, from <http://bearriverconverters.com/data/CatOpp.pdf>
9. Kristanto, Philip. (2013). *Ekologi Industri Edisi Kedua*. Yogyakarta: LPPM Universitas Kristen Petra.
10. Obert. Erdward F. (1973). *Internal Combustion Engine and Air Pollution*. New York: Harper & Row, Publisher, Inc.
11. Handoko, S., Prasetyo, A., Ferdinandus, A., (1997). *Studi Penggunaan Batu Apung untuk Beton Ringan Sebagai Komponen Struktural*. Jakarta: PT.Sucofindo.
12. Wakhid, Syamsul. (2006). *Pengaruh Dendrit (Batu Apung) Sebagai Katalis Terhadap Emisi Gas Buang Dan Tingkat Kebisingan Pada Mesin Toyota Kijang*. Surabaya : Universitas Negeri Surabaya.
13. Warju. (2006). *Pengaruh Penggunaan Catalytic Converter Tembaga berlapis Mangan Terhadap Kadar Polutan Motor Bensin Empat langkah*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.
14. Zulhelmi, 530.413 Zul p, Pembuatan dan karakterisasi bata berpori dengan agregat batu apung (pumice) sebagai filter gas buang kendaraan.
15. Tanjung, M. (n.d) *Bahan Pelatihan Nasional Otomotif Perbaikan kendaraan ringan (Identifikasi Perangkat Pengikat, gasket, perapat dan perekat)*. Retrieved January 20,2015, from <http://slideshare.net/mobile/MAXTANJUNG/10-0177i>
16. *Catalitic converter dan pencemaran udara*. Retrieved January 20,2015, from <http://geowana.wordpress.com/2007/10/16/catalytic-converter-dan-pencemaran-udara/>.
17. Journal of Environmental Engineering. HighBeam Research. Retrieved Desember 22,2014,from <http://highbeam.com/publications/journal-of-environmental-health-p4314/october-1995>
18. Data Pertambangan Mineral dan Batubara. (n.d). Potensi Batu Apung. Retrieved January 20,2015, from <http://dpsdm.com/index.php/14-kumpulan-artikel/123-potensi-batu-apung>.