

UNJUK KEMAMPUAN KATALIS TEMBAGA BERLAPIS MANGAN DALAM MENGURANGI EMISI GAS HIDRO CARBON MOTOR BENSIN

RM. Bagus Irawan¹, Purwanto², Hadiyanto³

Abstrak

Salah satu teknologi rekayasa yang dapat digunakan untuk mengurangi polusi udara adalah dengan pemakaian *Catalytic Converter* yang dipasang pada saluran gas buang kendaraan bermotor (Heisler, 1995). Sayangnya harga alat tersebut sangat mahal dipasaran dan tidak semua kendaraan bermotor menggunakan teknologi tersebut, karena katalisnya terbuat dari bahan logam mulia yang mahal dan jarang didapatkan dipasaran seperti : Palladium, Platinum, dan Rodium. Disamping itu katalis tersebut sangat rentan terhadap bahan bakar premium yang memiliki kadar timbal (Pb) yang berakibat merusak fungsi katalis karena akan terjadi penyumbatan pada *honeycomb Catalytic Converter*. Oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian yang dirancang sedemikian rupa dalam skala laboratorium dengan menguji material substrat lain ebagai bahan katalis, untuk melihat kemampuan katalis pada *Catalytic Converter* dalam mereuksi emisi gas buang Carbon Monoksida khususnya. Pada penelitian ini akan melihat unjuk kemampuan dan mengkaji efektifitas katalis Tembaga Berlapis Mangan yang di disain sedemikian rupa sehingga didapatkan bentuk dan jenis katalis *Catalytic Converter* yang tepat dan cocok untuk kendaraan bermotor yang berbahan bakar premium. Peneltian ini bertujuan untuk mendapatkan dan menggali informasi lanjutan serta mengkaji tentang material substrat sebagai bahan katalis, karakteristik *Catalytic Converter*, efektifitas dan efesiensi *Catalytic Converter*. Dengan target khusus (1) Rancang Bangun *Catalytic Converter* (2) Mengkaji kemampuan Katalis Tembaga Berlapis Mangan dalam mereduksi emisi gas HC.

Kata kunci: *Catalytic Converter*, Katalis Tembaga, Mangan, Emisi Gas Buang, Karbon Monoksida

PENDAHULUAN

Penurunan kualitas lingkungan hidup dewasa ini salah satunya disebabkan oleh aktifitas kendaraan bermotor yang menjadi sumber pencemar udara di berbagai kota besar dunia. Gas-gas beracun yang keluar dari jutaan knalpot tersebut, setiap harinya telah menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan yang sangat serius di berbagai Negara, termasuk Indonesia. Emisi gas buang yang dihasilkan dari kendaraan bermotor

¹ Program Doktor Ilmu Lingkungan - Program Pascasarjana Universitas Diponegoro

² Program Doktor Ilmu Lingkungan - Program Pascasarjana Universitas Diponegoro

³ Program Doktor Ilmu Lingkungan - Program Pascasarjana Universitas Diponegoro

khususnya motor bensin akibat proses pembakaran yang tidak sempurna telah menghasilkan gas-gas berbahaya, diantaranya adalah Gas Carbon Monoksida (CO), Hidro carbon (HC), Nitrogen Oxide (NO_x), Sulfur Oxide (SO_x) dll.. Sektor transportasi mempunyai kontribusi terbesar pada pencemaran udara di daerah perkotaan **(Cooper & Alley, 1994 and PCI, 1997).**

Sektor transportasi merupakan sumber pencemar udara terbesar, dimana 70% polusi udara diperkotaan, disebabkan oleh aktivitas kendaraan bermotor yang mengeluarkan emisi gas buang antara lain CO, HC, NO_x, SO_x dan partikulat. Hal ini disebabkan oleh jumlah kendaraan bermotor yang terus meningkat dari tahun ke tahun **(Bacrun, 1993, KLH, 2003 ; Naning , 2008).**

Sedangkan pertumbuhan kendaraan bermotor di Indonesia saat ini telah mencapai lebih dari 10% per tahun menjadi faktor dominan penyebab utama naiknya angka pencemaran udara. Kondisi ini diperburuk dengan angka pertumbuhan jalan yang tidak sebanding dengan pertumbuhan kendaraan bermotor yang hanya 2% per tahun, semakin memperburuk kondisi udara di berbagai kota. **(Statistik Dirjen Perhubungan Darat, 2008)**

Menurut Asisten Deputi Urusan Pengendalian Pencemaran Emisi Sumber Bergerak KLH, dari hasil kajian yang dilakukan oleh KLH dikemukakan bahwa pada tahun 2009 terdapat 26 kota metropolitan di Indonesia yang memiliki kualitas udara buruk dimana angka pencemaran udara mencapai 80%, diantaranya termasuk kota Semarang. **(Palguna A. 2010).**

Pakar Transportasi dari Universitas Khatolik Soegiyopranoto mengemukakan bahwa jumlah kendaraan bermotor di kota Semarang saat ini telah mencapai 1 juta unit dengan jumlah penduduk 1,4 juta jiwa, sementara itu kapasitas jalan yang ada tidak bertambah jumlahnya. Hal ini tentu saja akan membawa implikasi kemacetan dan peningkatan polusi udara di kota Semarang. **(Setijowarno D. 2010).**

Peningkatan polusi udara dari sektor transportasi sangat signifikan dan berdampak pada kehidupan dan lingkungan saat ini. Sebuah kendaraan dari proses bekerjanya dapat menghasilkan polutan berupa gas Carbon Monoksida (CO), Hidrokarbon (HC), Nitorgen oksida (NO_x), Sulfur Oksida (SO₂) dan Timbal (Pb) yang sering disebut sebagai polutan primer Salah satu polutan udara yang berbahaya dan sangat dominan jumlahnya adalah

gas Carbon Monoksida yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar dan udara motor bensin yang tidak sempurna (**Wardhana A.W. 1995**).

Sesuai dengan program *Environment Sustainable Transportation (EST)* atau lebih dikenal dengan transportasi ramah lingkungan ada 12 program atau pendekatan yang bisa dilakukan untuk mengurangi permasalahan polusi udara yang bersumber dari sektor transportasi, salah satunya adalah *Vehicle Emissions Control* yang akan menjadi fokus kajian penelitian.

Langkah-langkah dan usaha yang dilakukan untuk menurangi gas buang yang berbahaya pada kendaraan bermotor sudah banyak dilakukan terutama di negara-negara maju (USA, Eropa) dan kini termasuk negara-negara di Asia, seiring semakin ketatnya peraturan dunia tentang emisi gas buang kendaraan bermotor.

Metode dan teknik yang dilakukan ada beberapa macam, antara lain dengan mengubah atau memodifikasi beberapa bagian dari kendaraan bermotor. Menurut **Mathur (1975: 15)** pendekatan yang biasanya dilakukan dan dipakai dalam mengurangi gas buang kendaraan bermotor antara lain: modifikasi mesin, modifikasi pada saluran gas buang, modifikasi penggunaan bahan bakar atau system bahan bakarnya.

Secara umum dengan merujuk pada program EST, untuk mengontrol atau mengurangi polutan udara dari kendaraan bermotor (*internal combustion engine*) dapat dilakukan dengan cara modifikasi pada mesin, modifikasi penggunaan bahan bakar atau sistem bahan bakarnya dan modifikasi pada saluran gas buang. (**B. Irawan, 2003**). Sedang hal yang dapat dilakukan peneliti peneliti dan sebagai wujud dari *Vehicle Emission Control* adalah cara ke tiga yaitu modifikasi saluran gas buang dengan melakukan Rancang Bangun dan Pemasangan *Catalytic Converter* pada system saluran pembuangan gas kendaraan bermotor.

Untuk mengurangi toksisitas dari mesin pembakar internal digunakan alat yang disebut *Catalytic Converter*. Alat ini telah digunakan di USA sejak 1975 karena peraturan EPA yang semakin ketat tentang gas buang kendaraan bermotor. Alat ini mengkonversi senyawa-senyawa toksit dalam gas buang menjadi zat-zat yang kurang toksit atau tidak toksit.

Dengan demikian untuk memenuhi peraturan tersebut, kendaraan bermotor harus dilengkapi dengan *Catalytic Converter*. Pemerintah Indonesia juga mengikuti peraturan

tentang emisi gas buang yang mengacu pada EURO 1, EURO 2 dan EURO 3. Sehingga kendaraan bermotor di wilayah ini harus dilengkapi dengan piranti *Catalytic Converter*.

Catalytic Converter pada dasarnya merupakan sebuah reaktor unggun tetap (Fixed Bed Reaktor) yang beroperasi dinamis dan mengolah zat-zat yang mengandung emisi gas buang berbahaya menjadi zat-zat yang tidak berbahaya. *Catalytic Converter* merupakan sebuah *Converter* (pengubah) yang menggunakan media yang bersifat katalis, dimana media tersebut diharapkan dapat membantu atau mempercepat terjadinya proses perubahan suatu zat (reaksi kimia). (Springer-Verlag. New York Inc, 1970).

Media katalis adalah suatu zat yang mempercepat laju reaksi kimia pada suhu tertentu, tanpa mengalami perubahan atau terpakai oleh reaksi itu sendiri. Media yang biasa digunakan sebagai katalis adalah logam yang mahal dan jarang seperti Palladium, Platinum dan *Stainless Steel* (Heisler, 1995).

Catalytic Converter yang umum dipakai ada berbagai macam bentuk, secara garis besar dapat digolongkan menjadi dua golongan (Husselbee W.L., 1985), yaitu : Sistem ini sering disebut juga Single bed Oksidation, mampu mengubah CO dan HC menjadi CO₂ dan H₂O. *Catalytic* jenis ini beroperasi pada kendaraan udara berlebih (Excess air setting). Udara berlebih yang digunakan untuk proses oksidasi dapat diperoleh melalui pengaturan campuran miskin (Lean mixture setting) atau system injeksi udara sekunder. Jenis ini banyak digunakan pada motor diesel karena kemampuannya mengoksidasi zat-zat partikel dengan mudah.

Pada system ini terdiri dari dua system katalis yang dipasang secara berurutan. Dimana gas buang pertama kali mengalir melalui *Catalytic Reduksi* dan kemudian *Catalytic Oksidasi*. Sistem pertama (bagian depan) merupakan katalis reduksi yang berfungsi menurunkan emisi NO_x, sedang system kedua (bagian belakang) merupakan katalis oksida yang menurunkan emisi HC dan CO. Mesin yang dilengkapi dengan system ini biasanya dioperasikan dengan kondisi campuran kaya.

Tipe yang lain adalah Tree-Way *Catalytic Converter*. Pada tipe ini dirancang untuk mengurangi gas-gas polutan seperti CO, HC dan Nox yang keluar dari exhaust system dengan cara mengubah melalui reaksi kimia menjadi CO₂. Uap air (H₂O) dan Nitrogen (N) (Emission Control Toyota, 2000).

Aplikasi pada perlakuan terhadap gas buang kendaraan bermotor dengan memasang *Catalytic Converter* banyak dikembangkan dan dilakukan oleh peneliti akhir-akhir ini. Menurut Dowden dalam bukunya "*Catalytic Hand Book*", umumnya *Catalytic Converter* yang dipakai pada kendaraan bermotor (ada di pasaran) adalah tipe pelet dan monolithic dengan bahan katalis dari logam-logam mulia seperti Paladium (Pd), Platinum (Pt), dan Rodium (Rh) (**Dowden. 1970**).

Logam-logam mulia tersebut memiliki aktifitas spesifik yang tinggi, namun memiliki tingkat volatilitas besar, mudah teroksidasi dan mudah rusak pada suhu 500 – 900°C sehingga mengurangi aktifitas katalis. Selain itu logam-logam mulia tersebut mempunyai kelimpahan yang rendah dan harga yang cukup mahal.

Pemasangan *Catalytic Converter* pada saluran gas buang yang menggunakan bahan logam katalis Pd, Pt dan Rh dengan penyangga alumina, silica dan keramik, saat ini memerlukan biaya yang cukup mahal dalam pembuatannya, sulit di dapat dan kurang cocok digunakan di Indonesia yang bahan bakarnya masih ada yang mengandung Pb. Jenis *Catalytic Converter* ini dapat mengkonversi emisi gas buang (CO, HC dan NOx) cukup tinggi (80 - 90%). (**Warju.2006**)

Disamping itu beberapa logam yang diketahui efektif sebagai bahan katalis oksida dan reduksi mulai dari yang besar sampai yang kecil adalah Pt, Pd, Ru > Mn, Cu >> Ni > Fe > Cr > Zn dan oksida dari logam-logam tersebut (**Dowden. 1970**).

Disamping itu masih ada logam katalis yang lebih murah, mudah dikerjakan dan mudah didapat untuk dijadikan *catalytic Converter* antara lain : CuO/zeolite alam, Cu-Al₂O₃, Cu, Mn, Mg dan Zeolit Alam, *Catalytic Converter* jenis ini mampu mengurangi emisi gas buang (CO, HC, Nox) cukup tinggi antara 16% sampai 80% (**Dwyer, 1973**).

Salah satu teknologi rekayasa sebagai wujud dari Vehicle Emission Control adalah modifikasi saluran gas buang dengan melakukan pemasangan *Catalytic Converter* pada system pembuangan gas kendaraan bermotor. Peneliti akan melakukan penelitian dengan mengkaji dan melakukan rancang bangun *Catalytic Converter* dengan bahan Katalis Tembaga-Mangan.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun/membuat alat yang berfungsi untuk mereduksi emisi gas buang kendaraan bermotor yang sering disebut dengan *Catalytic Converter* dan ingin mengkaji kemampuan katalis Tembaga Berlapis Mangan

khususnya untuk mengurangi emisi gas buang Hidro Carbon selain gas polutan dominan Carbon Monoksida pada motor bensin

METODOLOGI PENELITIAN

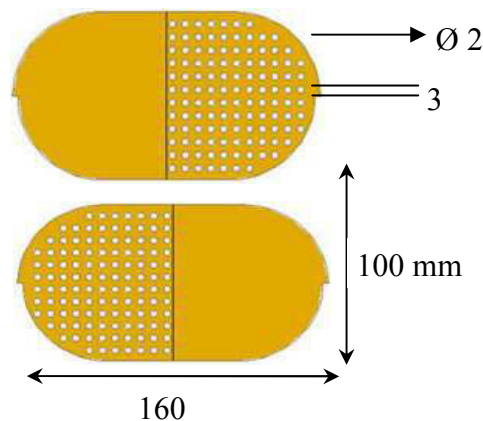
Penelitian ini berdasarkan pemikiran dan tahapan yang disusun secara sistematis. Tahap awal penelitian dilakukan dengan studi pustaka untuk memperdalam bidang yang akan diteliti baik mengenai permasalahan polusi udara dan teknologi pengendalian emisi, khususnya dalam hal rancang bangun *Catalytic Converter*. Studi pustaka pada penelitian terdahulu digunakan sebagai pijakan dan untuk membandingkan hasil penelitian yang nantinya di dapat dengan penelitian terdahulu, sehingga originalitas penelitian tetap terjaga dan tidak terjadi duplikasi penelitian.

Bahan Penelitian

Bahan penelitian ini terdiri dari dua bagian utama yaitu konstruksi bagian dalam dan bagian konstruksi bagian luar *Catalytic Converter*. Konstruksi bagian dalam berupa material substrat dan washcoat yang terbuat dari logam Tembaga sebagai katalisnya, sedangkan bagian luar berupa rumah katalis (*Chasing*) yang terbuat dari *Stainless Steel* dan ditambah support/penopang.

Material Substart

Material substrat bagian dalam terbuat dari Tembaga Berlapis Mangan yang berbentuk plat lembaran berukuran 36 x 120 cm dengan ketebalan 1 mm. Plat kemudian dipotong berbentuk oval sesuai dengan bentuk *Chasing* dan setengah dari luasan diberi lubang 2 mm dengan jarak antar lubang 3 mm.



Gambar 1. Dimensi Katalis



Gambar 2. Material Substrat Tembaga



Gambar 3. Material Substrat Berlapis Mangan

Chasing

Chasing adalah bagian luar dari *Catalytic Converter* yang dipilih sesuai bentuk umum yang sering digunakan terbuat dari plat baja *Stainless Steel*. *Chasing* ini memiliki penutup yang dapat dibuka dan ditutup dengan baut seperti slorokan, saat pergantian variasi jumlah sel kerangka bagian dalam. *Chasing* ini dipasang asbes yang berguna melindungi bagian dalam dengan konstruksi luar, peredam getaran, insulator panas dan menghindari kobocoran dari gas buang. Pada ujung *Chasing* dipasang Flange (penopang) dan diberi packing knalpot, sehingga pada saat pemasangan kondisi *Catalytic Converter* benar – benar rapat dan kencang serta tidak terjadi kebocoran emisi gas buang saat pengujian berlangsung. Konstruksi *Chasing* diperlihatkan pada gambar di halaman berikut :



Gambar 4. *Chasing Catalytic Converter*

Peralatan Pengujian

Sebelum penelitian dan pengambilan data dilakukan oleh peneliti, perlu dipersiapkan alat-alat yang akan digunakan saat penelitian berlangsung terdiri dari :

1. Mesin Uji

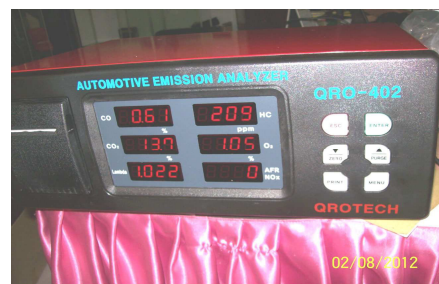
Mesin uji yang digunakan adalah mesin engine Stand Toyota 1500 CC,



Gambar 5. Mesin Uji

2. Gas Analyser

Alat yang digunakan untuk menguji emisi gas buang Carbon Monoksida pada penelitian ini adalah menggunakan Gas Analyzer Qrotech Tipe QRO-402 milik Peneliti yang lebih akurat dari tipe 401 yang umum dipakai di bengkel mobil.



Gambar 6. Qrotech Tipe 402

3. *Thacometer*

Alat ini digunakan untuk mengetahui dan melihat perubahan putaran mesin kendaraan saat peneliti melakukan variasi putaran mesin kendaraan uji.



Gambar 7. Thacometer

Persiapan Kondisi Standart Mesin

Sebelum pengambilan data pengujian dilakukan, terlebih dahulu perlu mempersiapkan kondisi standart, sehingga mesin dalam kondisi siap untuk kerja. Adapun kegiatan yang dilakukan saat pengkondisian mesin adalah sebagai berikut: Pertama kali mengganti minyak pelumas dan memeriksa dari adanya kebocoran-kebocoran yang mungkin terjadi, kemudian melakukan tune up mesin kendaraan uji, melakukan penggantian saringan udara, melakukan pemeriksaan air radiator dan memeriksa system kelistrikan mobil dan accu.

Tahapan Pengambilan Data Pengujian.

Pada tahap pengambilan data, peneliti melakukan kegiatan sebagai berikut antara lain: pemanasan mesin yang bertujuan untuk mempersiapkan mesin supaya siap pada kondisi pengujian. Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut: pertama menghidupkan mesin dan dipanaskan selama 5 menit dalam kondisi stasioner, memeriksa kondisi mesin uji dan memastikan semua berjalan normal dan istrument berfungsi dengan baik.

Selanjutnya setelah pemanasan mesin dilakukan Kalibrasi Gas Analyzer yang bertujuan untuk mendapatkan hasil pengukuran yang akurat. Kalibrasi ini bekerja secara otomatis. Setelah selesai kalibrasi pengujian emisi gas buang siap dilakukan, adapun tahapannya sebagai berikut: Tahap pertama, Pengukuran Tanpa *Catalytic Converter*.

Pengukuran ini memiliki tujuan untuk mengetahui konsentrasi emisi gas buang yang dikeluarkan mesin uji tanpa penambahan alat apapun juga. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali dan setiap data yang didapat dicatat hasilnya untuk dianalisis.

Langkah-langkahnya sebagai berikut: pertama mesin dalam keadaan menyala, putaran idle, colok ukur dimasukkan kedalam mulut knalpot, kemudian injak pedal gas dan baca display rpm motor, kemudian baca display pada alat uji gas analyzer, catat hasil angka pengukuran pada display, ulangi langkah ke dua untuk variasi rpm yang berbeda, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, kembali ke 2500, 2000, 1500, 1000 dan sampai putaran idle kembali dan setiap pengukuran rpm yang berbeda colok ukur ditarik dari lubang knalpot.

Setelah pengukuran tanpa *Catalytic Converter* selesai, dilanjutkan dengan pengukuran dengan *Catalytic* dengan langkah-langkah sebagai berikut: pertama mesin uji dimatikan, kemudian pasang unit *Catalytic Converter* pada sambungan saluran gas buang setelah exhaust manipol, setelah terpasang, mesin dihidupkan kembali untuk melakukan pengukuran tahap pertama dengan jumlah katalis 5 sel, kemudian 10 sel dan 15 sel, pada saat pengantian sel katalis, pastikan tidak terjadi kebocoran gas. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali.

HASIL DAN PEMBAHASAN

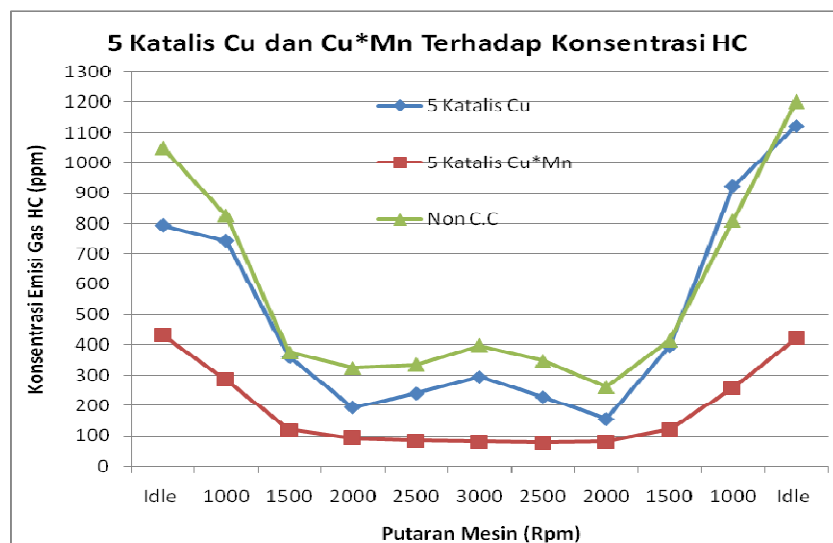
Sebagaimana telah dikemukakan oleh **Dowden** (1970) dan **Obert** (1973) bahwa logam-logam yang diketahui efektif sebagai bahan katalis oksida dan reduksi mulai dari yang besar sampai yang kecil adalah Pt, Pd, Ru > Mn, Cu > Ni > Fe > Cr > Zn dan oksida dari logam-logam tersebut. Merujuk pustaka di atas tersebut, maka peneliti menggunakan modifikasi material Tembaga sebagai bahan katalis pada penelitian awal dan akan dilanjutkan pada penelitian selanjutnya menggunakan Tembaga Berlapis Mangan.

Berdasarkan penelitian **Warju** (2006) pemasangan *Catalytic Converter* pada saluran gas buang yang menggunakan bahan logam katalis Pd, Pt dan Rh dengan penyangga alumina, silica dan keramik, saat ini memerlukan biaya yang cukup mahal dalam pembuatannya, sulit di dapat dan kurang cocok digunakan di Indonesia yang bahan bakarnya masih ada yang mengandung Pb. Penelitian yang dilakukan peneliti dengan modifikasi dan penggunaan material Tembaga sebagai bahan katalis menunjukkan

kemampuan dalam mengurangi emisi gas buang Carbon Monoksida, disamping itu material Tembaga memiliki kelimpahan dan lebih murah pembuatannya. Sehingga dapat dijadikan sebagai alternatif dalam penggantian bahan katalis yang mahal tersebut.

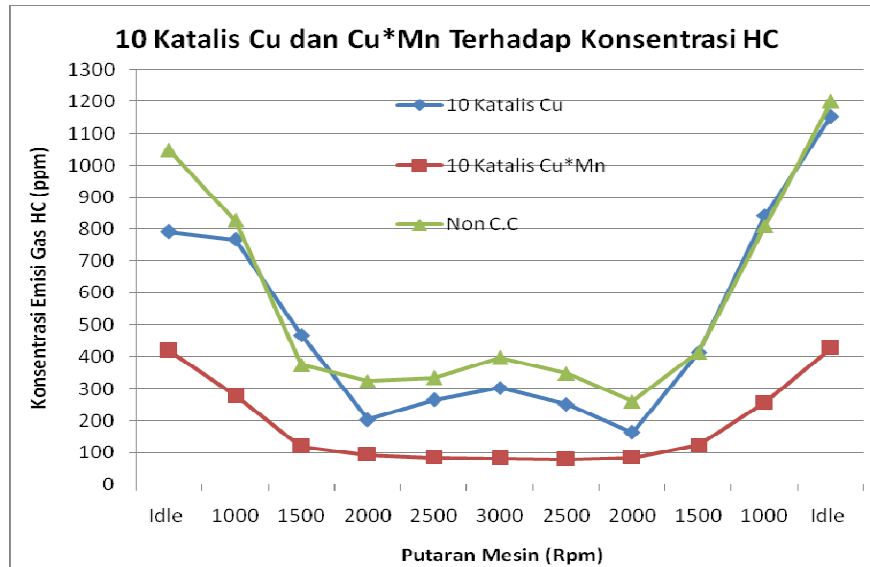
Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan peneliti dan pengujian yang telah dilakukan, hasil pengukuran menunjukkan bahwa penggunaan material substrat Tembaga Berlapis Mangan mampu menurunkan keluaran emisi gas buang Hidro Carbon. Penurunan emisi gas buang Hidro Carbon ini bervariasi sesuai dengan variasi perubahan putaran mesin dan variasi penambahan sel katalis yang dilakukan oleh peneliti.

Dari hasil pengujian emisi gas buang yang telah dilakukan peneliti dengan tanpa *Catalytic Converter* dan menggunakan *Catalytic Converter* Tembaga Berlapis Mangan ditunjukkan dengan metode grafis seperti pada Gambar 8 sampai dengan 10.

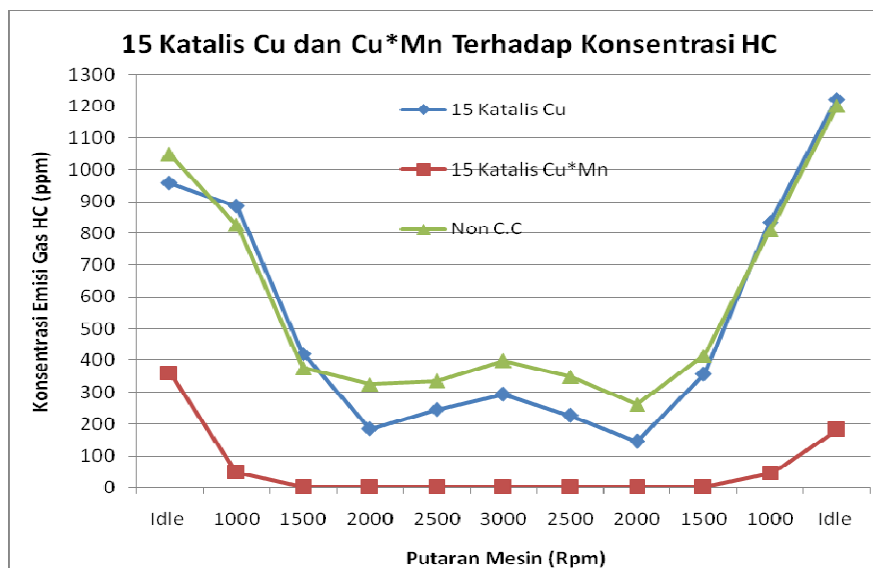


Gambar 8. Grafik Penurunan Emisi HC dengan 5 Sel Katalis

Berdasarkan Gambar 8 sampai dengan 10 dapat dianalisis bahwa pemasangan *Catalytic Converter* dengan bahan katalis Tembaga berlapis Mangan untuk tiap variasi penambahan sel katalis mengalami penurunan emisi gas Buang Carbon Monoksida yang cukup signifikan. Penggunaan *Catalytic Converter* secara langsung dapat menurunkan konsentrasi emisi gas CO dan masih sesuai dengan standart kelayakan baku mutu international standart Euro 3.



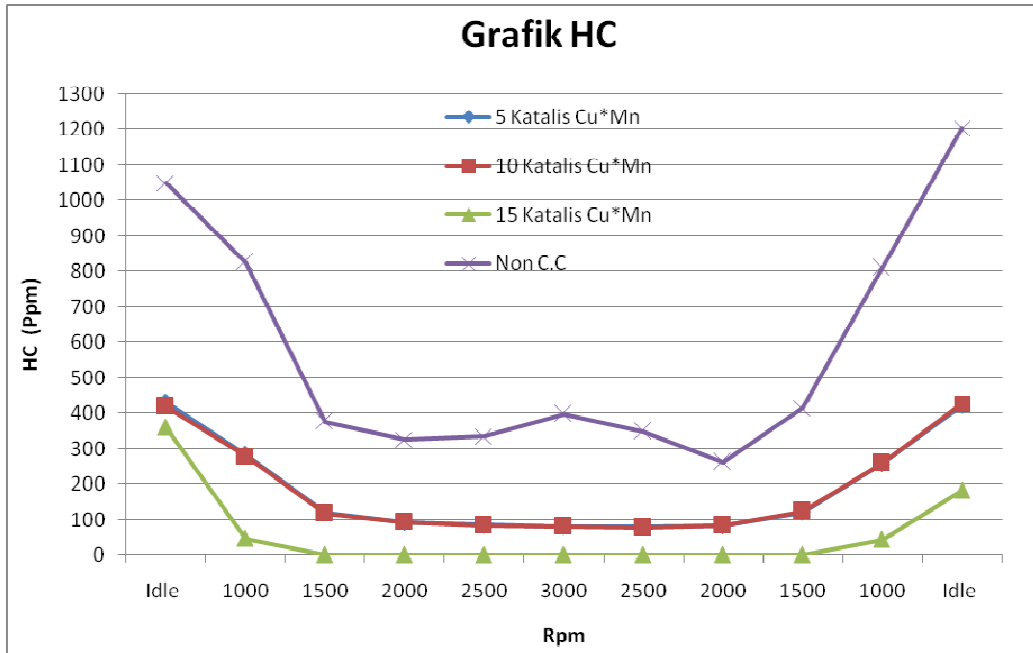
Gambar 9. Grafik Penurunan Emisi HC Dengan 10 Sel Katalis



Gambar 10. Grafik Penurunan Emisi HC Dengan 15 Sel Katalis

Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi emisi gas buang Carbon Monoksida ada kecenderungan semakin meningkat dengan penambahan lapisan/jumlah sel katalis yang dipasang pada *Catalytic Converter*. Penurunan emisi gas buang tersebut tiap variasi perubahan rpm yang berbeda, tampak dalam gambar terjadi fluktuasi. Fluktuasi ini disebabkan adanya perubahan campuran bahan bakar dan udara yang berbeda saat masuk ke dalam ruang bakar. Tren naik-turun merupakan hal yang

wajar, mengingat mesin uji masih menggunakan system karburator (bahan bakar tidak dapat optimal, belum menggunakan sistem bahan bakar injeksi elektronik seperti sistem EFI. Pada system EFI jumlah bahan bakar yang masuk ke ruang bakar dapat optimal untuk tiap variasi putaran rpm. Penyajian dalam bentuk metode grafis lain dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Penurunan Emisi HC Dengan Tembaga Berlapis Mangan

KESIMPULAN.

1. Rancang bangun *Catalytic Converter* dan modifikasi bahan katalis bisa menjadi alternatif untuk mengatasi tingginya polusi udara dari sektor transportasi, yaitu emisi gas buang Hidro Carbon selain gas dominan Carbon Monoksida dari motor bensin.
2. Penggunaan Tembaga Berlapis mangan sebagai bahan katalis pada *Catalytic Converter* mampu menurunkan emisi gas buang Hidro Carbon.
3. Penurunan kadar konsentrasi emisi gas Buang CO tertinggi terjadi pada putaran 3000 rpm sebagai berikut :
 - Pada 5 sel katalis : 397,33 ppm turun menjadi 81,33 ppm (penurunan 79,5 %)
 - Pada 10 sel katalis : 397,33 ppm turun menjadi 80,00 ppm % (penurunan 79,9 %)
 - Pada 15 sel katalis : 307,33 % turun menjadi 0 ppm (penurunan 100 %)

DAFTAR PUSTAKA

- Aris, 2005**, *Penggunaan Cu Murni di Exhaust Muffler dalam Upaya Pengurangan Emisi Gas Buang*, Institut Teknologi Subaraya.
- Arismunandar . 2002**, *Penggerak Mula : Motor bakar*, Edisi 5, Intitut Teknologi Bandung
- Arcadio P. Sincero Sr, Gregoria A. Aincero, 1995**, *Environmental Engineering A Design Approach. A Prentice Hall Company*, New Jersey.
- Aryanto , Razif , 2000**, *Study Penggunaan Tembaga (Cu) Sebagai Catalytic Converter Pada Knalpot Sepeda Motor Dua Tak Terhadap Emisi Gas CO* (jurnal), Teknik Lingkungan, ITS.
- Bachrun, 1993**, *Polusi Udara Perkotaan, Pemantauan dan Pengaturan*, Lab Termodinamika PAU Intitut Teknologi Bandung, Bandung.
- Balenovi. M, 2002**, *Modeling and Model-Based Control of a Three-Way Catalytic Converter*
- Bapedal, 1996**, *Pedoman Teknis Pengendalian Pencemaran Udara*, Semarang.
- Bapedal, 2002**, *Presentasi Data ISPU - Januari 2002 hingga Desember 2002*.
- Bapedal, 2002**, *Sumber dan Standar Kesehatan Emisi Gas Buang*.
- Bappenas, 2009**, *Pengaruh Pertumbuhan Kendaraan Bermotor*, Studi Bappenas
- BPS, 2010**, *Angka Pertumbuhan Kendaraan Bermotor*, Jurnal
- BPS, 2009**, *Semarang Dalam Angka*
- Budhi ; Habibi , 2009**, *Kelakuan Dinamik Catalytik Converter pada Kondisi Hot-Run untuk Oksidasi CO*, Institut Teknologi Subaraya.
- Cooper and Alley, 1994**. *Air Pollution Control, a design approach*.
- Darsono, Valentino, 1995**, *Pengantar Ilmu Lingkungan*, Edisi revisi, Penerbit Universitas Airlangga, Yogyakarta.
- Dirjen Perhubungan Darat, 2000**, *Program Langit Biru dan Konservasi Energi* (Jurnal).
- Dowden , at all, 1970**, *Catalytic Hand Book*, Verlag New York, Inc

- Fitiryana**, 2002, *Uji kemampuan Catalytic Converter Tembaga Nikel (CuNi) untuk Mereduksi Emisi Gas Buang Kendaraan Berbahan Bakar Premium*, Institut Teknologi Subaraya.
- Hakam ; Sungkono**, 2006, *Analisa Pengaruh Penggunaan Logam Tembaga sebagai Katalis pada Saluran Gas Buang Mesin Bensin Empat Langkah terhadap Konsentrasi Polutan CO dan HC*.
- Harsanto**, 2001, *Pencemaran Udara, Pengaruh Serta Cara a Penanggulangannya* (Jurnal)
- Heisler** , 1995, *Advanced Engine Tecnology Hodder Headline Group*, London.
- Intisari**, 1998, *Merenda Birunya Langit Kota* (Jurnal).
- Irawan** , 2003, *Rancang Bangun Catalytic Converter dengan Material Substrat Tembaga (Cu) untuk Mereduksi Emisi Gas CO*, Tesis MIL UNDIP
- Irawan**, 2006, *Pengaruh Catalytic Converter Kuningan Terhadap Keluaran Emisi Gas Carbon Monoksida dan Hidro Carbon Motor Bensin*, Majalah Traksi
- Irawan**, 2007, *Pengaruh Letak Pemasangan Catalytic Converter Terhadap Keluaran Emisi Gas Carbon Monoksida dan Hidro Carbon Motor Bensin*, Majalah Traksi
- Irawan** , 2010, *Modifikasi Catalytic Converter Kuningan Untuk Mereduksi Emisi Gas Carbon Monoksida dan Hidro Carbon Motor Bensin*, Majalah Traksi
- Jenbacher**. 1996, *Combustion Engines I Vol I*
- Jenbacher**. 1996, *Combustion Engines II Vol II*
- Jenbacher**. 1996, *Spark Ignition Engine Design Vol 3*
- J. C. Prince, C. Trevino, and M. Diaz**, 2008, *Modeling a Catalytic Converter for CO and NO Emissions*.
- Krisbayu**, 2001, *Pengaruh injeksi Oksigen pada Catalytic Converter Oksida Tembaga (CuO) terhadap Penurunan CO dan HC Motor Bensin*.
- Mathur** , 1975, *Internal Combustion Engine*. Second Edition. McGraw-Hill Book Company, Inc, New York
- Obert**, 1973, *Internal Combustion Engine and Air Pollution*, Third Edition. Harper & Row, Publisher, Inc, New York
- Onogawa**, 2007, *Environmental Sustainable Transportation (EST)*, Jurnal
- Palguna**, 2010, *Pengendalian Pencemaran Emisi Sumber Bergerak*, KLH

- PCI Report**, 1997. *Study of Fine Atmospheric Particles And Gases in The Jakarta Region*
- Peavy ; D.R. Rowe and G. Tchobanoglous**, 1985, *Environmental Engineering*. Mc. Graw-Hill. Inc, Singapore
- Pelangi**, 1997, *The Study on The Intregated air Quality Management for Jakarta Metropolitan Area* (Jurnal).
- Pelangi**, 1999, *Upaya Mengurangi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor* (Jurnal).
- Pramudya** , 2001, *Melindungi Lingkungan dengan Menerapkan ISO 14001*, Terbitan pertama, PT. Gramedia Indonesia, Jakarta.
- Setyowarno**, 2010, *Peningkatan Jumlah Kendaraan Bermotor di Semarang*, Suara merdeka
- Sitepoe**, 1997, *Usaha Mencegah Pencemaran Udara*, Terbitan pertama, PT Gransindo, Jakarta
- Sitorus, Ronal , dkk**, 2000, *Reparasi dan Perawatan Mobil*. Pionir jaya, Bandung
- Samin And Shen** , 2003, *Effect of Geometric Parameter on The Performance of Automotive Catalytic Converter*.
- Springer - Verlag New York Inc**, 1970, *Catalyst Hanbook. Walfe Scintific Book*, London - England.
- Surdia** , 1985, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Cetakan Pertama, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Swisscontact**, 2003, Clean Air Project, Jakarta.
- Toyota-Astra Motor Service Division**. 1998, *Dasar-Dasar Automobil*. Jakarta.
- Toyota Training Center**, 2000, *Emission Control Step Two*. Jakarta.
- V.A.W Heller**, 1995, *Fundamental Motor Vehicle Technology*, Edisi ke-4, FIMI Stanley Thorne (Publisehers) Ltd.
- Warju**, 2003, *Eksperimen tentang pengaruh Penggunaan Catalytic Converter Kuningan Berlapis Crom Terhadap Emisi Gas Buang Co dan HCpada Mesin Toyota KijangTipe 4K*. Institut Teknologi Surabaya.
- Warju**, 2006, *Pengaruh Penggunaan Catalytic Converter Tembaga berlapis Mangan Terhadap Kadar Polutan Motor Bensin Empat langkah*. Institut Teknologi Surabaya.

- William**, 1985, *Automotive Cooling Exhaust, Fuel and Lubricating Systems. A Prentice Hall Company*, Reston, Virginia.
- Wisnu**, 1999, *Dampak Pencemaran Lingkungan*, Cetakan Kedua, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta
- WHO**, 2000, *Pengaruh Polusi Udara*, Jurnal
- . **Wolf**, 1971, *Carbon Monoxide - Measurement and Monitorong in Urban Air Environment*, Sei and Technol.
- Yusad** , 2003. *Polusi Udara di kota Besar Dunia*. Fakultas Kesehatan Masyarakat USU Medan.

PENULIS:

RM. BAGUS IRAWAN, PURWANTO, HADIYANTO

Program Doktor Ilmu Lingkungan

Program Pascasarjana Universitas Diponegoro

Jl. Imam Barjo SH No. 5 Semarang

E-mail : bagusirawanmail@yahoo.com

p.purwanto@undip.ac.id

hady.hadiyanto@gmail.com