

MODIFIKASI *CATALYTIC CONVERTER* MENGGUNAKAN TEMBAGA BERLAPIS MANGAN UNTUK MEREDUKSI EMISI GAS BUANG MOTOR BENSIN

RM. Bagus Irawan¹, Purwanto², Hadiyanto³

ABSTRAK

Untuk mengurangi polusi udara yang mengandung toksisitas dari mesin pembakar internal digunakan perlengkapan piranti / alat yang disebut *Catalytic Converter*. Alat ini telah digunakan di USA sejak 1975 karena peraturan Environmental Protection Agency (EPA) yang semakin ketat tentang gas buang kendaraan bermotor. Alat ini mengkonversi senyawa-senyawa toksik dalam gas buang menjadi zat-zat yang kurang toksik atau tidak toksik. (Jenbacher, 1996). Namun demikian harga alat tersebut masih sangat mahal di pasaran dan tidak semua kendaraan bermotor menggunakan teknologi tersebut. Hal ini disebabkan oleh pemakaian katalis yang terbuat dari bahan logam mulia yang mahal dan jarang didapatkan dipasaran seperti Paladium, Platinum, dan Rodium. Katalis tersebut sangat rentan terhadap unsur timbal (Pb) dalam bahan bakar yang berakibat dapat merusak fungsi katalis karena akan terjadi penyumbatan pada *honeycomb Catalytic Converter*. *Catalytic Converter* merupakan salah satu alternatif teknologi yang dapat digunakan untuk menurunkan polutan dari emisi kendaraan bermotor, khususnya untuk motor berbahan bakar bensin (Heisler, 1995). *Catalytic converter* berfungsi untuk mempercepat oksidasi emisi Hidrokarbon (HC) dan Carbon Monoksida (CO), serta mereduksi Nitrogen Oksida (NOx). Penelitian ini merupakan bagian dari disertasi penulis yang bertujuan untuk rancang disain dan rancang bangun *Catalytic Converter* serta mengetahui karakteristik bahan Katalis, yang pada akhirnya dapat mengurangi polutan Karbon Monoksida pada emisi gas buang dengan penambahan lapisan Mangan pada Tembaga.

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

PENDAHULUAN

Indonesia menjadi salah satu negara dengan tingkat polusi udara tertinggi ketiga di dunia. Kontribusi emisi gas buang kendaraan bermotor sebagai sumber polusi udara terbesar mencapai 60-70%, dibanding dengan industri yang hanya berkisar antara 10-15%. Sedangkan sisanya berasal dari rumah tangga, pembakaran sampah, kebakaran hutan/ladang dan lain-lain. Hal ini diakibatkan oleh laju pertumbuhan kepemilikan kendaraan bermotor yang tinggi.

¹ Dosen S1 Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang (UNIMUS); 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

Sebagian besar kendaraan bermotor tersebut menghasilkan emisi gas buang yang buruk, baik akibat perawatan yang kurang memadai ataupun dari penggunaan bahan bakar dengan kualitas kurang baik. **(Studi Bappenas, 2009).**

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).**

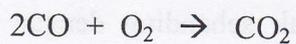
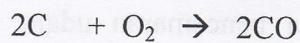
Dari seluruh emisi gas buang yang dikeluarkan dari sumber kendaraan bermotor, persentasi emisi gas buang CO (Carbon Monoksida) cukup signifikan mencapai 60% dan termasuk jenis gas yang sangat berbahaya karena bisa mengakibatkan kematian bagi bagi yang menghirupnya. **(Bachrun, 1993).**

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)**.

Gas carbon Monoksida dihasilkan dari proses pembakaran yang tidak sempurna akibat dari pencampuran bahan bakar dan udara yang terlalu kaya. Boleh dikatakan bahwa terbentuknya CO sangat tergantung dari perbandingan campuran bahan bakar yang masuk dalam ruang bakar. Menurut teori bila terdapat oksigen yang melebihi perbandingan

campuran ideal (teori) campuran menjadi terlalu kurus maka tidak akan terbentuk CO. Tetapi kenyataannya CO juga terjadi dan dihasilkan pada saat kondisi campuran terlalu kurus.

Proses terjadinya CO:



Akan tetapi reaksi ini sangat lambat dan tidak dapat merubah seluruh sisa CO menjadi CO₂. (Swisscontact, 2000). Mengingat bahaya emisi gas buang khususnya Carbon Monoksida tersebut yang bisa menyebabkan kematian bagi manusia yang menghirupnya, maka perlu usaha-usaha untuk mengendalikan dan mengurangi pencemaran udara agar dampak negatif bagi manusia dapat dikurangi dan diminimalkan.

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.

Untuk mengurangi emisi gas buang tersebut sebenarnya dapat dilakukan dengan membatasi jumlah kendaraan bermotor, hal ini merupakan kewenangan dari pemerintah dan sangat sulit terwujud mengingat pajak kendaraan bermotor masih menjadi penyumbang pendapatan negara terbesar saat ini. Pemakaian bahan bakar yang tidak berpolusi atau ramah lingkungan juga merupakan kewenangan dan otoritas dari PERTAMINA sebagai tangan panjang pemerintah, cara inipun masih belum bisa diwujudkan dan saat ini masih dalam bentuk kajian serta membutuhkan investasi yang besar untuk proses produksi bahan bakar yang ramah lingkungan.

Langkah-langkah dan usaha yang dilakukan untuk mengurangi 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) 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) sehingga gas seperti CO dapat teroksidasi menjadi CO₂ (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 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 segaris. 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 derajat Celcius 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 NO_x) cukup tinggi (80 - 90%). (Warju, 2006)

Oleh sebab itu penggunaan logam transisi yang mempunyai kelimpahan yang tinggi dan harga relatif murah dapat menjadi salah satu alternatif. Beberapa oksida logam transisi yang cukup aktif dalam mengoksidasi emisi gas CO antara lain : CuO, NiO dan Cr₂O₃. Beberapa bahan yang diketahui sebagai katalis oksidasi yaitu Platinum, Plutonium, nikel, Mangan, Chromium dan oksidanya dari logam-logam tersebut Sedangkan beberapa logam diketahui sebagai katalis reduksi, yaitu besi, tembaga, nikel paduan dan oksida dari bahan-bahan tersebut. (Obert, 1973).

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).

Penelitian yang dilakukan oleh Dwyer dengan menggunakan skala laboratorium menunjukkan bahwa aktifitas *Catalytic Copper Chromite* yang merupakan campuran antara CuO dengan Cr₂O₃ lebih baik daripada campuran tunggalnya dalam mengoksidasi CO.

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).

Mengingat bahaya emisi gas buang tersebut, maka perlu usaha-usaha untuk mengendalikan dan mengurangi pencemaran udara agar dampak negatif bagi manusia dapat dikurangi dan diminimalkan. 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.

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 merupakan bagian dari Desertasi penulis yang bertujuan untuk merancang bangun/membuat alat/rancang bangun yang berfungsi untuk mereduksi emisi gas buang kendaraan bermotor yang sering disebut dengan *Catalytic Converter* , khususnya untuk

mengurangi emisi gas buang yang menjadi polutan dominan pada motor bensin yaitu Karbon Monoksida dan Hidrokarbon.

METODOLOGI

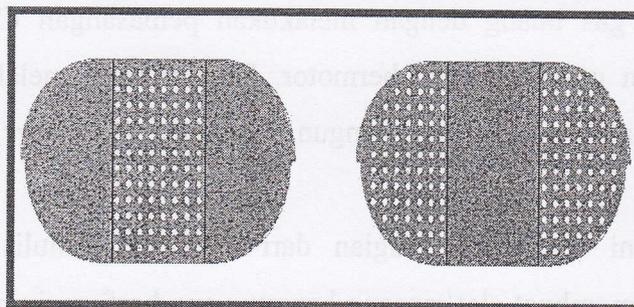
Penelitian ini berdasarkan pemikiran dan tahapan yang disusun secara sistematis. Tahap awal penelitian dilakukan dengan studi pustaka untuk memperdalam bidang yang akan diteliti baik mengenai permasalahan polusi udara dan teknologi pengendalian emisi, khususnya dalam hal rancang bangun *Catalytic Converter*. 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 Stell dan ditambah support/penopang.

Material Substark.

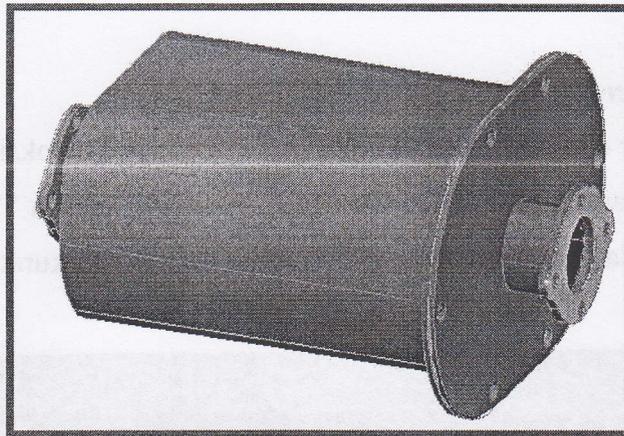
Material substrat untuk konstruksi bagian dalam terbuat dari Tembaga yang berbentuk plat dengan ketebalan 1 mm. Plat tersebut kemudian dipotong dan dibentuk oval disesuaikan dengan bentuk *Chasingnya* dan $\frac{1}{2}$ luasan diberi lubang berdiameter 2 mm, jarak antar lubang 3 mm dan jumlah plat 15 buah. Konstruksi material Substrat diperlihatkan pada Gambar 1.



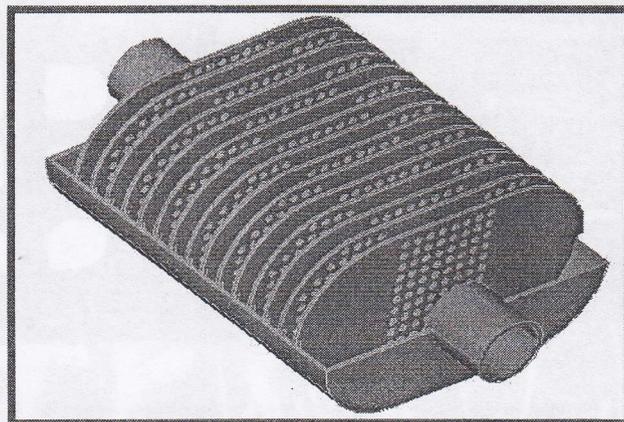
Gambar 1. Material Substrat

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 kebocoran 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 2. Chasing Catalytic Converter



Gambar 3. Bagian Dalam Catalytic Converter

Disain *Catalytic Converter*

Sebelum penelitian dan pengambilan data dilakukan oleh peneliti, peneliti mempersiapkan disain *Catalytic Converter* berupa Gambar dalam formad Auto Cad.

Rancang Bangun

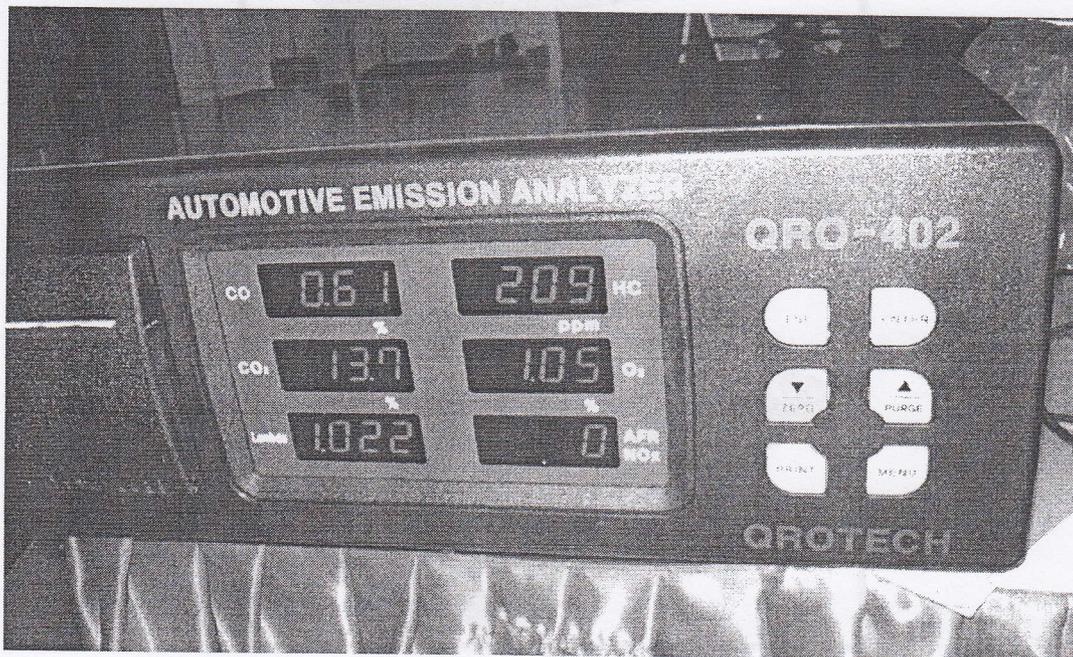
Disain rancang bangun *Catalytic Converter* berupa Gambar dalam formad Auto Cad kemudian di rancang bangun sedemikian rupa menjadi prototype *Catalytic Converter* .

Uji Komposi Bahan Katalis

Untuk mengetahui unsur utama dan komposisi bahan yang dipergunakan sebagai media Katalis dilakukan uji kompisisi bahan.

Penyiapan Gas Analyzer

Untuk mengukur dan menguji emisi gas buang Carbon Monoksida pada penelitian ini peneliti akan menyiapkan dan menggunakan Gas Analyzer Qrotech Tipe QRO-402 buatan Korea generasi terbaru dari seri sebelumnya QRO 401 yang lebih akurat milik peneliti.



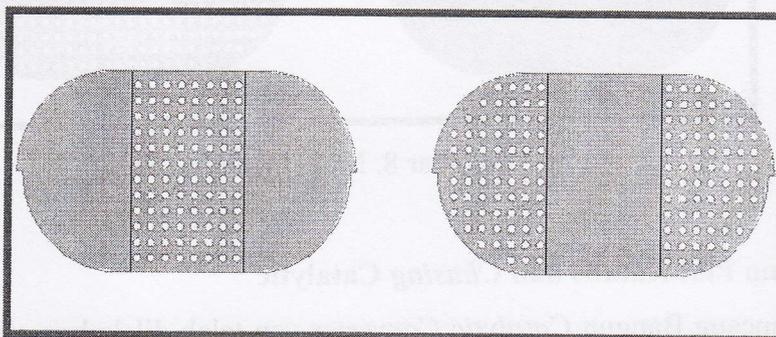
Gambar 4. QROTECH 402

HASIL PENELITIAN

Disain

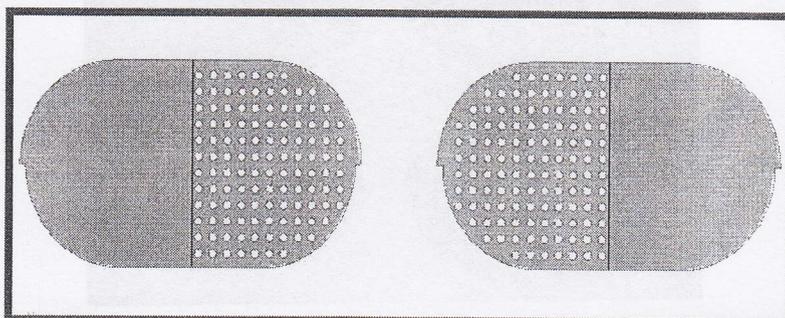
Rancangan disain *Catalytic Converter* yang di buat peneliti ada empat model sebagai berikut ini :

1. Disain Model Ke-satu



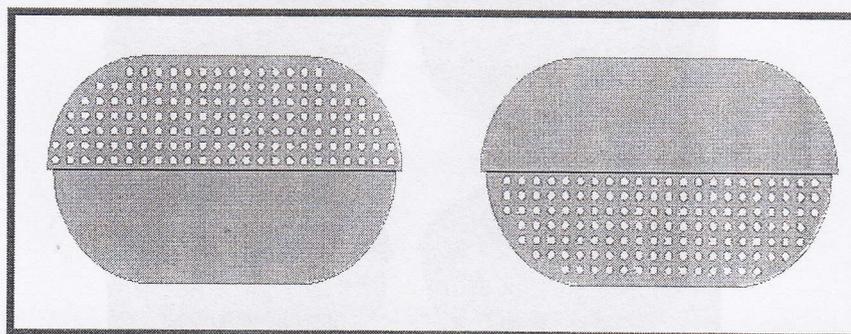
Gambar 5. Model Katalis (Satu)

2. Disain Model Ke-dua



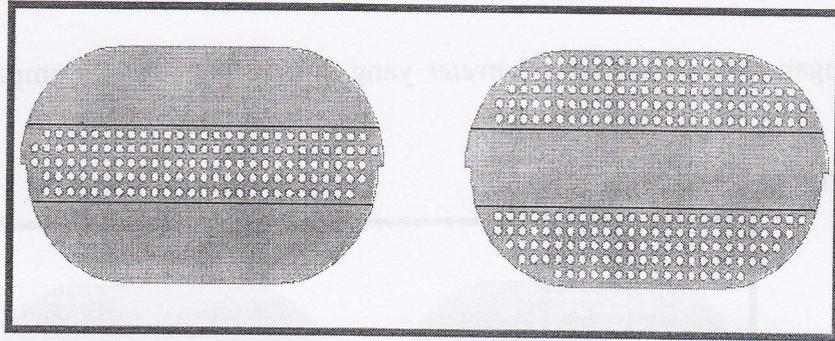
Gambar 6. Model Katalis (Dua)

3. Disain Model Ke-tiga



Gambar 7. Model Katalis (Tiga)

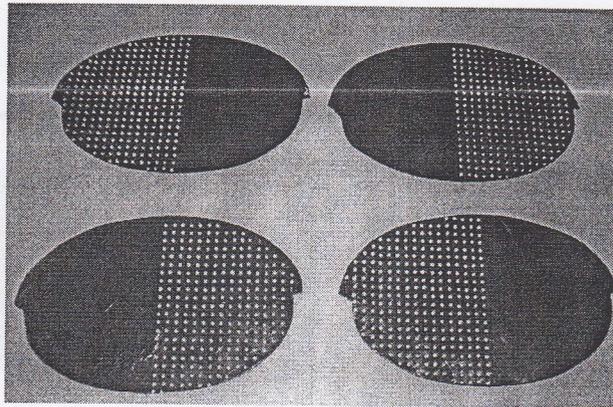
4. Disain Model Ke-empat



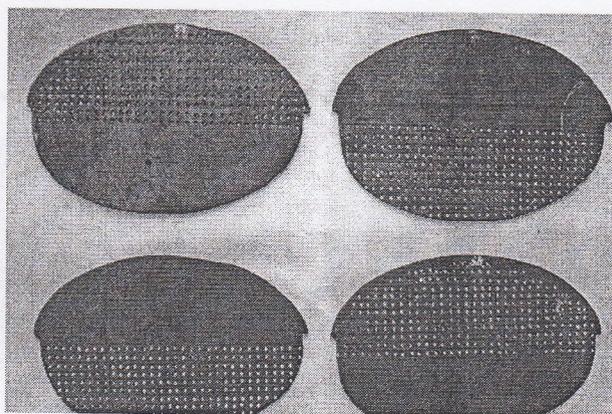
Gambar 8. Model Katalis (Tiga)

Rancang Bangun Plat Katalis dan *Chasing Catalytic*

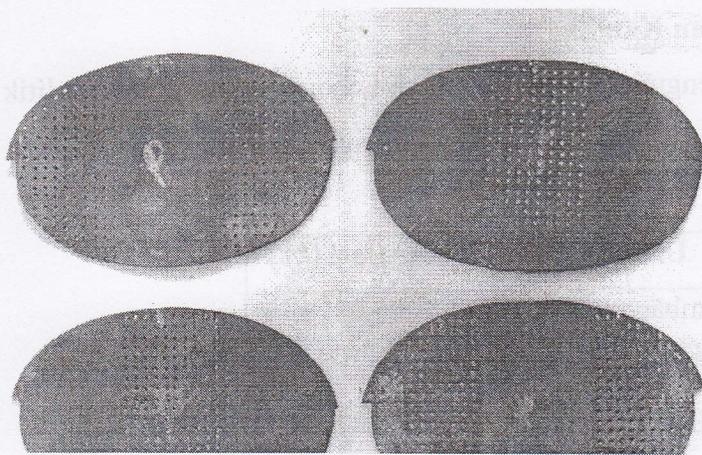
Hasil Rancang Bangun *Catalytic Converter* yan telah dilakukan oleh peneliti sebagai berikut :



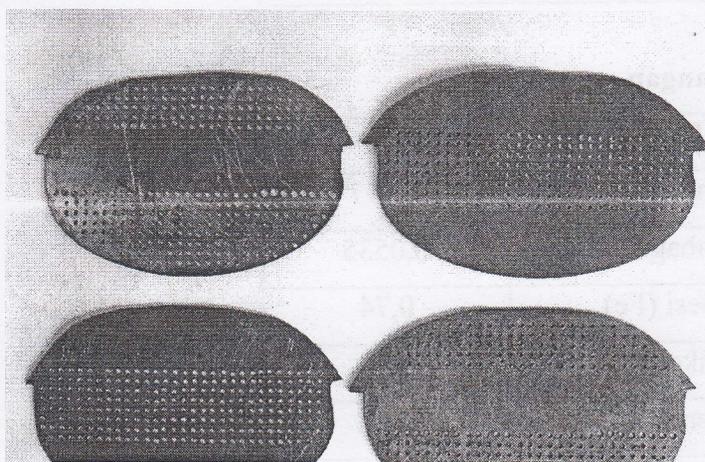
Gambar 9. Plat Katalis Pertama



Gambar 10. Plat Katalis Kedua



Gambar 11. Plat Katalis Ketiga



Gambar 12. Plat Katalis Keempat



Gambar 13. Chasing & Bagian Dalam Catalytic Converter

Uji Komposisi Bahan Katalis

Dari hasil pengujian bahan katalis di Laboratorium Kimia Analitik Jurusan Kimia FMIPA UGM Yogyakarta di peroleh hasil sebagai berikut :

a. Komposisi Tembaga

No	Unsur	Prosentasi (%)
1	Tembaga (Cu)	95,08
2	Krom (Cr)	0,0005
3	Besi (Fe)	0,287
4	Nikel (Ni)	0,02
5	Seng (Zn)	0,03

b. Komposisi Mangan

No	Unsur	Prosentasi (%)
1	Mangan (Mn)	33,97
2	Tembaga (Cu)	0,0535
3	Besi (Fe)	0,74
4	Nikel (Ni)	0,02
5	Seng (Zn)	11,91

KESIMPULAN.

Dari hasil perancangan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Rancang bangun dari disain Gambar format Auto Cad telah menghasilkan *Catalytic Converter* berbagai model bahan katalis yang siap digunakan untuk mengurangi emisi gas buang Carbon Monoksida dari motor bensin.
2. Pengujian komposisi bahan katalis menunjukkan bahwa bahan Katalis yang digunakan memiliki unsur utama yang tinggi yaitu Tembaga 95,08 % dan Mangan 34 %.

DAFTAR PUSTAKA

- Aris M. 2005, *Penggunaan Cu Murni di Exhaust Muffler dalam Upaya Pengurangan Emisi Gas Buang*, Institut Teknologi Subaraya.
- Arismunandar W. 2002, *Penggerak Mula : Motor bakar*, Edisi 5, Intitut Teknologi Bandung.

- Arya, W. Wisnu**, 1999, *Dampak Pencemaran Lingkungan*, Cetakan Kedua, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta.
- Arcadio P. Sincero Sr, Gregoria A. Aincero**, 1995, *Environmental Engineering A Design Approach. A Prentice Hall Company*, New Jersey.
- Aryanto A, Razif M**, 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.
- Budhi Y.G.; Habibi M.** 2009, *Kelakuan Dinamik Catalytik Converter pada Kondisi Hot-Run untuk Oksidasi CO*, Institut Teknologi Subaraya.
- Darsono, Valentino**, 1995, *Pengantar Ilmu Lingkungan*, Edisi revisi, Penerbit Universitas Airlangga, Yogyakarta.
- Dirjen Perhubungan Darat**, 2000, *Program Langit Biru dan Konservasi Energi* (Jurnal).
- Dowden D.A., atall**, 1970, *Catalytic Hand Book*, Verlag New York, Inc
- Fitiryana, A.** 2002, *Uji kemampuan Catalytic Converter Tembaga Nikel (CuNi) untuk Mereduksi Emisi Gas Buang Kendaraan Berbahan Bakar Premium*, Institut Teknologi Subaraya.
- Hakam. M ; Sungkono. J.** 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 Penanggulangannya* (Jurnal)
- HeislerH.**, 1995, *Advanced Engine Tecnology Hodder Headline Group*, London.
- Intisari**, 1998, *Merenda Birunya Langit Kota* (Jurnal).
- Irawan B.** , 2003, *Rancang Bangun Catalytic Converter dengan Material Substrat Tembaga (Cu) untuk Mereduksi Emisi Gas CO*, Tesis MIL UNDIP
- Irawan B.**, 2006, *Pengaruh Catalytic Converter Kuningan Terhadap Keluaran Emisi Gas Carbon Monoksida dan Hidro Carbon Motor Bensin*, Majalah Traksi
- Irawan B.** , 2007, *Pengaruh Letak Pemasangan Catalytic Converter Terhadap Keluaran Emisi Gas Carbon Monoksida dan Hidro Carbon Motor Bensin*, Majalah Traksi

- Irawan B.** ,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. A.** 2001, *Pengaruh injeksi Oksigen pada Catalytic Converter Oksida Tembaga (CuO) terhadap Penurunan CO dan HC Motor Bensin.*
- Mathur, Sharma L.** 1975, *Internal Combustion Engine.* Second Edition. McGraw-Hill Book Company, Inc, New York
- Obert. Erdward F.** , 1973, *Internal Combustion Engine and Air Pollution,* Third Edition. Harper & Row, Publisher, Inc, New York
- Palguna** 2010, *Pengendalian Pencemaran Emisi Sumber Bergerak, KLH*
- Peavy H.S., 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 S.,** 2001, *Melindungi Lingkungan dengan Menerapkan ISO 14001,* Terbitan pertama, PT. Gramedia Indonesia, Jakarta.
- Setyowarno. D.** 2010, *Peningkatan Jumlah Kendaraan Bermotor di Semarang,* Suara merdeka
- Sitepoe, Mangku,** 1997, *Usaha Mencegah Pencemaran Udara,* Terbitan pertama, PT Gransindo, Jakarta
- Sitorus, Ronal H, dkk,** 2000, *Reparasi dan Perawatan Mobil.* Pionir jaya, Bandung
- Samin T. And Shen H.** 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 T,** 1985, *Pengetahuan Bahan Teknik,* Cetakan Pertama, PT Pradnya Paramita, Jakarta.