

Penggunaan Serbuk TiO₂ dan Karbon Aktif Sebagai Campuran Bahan Catalytic Converter Keramik untuk Mengurangi Polutan Berbahaya pada Kendaraan Bermesin Bensin

Use of TiO₂ Powder and Activated Carbon as Catalytic Ceramic Filling Material to Reduce Hazardous Pollutants on Gasoline Engine

Dwi Rahmad Setiyono*, Dwi Widjanarko

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang
Gedung E5 Teknik Mesin, UNNES Sekaran, Gunungpati, Semarang, 50229, Jawa Tengah, Indonesia
*dwirahmad4@gmail.com; dwi2_oto@mail.unnes.ac.id

Terima draft: 24 September 2018; Terima draft revisi: 27 Oktober 2018; Disetujui: 11 November 2018

Abstrak

Polutan dari kendaraan bermotor memberikan dampak yang buruk terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menguji pengaruh komposisi campuran bahan keramik, TiO₂, dan karbon aktif pada *catalytic converter* terhadap emisi gas buang kendaraan CO dan HC. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen. Pengujian dilakukan pada tiga variasi komposisi bahan keramik, TiO₂, dan karbon aktif dengan melakukan kontrol porositas produk, putaran mesin stasioner, dan durasi waktu pengujian. Kemudian data hasil uji dari ketiga variasi komposisi bahan *catalytic converter* yang dibuat tersebut dibandingkan dengan data hasil uji knalpot standar tanpa *catalytic converter*. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan bahan keramik yang dicampur dengan TiO₂ dan karbon aktif pada *catalytic converter* mampu menurunkan kandungan CO dan HC pada kendaraan bermesin bensin. Pengurangan paling baik terdapat pada komposisi bahan keramik 50%, TiO₂ 25%, dan karbon aktif 25%, yaitu mampu menurunkan kandungan CO dari 4,19% menjadi 1,44% (efektifitas pengurangan CO sebesar 65,77%) dan mampu menurunkan kandungan gas HC dari 2128,25 ppm menjadi 490 ppm (efektifitas pengurangan HC sebesar 76,98%), dengan biaya pembuatan Rp 315.000,00 per unit. Saran dari penelitian ini adalah, kendaraan bermesin bensin dapat menggunakan *catalytic converter* berbahan Keramik dengan campuran TiO₂, dan karbon aktif dengan komposisi bahan keramik sebanyak 50%, TiO₂ 25%, dan karbon aktif 25%.

Kata kunci: *Catalytic Converter*, Keramik, Polutan Berbahaya, Kendaraan Bermesin Bensin

Abstract

Pollutants from motorized vehicles have a bad impact on human health and the environment. This study aims to examine the effect of the composition of a mixture of ceramic material, TiO₂, and activated carbon on the catalytic converter on vehicle exhaust emissions of CO and HC vehicles. This research was conducted using the experimental method. Tests were carried out on three variations of ceramic material composition, TiO₂, and activated carbon by controlling product porosity, stationary engine speed, and duration of testing time. Then the test results data from the three variations of the composition of the catalytic converter material made compared to the standard exhaust test data without catalytic converter. The results showed that the use of ceramic materials mixed with TiO₂ and activated carbon in catalytic converters could reduce the CO and HC content in gasoline-powered vehicles. The best reduction is found in the composition of 50% ceramic material, 25% TiO₂, and 25% activated carbon. Which is able to reduce CO content from 4.19% to 1.44% (CO reduction effectiveness is 65.77%) and can reduce the content HC gas from 2128.25 ppm to 490 ppm (HC reduction effectiveness is 76.98%), with the cost of making Rp. 315,000.00 per unit. Suggestions from this study are, gasoline-powered vehicles can use catalytic converters made from Ceramic with a mixture of TiO₂, and activated carbon with a composition of 50% ceramic material, 25% TiO₂, and 25% activated carbon.

Keywords: Catalytic Converter, Ceramics, Hazardous Pollutants, Gasoline Engine

1. Pendahuluan

Peningkatan jumlah kendaraan bermotor dapat berakibat pada peningkatan polutan yang dapat berdampak berbahaya terhadap

kesehatan manusia serta lingkungan. Emisi gas buang kendaraan bermotor dapat meningkatkan resiko terjangkit brinkitis kronis, *hormonal hyperactivity*, dermatitis, anemia, alergi, dan tumor pada manusia.

Selain itu gas buang kendaraan juga dapat menimbulkan hujan asam, efek rumah kaca, serta merusak lapisan ozon. Sehingga permasalahan gas buang kendaraan bermotor ini membutuhkan penanganan yang serius (Hajderi dan Bozo, 2014).

Gas buang kendaraan mengandung polutan berupa senyawa hidrokarbon yang dapat mencemari kualitas udara, terdistribusi dalam fasa gas, fasa cair maupun fasa padat (Indrawan dkk., 2014). Semakin tinggi jumlah atom karbon sebagai unsur penyusun senyawa hidrokarbon, maka senyawa hidrokarbon tersebut akan cenderung membentuk fasa padat. Sebaliknya semakin rendah jumlah atom karbon sebagai unsur penyusun suatu senyawa hidrokarbon, maka senyawa hidrokarbon tersebut akan cenderung membentuk fasa cair maupun gas. Senyawa hidrokarbon dalam emisi gas buang kendaraan bermotor merupakan akibat dari terjadinya proses pembakaran yang tidak sempurna. Pada saat bahan bakar dipanaskan pada temperatur tinggi akan teroksidasi dengan cepat, tetapi hasil pembakaran tidak sempurna dan ada bagian bahan bakar yang tidak terbakar. Disamping itu hasil penguapan akan menyebar di atmosfer dalam bentuk gas hidrokarbon.

Salah satu senyawa hidrokarbon dari emisi kendaraan bermotor adalah karbon monoksida (CO). CO adalah Gas yang tak berwarna, tak berbau, dan tak berasa (Putro dan Abadi, 2012). Gas ini terdiri dari satu atom karbon yang secara kovalen berikatan dengan satu atom oksigen. Dalam ikatan ini, terdapat dua ikatan kovalen dan satu ikatan kovalen koordinasi antara atom karbon dan oksigen. Perbandingan bahan bakar dan udara sangat berpengaruh terhadap proses pembakaran. Perbandingan yang tidak ideal misalnya campurannya merupakan campuran yang terlalu kaya akan menyebabkan bahan bakar tidak terbakar habis karena jumlah oksigen tidak cukup untuk proses pembakaran bahan bakar tersebut. Sehingga hal ini dapat meningkatkan kadar CO pada gas buang. Karbon pada CO diketahui dapat mempengaruhi kerja jantung (sistem kardiovaskuler), sistem syaraf pusat, janin, dan semua organ tubuh yang peka terhadap kekurangan oksigen. Pengaruh CO terhadap sistem kardiovaskuler cukup nyata teramati walaupun dalam kadar rendah. Penderita penyakit jantung dan penyakit paru-paru merupakan kelompok yang paling peka terhadap paparan karbon CO. Keracunan gas CO timbul sebagai akibat terbentuknya karboksihemoglobin (COHb) dalam darah. Afinitas CO yang lebih besar dibanding

dengan oksigen terhadap Hb menyebabkan fungsi Hb untuk membawa oksigen ke seluruh tubuh menjadi terganggu (Ismiyati dkk., 2014).

Berbagai usaha telah dilakukan untuk mengurangi dampak dan kandungan polutan dari emisi gas buang kendaraan bermotor ini, diantaranya dengan penggunaan *catalytic converter* dengan katalis titanium (TiO_2). TiO_2 merupakan katalis yang tepat untuk digunakan sebagai bahan *catalytic converter* kendaraan karena mempunyai keuntungan diantaranya tidak bersifat beracun, selalu stabil, mampu bekerja pada suhu ruangan, dan ekonomis. Karbon aktif memiliki luas permukaan berkisar antara 300-3500 m^2/g . Luas permukaan ini berhubungan dengan struktur pori internal yang menyebabkan arang aktif mempunyai sifat sebagai adsorben (Khuluk, 2016). Akan tetapi, kekuatan dan ketahanan panas dari karbon aktif tidak sebaik keramik. Perpaduan antara keramik dengan karbon aktif akan membuat *catalytic converter* memiliki kekuatan, ketahanan panas, dan daya serap terhadap gas-gas polutan kendaraan semakin baik. Akan tetapi penggunaan bahan TiO_2 , dan karbon aktif yang dipadukan dengan keramik ini belum banyak digunakan sebagai bahan *catalytic converter*.

Penelitian ini dilakukan untuk menguji pengaruh komposisi campuran antara keramik, TiO_2 , dan karbon aktif pada *catalytic converter* yang dibuat terhadap pengurangan emisi gas buang CO dan HC pada kendaraan. Tujuan penelitian yang kedua adalah untuk menguji komposisi campuran antara keramik, TiO_2 , dan karbon aktif pada *catalytic converter* yang menghasilkan emisi gas buang CO dan HC paling rendah. TiO_2 merupakan katalis yang tepat untuk digunakan sebagai bahan *catalytic converter* kendaraan karena mempunyai keuntungan diantaranya tidak bersifat beracun, selalu stabil, mampu bekerja pada suhu ruangan, dan ekonomis. Pemilihan logam titanium didasarkan pada sifatnya yang dikenal sebagai material tidak beracun (*non toxic*), memiliki stabilitas termal tinggi dan memiliki kemampuan untuk dipergunakan berulang kali tanpa kehilangan keaktifan. Keunggulan sifat yang dimiliki TiO_2 ini menjadikannya memiliki aplikasi yang sangat luas untuk berbagai macam keterbutuhan. Performa TiO_2 tergantung pada metode sintesis yang berpengaruh terhadap ukuran partikel, kristalinitas, kemurnian, dan komposisi fasa (*anatase, brookite, dan rutil*) (Rahman dkk., 2014). Bahan ini dapat digunakan sebagai katalis pada *catalytic converter*.

Karbon aktif adalah benda padat berpori yang mengandung 85-95% unsur karbon yang dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Karbon aktif adalah suatu bahan padat, memiliki pori-pori, terbentuk dari hasil pembakaran bahan yang mengandung unsur karbon melalui proses pirolisis. Sebagian dari pori-porinya masih tertutup hidrokarbon, tar, dan senyawa organik lain. Komponennya terdiri dari karbon terikat (*fixed carbon*), nitrogen, abu, air, dan sulfur. Pori-pori yang besar pada karbon aktif membuat daya serapnya tinggi dan mampu digunakan sebagai adsorben gas berbahaya kendaraan. Karbon aktif memiliki luas permukaan yang besar. Penelitian yang dilakukan oleh Kusdarini dkk. (2017) menghasilkan karbon aktif batubara dengan luas permukaan hingga 86.213 m²/g dan volume pori 0.0733 cc/g. Luas permukaan ini berhubungan dengan struktur pori internal yang menyebabkan arang aktif mempunyai sifat sebagai adsorben.

Keramik adalah bahan anorganik, material non logam yang terbuat dari campuran antara logam dan non logam. Campuran tersebut kemudian menjadi kristal keramik utuh atau bagian-bagian saja. Kristal dibuat menjadi berbagai bentuk yang diinginkan melalui salah satu dari dua metode berikut: (1) reaksi kimia antar zat yang menghasilkan produk berupa bahan keramik, dan (2) pepadatan kemudian memanaskan partikel-partikel keramik. Keramik non kristal dibentuk secara khas dari material cair atau kental (Chung, 2017). Keramik memiliki karakter kuat dan mampu menyerap gas berbahaya pada kendaraan, meskipun tidak sebaik karbon aktif karena pori-porinya lebih kecil.

Penelitian sebelumnya telah dilakukan menggunakan TiO₂ yang disisipkan ke karbon aktif untuk mengurangi kandungan CO dan NO₂ pada emisi gas buang kendaraan dengan memvariasikan panjang penampang. Konverter yang dihasilkan mampu mengurangi kandungan CO paling baik hingga 82,785% pada konsentrasi TiO₂ 15%, dan memiliki masa jenuh 42,88 jam. Kelemahan dari penggunaan bahan karbon aktif dan TiO₂ saja adalah berpengaruh pada kekuatan dan masa pakai dari filter gas buang kendaraan tersebut (Basuki, 2007).

Penelitian yang relevan juga dilakukan oleh Wicaksana (2016) dengan membuat filter gas buang berbahan karbon aktif diperoleh hasil kadar CO terendah pada volume silindris 482,4 m³ dengan rata-rata 2,15967 %, dan kadar HC terendah pada volume silindris

karbon aktif 482,4 cm³ dengan rata-rata 719,333 ppm. Karbon aktif meskipun memiliki daya adsorpsi tinggi tetapi tingkat kerapuhannya tinggi dan memiliki masa jenuh. Sehingga dibutuhkan bahan pengikat yang kuat seperti keramik.

Penelitian yang dilakukan ini untuk mengetahui pengaruh penggunaan serbuk TiO₂ dan karbon aktif sebagai campuran bahan *catalytic converter* keramik terhadap polutan CO dan HC pada kendaraan. TiO₂ berperan sebagai katalis reaksi redoks yang akan mempercepat proses perubahan gas yang beracun menjadi gas yang tidak beracun. Bahan karbon aktif berfungsi sebagai adsorben yang dapat mengurangi kandungan gas beracun CO dan HC yang dihasilkan kendaraan. Kemudian keramik berfungsi sebagai bahan inti yang menjamin kekuatan dan ketahanan dari *catalytic converter* tersebut sehingga tidak mudah rusak bekerja pada tekanan dan temperatur yang tinggi. Perpaduan dari ketiga bahan tersebut sebagai bahan *catalytic converter* belum pernah diteliti performanya dalam mengurangi kandungan CO dan HC. Sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan bahan-bahan tersebut untuk mengurangi kandungan CO dan HC pada kendaraan bermesin bensin.

2. Metodologi

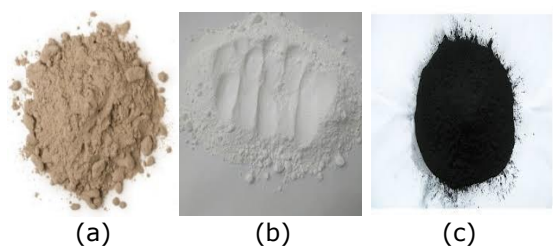
2.1. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian diantaranya adalah *Engine* (mobil), *Clay*, TiO₂, karbon aktif, dan *catalytic converter* yang dibuat. Bahan-bahan ini memiliki spesifikasi yang sesuai dengan standar berdasarkan studi observasi di lapangan maupun studi literasi. Berikut penjelasan mengenai bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini.

Engine yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan mesin Toyota tipe 5 K, tahun 1997, volume silinder 1456 cc, empat silinder, berbahan bakar bensin, dengan sistem pengkabutan karburator, sistem pengapian platina.

Bahan *Clay* diperoleh dari pengrajin keramik di Desa Balong, Kecamatan Jepon, Kabupaten Blora, Jawa Tengah. *Clay* dalam penelitian ini digunakan sebagai bahan dasar pembuatan keramik yang berfungsi sebagai adsorben dari hasil pembakaran gas buang kendaraan. *Clay* adalah bahan dasar keramik gerabah yang digunakan dalam penelitian ini. Titanium Dioksida (TiO₂) diperoleh dari Toko

Kimia Indrasari Semarang. Titanium Dioksida (TiO_2) yang didapat sudah berbentuk serbuk halus sehingga tidak perlu dilakukan penggilingan kembali, fungsi dari Titanium Dioksida (TiO_2) sebagai katalis. TiO_2 yang digunakan adalah TiO_2 jenis *Rutile*, ukuran serbuk 45 mesh. Karbon aktif diperoleh dari Toko Kimia Indrasari, Semarang. Karbon aktif yang didapat sudah berbentuk serbuk kasar, karbon aktif berfungsi sebagai adsorber gas-gas berbahaya. Karbon aktif yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis karbon aktif batu bara. Ketiga bahan dasar tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. (a) Clay, (b) TiO_2 , (c) karbon aktif

Sedangkan alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Gass Analyzer*, yaitu alat yang berfungsi sebagai pendeteksi kandungan gas hasil buang pembakaran kendaraan bermotor. Gas yang dideteksi seperti CO , CO_2 , HC , dan NO_x . Bentuk *gass Analyzer* adalah seperti pada Gambar 2., spesifikasi *gass analyzer* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Automotive Emission Analyzer* yang dapat mengukur CO , HC , CO_2 , O_2 Lambda, AFR, NO_x dengan rentang pengukuran $\text{CO} = 0,00-9,99\%$, $\text{HC} = 0-9999$ ppm, $\text{CO}_2 = 0,0-20,0\%$, $\text{O}_2 = 0,0-25\%$, lamda = $0,000-2,000$, dan AFR = $0,0-99,0\%$.

Dibutuhkan kalibrasi Instrumen yang digunakan untuk pengujian ini yakni *Automotive Emission Analyzer*. Sebelum proses kalibrasi instrumen yang dilakukan adalah menyiapkan *engine stand* yang akan digunakan untuk pengujian dengan melakukan *tune up* pada mesin supaya kondisi mesin dalam keadaan prima terlebih dahulu. Kemudian dilakukan kalibrasi instrumen berdasarkan prosedur *Automotive Emission Analyzer HG-520 Operating Manual*. Proses kalibrasi instrumen *Gass Analyzer* adalah sebagai berikut, 1) Memasang Kabel catu daya ke sumber arus. 2) Menekan tombol power pada *Automotive Emission Analyzer*. 3) Memasang kabel catu daya ke sumber arus. 4) Menunggu proses *loading* selama dua menit sampai kondisi alat *stand by*. 5) Masukkan *probe* ke lubang knalpot. 6) Menekan tombol "MEAS". 7) Pengukuran awal

dimulai. 8) Mengeluarkan *probe* dari lubang knalpot. 9) Menekan tombol "zero". 10) Menunggu setengah menit maka alat akan *stand by*. 11) Alat siap digunakan.

2.2. Waktu dan Tempat Pengujian

Pengujian emisi gas buang dilakukan pada hari Senin-selasa, 30-31 Juli 2018 mulai di laboratorium TUK otomotif BP DIKJUR Semarang yang beralamat di Jalan Brotojoyo 1 Semarang Utara, Kota Semarang, Jawa Tengah 50171. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat uji *Gass Analyzer*, tipe *Automotive Emission Analyze*.

2.3. Variabel Penelitian

Variabel bebas dari penelitian ini adalah penggunaan bahan keramik dengan campuran serbuk TiO_2 , dan karbon aktif. Komposisi campuran bahan yang telah ditentukan ada tiga variasi komposisi. Pertama adalah komposisi B, yaitu bahan keramik 70%, TiO_2 15%, dan karbon aktif 15%. Kedua adalah komposisi C, yaitu bahan keramik 60%, TiO_2 20%, dan karbon aktif 20%. Ketiga adalah komposisi D, yaitu bahan keramik 50%, TiO_2 25%, dan karbon aktif 25%. Penentuan komposisi ini didasarkan pada penelitian Amin dan Subri (2016) yang sebelumnya memadukan bahan dominan keramik dan serbuk kayu dengan beberapa bahan aditif. Sementara itu komposisi A adalah knalpot standar tanpa *catalytic converter* yang nantinya digunakan sebagai pembandingan. Kemudian variabel kontrol dari penelitian ini adalah meliputi kontrol porositas produk (dengan pengondisian tekanan cetak, masa, volume takaran bahan disamakan pada setiap variasi komposisi), putaran mesin stasioner, dan kontrol durasi waktu pengujian selama 90 detik pada satu kali pengambilan data. Sedangkan variabel terikat yaitu kandungan emisi gas buang CO dan HC .

2.4. Desain Penelitian

Adapun desain penelitian dapat dijelaskan seperti berikut ini:

$(O_1 O_2 O_3 O_4) \times (O_5 O_6 O_7 O_8)$, $(O_9 O_{10} O_{11} O_{12})$, $(O_{13} O_{14} O_{15} O_{16})$

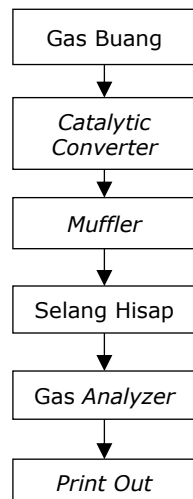
Keterangan:

$(O_1 O_2 O_3 O_4) =$ pengujian dan pengukuran emisi gas buang sebelum diberikan perlakuan yakni menggunakan knalpot standar (komposisi A).

$(O_5 O_6 O_7 O_8) =$ pengujian dan pengukuran emisi gas buang kendaraan setelah diberikan perlakuan dengan menggunakan *catalytic converter*

- komposisi keramik 70%, TiO₂ 15%, Karbon aktif 15% (Komposisi B).
- (O₉ O₁₀ O₁₁ O₁₂) = pengujian dan pengukuran emisi gas buang kendaraan setelah diberikan perlakuan dengan menggunakan *catalytic converter* komposisi keramik 60%, TiO₂ 20%, Karbon aktif 20% (Komposisi C).
- (O₁₃ O₁₄ O₁₅ O₁₆) = pengujian dan pengukuran emisi gas buang kendaraan setelah diberikan perlakuan dengan menggunakan *catalytic converter* komposisi keramik 50%, TiO₂ 25%, Karbon aktif 25% (komposisi D).
- X = perlakuan yakni penggunaan produk *catalytic converter* yang dirancang.

Kemudian alur pengujian hingga diperoleh data terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema alur pengujian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Produk *Catalytic Converter*

Catalytic converter yang dihasilkan dalam penelitian ini yaitu *catalytic converter* dengan bahan keramik dengan campuran TiO₂ dan karbon aktif. Inti *catalytic converter* terdapat lubang-lubang kecil dengan diameter 10 mm, panjang 300 mm, dan berjumlah 9 lubang. Jumlah ini diperhitungkan berdasarkan luas pipa knalpot standar yaitu berdiameter 40 mm. Pembuatan *catalytic converter* menggunakan komposisi takaran masa dan volume dari setiap model *catalytic converter* yang diuji. Hal ini bertujuan untuk memperoleh porositas yang relatif sama antara model yang satu dengan model yang lain. Penakaran bahan antara keramik, TiO₂, dan karbon aktif dilakukan pada kondisi kering sehingga keseimbangan komposisi

dapat terkontrol dengan baik. Berat bersih campuran antara karbon aktif, TiO₂, dan karbon aktif pada setiap model adalah adalah 7,40 kg (dalam kondisi kering). Kemudian bahan yang sudah ditakar di campur secara merata dan sempurna menggunakan media air dan dilakukan pengendapan selama 3 hari. Tampilan *catalytic converter* yang dibuat dapat dilihat seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Bentuk *Catalytic Converter* yang Dibuat

3.2. Hasil Pengujian *Catalytic Converter* yang Dibuat

Hasil pengujian yang dilakukan dengan menggunakan alat uji *Automotive Emission Analyzer* dilakukan sebanyak empat kali pengambilan data dari masing-masing model dengan jeda waktu satu menit sesuai dengan prosedur yang ada. Pengujian yang pertama dilakukan pengujian pada knalpot standar bawaan mesin (Komposisi A). Hasil yang diperoleh dari pengujian menunjukkan data seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengujian Emisi pada Komposisi A

Pengujian	CO (%)	HC (ppm)
Ke-1	4,21	1919
Ke-2	4,08	2114
Ke-3	4,29	1748
Ke-4	4,19	2732
Rata-rata	4,1925	2128,25

Rata-rata dari empat kali pengambilan data pada komposisi A ini menghasilkan CO 4,1925% dan HC sebanyak 2128,25 ppm. Hasil uji dari knalpot standar tanpa *catalytic converter* ini digunakan untuk pembandingan terhadap *catalytic converter* yang dibuat.

Pengujian kedua dilakukan pada knalpot dengan komposisi bahan keramik 70%, TiO₂ 15%, dan karbon aktif 15% (Komposisi B). Hasil pengujian pada komposisi B ini menunjukkan adanya penurunan kandungan CO dan HC jika dibandingkan dengan komposisi A. Kandungan CO menurun dari 4,1925% menjadi 2,105%, dan kandungan HC menurun dari 2128,25 ppm menjadi 1373,25 ppm. Ini menunjukkan adanya pengaruh penggunaan *catalytic converter* berbahan keramik dengan campuran TiO₂ dan karbon aktif terhadap penurunan kandungan

polutan CO dan HC. Hasil pengujian dapat dilihat secara lebih jelas pada Tabel 2.

Tabel 2. Knalpot dengan *catalytic converter* Komposisi B

Pengujian	CO (%)	HC (ppm)
Ke-1	2,89	708
Ke-2	1,77	1226
Ke-3	1,75	1784
Ke-4	2,01	1775
Rata-rata	2,105	1373,25

Pengujian ketiga dilakukan pada knalpot dengan komposisi bahan keramik 60%, TiO₂ 20%, dan karbon aktif 20% (Komposisi C). Hasil pengujian pada komposisi C ini menunjukkan performa penurunan CO dan HC yang lebih baik jika dibandingkan dengan komposisi B. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan komposisi TiO₂ dan karbon aktif pada bahan *catalytic converter* mampu meningkatkan pengurangan kandungan CO dan HC yang dihasilkan oleh kendaraan. Hasil pengujian secara lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Knalpot dengan *catalytic converter* komposisi C

pengujian	CO (%)	HC(ppm)
Ke-1	2,45	246
Ke-2	1,94	1390
Ke-3	1,9	787
Ke-4	2,06	610
Rata-rata	2,0875	758,25

Pengujian keempat dilakukan pada knalpot dengan komposisi bahan keramik 50%, TiO₂ 25%, dan karbon aktif 25% (komposisi D). Hasil pengujian menunjukkan performa pengurangan CO dan HC paling baik diantara komposisi yang lain. Hasil pengujian secara lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 4.

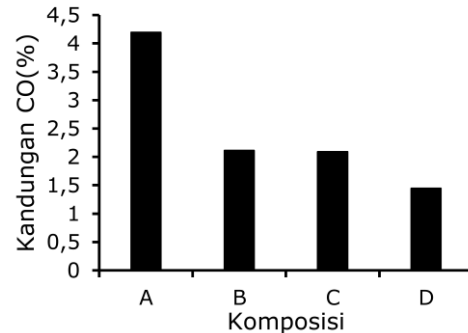
Tabel 4. Knalpot dengan *catalytic converter* komposisi D

pengujian	CO (%)	HC(ppm)
ke-1	1,71	722
ke-2	1,89	346
ke-3	0,16	305
ke-4	1,98	587
Rata-rata	1,435	490

3.3. Pengurangan Kandungan Gas CO

Hasil pengujian menunjukkan bahwa komposisi bahan yang terbaik dari *catalytic converter* yang dibuat dalam mengurangi kandungan gas berbahaya CO adalah pada komposisi D. Sedangkan komposisi dengan hasil pengujian terburuk adalah pada komposisi A. Ini menunjukkan bahwa

semakin banyak kandungan karbon aktif dan TiO₂ pada *catalytic converter* akan membuat pengurangan polutan CO semakin baik. Hasil pengujian mengenai pengaruh komposisi bahan *catalytic converter* yang dibuat terhadap kandungan polutan CO secara lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik pengaruh komposisi bahan *catalytic converter* yang dibuat terhadap kandungan polutan CO.

Gambar 4. menunjukkan bahwa penggunaan *catalytic converter* yang dibuat mampu menurunkan kandungan gas CO. Kandungan CO dari hasil uji pada komposisi A yakni knalpot standar tanpa *catalytic converter* menunjukkan jumlah paling tinggi, kemudian dapat diturunkan dengan pemasangan *catalytic converter* yang dibuat. Hal ini sesuai dengan teori yang dijabarkan oleh Kaspar dkk. (2002), reaksi oksidasi CO menjadi CO₂ terjadi pada gas buang kendaraan yang di pasang *catalytic converter* pada saluran buangnya. Hal ini terjadi karena katalis pada *catalytic converter* membuat proses reaksi oksidasi gas CO menjadi CO₂ berlangsung lebih cepat. Reaksinya adalah sebagai berikut,



Kemudian Guritno (2012) menjelaskan teori ketika gas CO dan O₂ yang terkandung dalam gas buang mengalir melalui penampang katalis TiO₂ maka CO secara terikat akan teradsorpsi pada penampang katalis TiO₂, pada waktu yang bersamaan O₂ menempel pada penampang katalis TiO₂ dalam bentuk unsur penyusunnya. Kemudian CO akan bereaksi dengan unsur penyusun O₂ hingga terbentuklah CO₂. Selain itu, kandungan CO pada gas buang dapat dikurangi karena ada *Water-Gass Reaction* (WGSR). Kaspar dkk., (2002) menjelaskan reaksi ini terjadi antara CO dan H₂O membentuk CO₂ dan H₂ pada gas buang kendaraan yang dipasang *catalytic converter*.

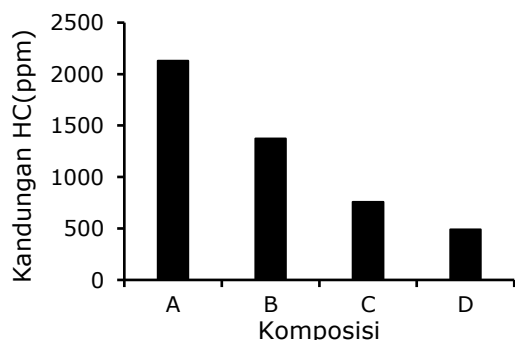
Selain peran katalis TiO₂, di saat yang bersamaan juga karbon aktif membuat proses

adsorpsi kandungan CO semakin besar. Pori-pori karbon aktif mampu menyerap CO dan proses katalisasi di dalam pori-pori karbon aktif akan membuat proses kimiawi ini berlangsung lebih cepat. Sementara itu bahan keramik yang fungsi utamanya sebagai pengikat juga memiliki kemampuan untuk menjadi adsorber gas CO. Meskipun tidak sebaik karbon aktif, keramik ini membantu proses adsorpsi gas buang CO. Hal inilah yang membuat kandungan CO pada gas buang menjadi berkurang dengan penggunaan *catalytic converter*.

Hasil ini sejalan dengan teori yang diutarakan oleh Basuki (2007) bahwa semakin tinggi konsentrasi TiO₂ dan karbon aktif akan membuat tingkat penurunan polutan CO semakin tinggi pula. Hasil ini juga relevan dengan hasil penelitian dari Basuki (2007) yang menggunakan TiO₂ yang disisipkan ke karbon aktif untuk mengurangi kandungan CO dan NO₂ pada emisi gas buang kendaraan dengan memvariasikan panjang penampang, yang mampu mengurangi kandungan CO paling baik hingga 82,785% pada konsentrasi TiO₂ sebanyak 15%, dan memiliki masa jenuh 42,88 jam.

3.4. Pengurangan Kandungan Gas HC

Sementara itu, kandungan HC pada knalpot standar menunjukkan hasil yang paling tinggi adalah pada komposisi A (knalpot standar) yaitu sebesar 2128,25 ppm dan hasil paling rendah adalah pada *catalytic converter* dengan komposisi D. Ini menunjukkan bahwa semakin banyak kandungan karbon aktif dan TiO₂ pada *catalytic converter* akan membuat pengurangan polutan HC semakin baik. Hasil pengujian mengenai pengaruh komposisi bahan *catalytic converter* yang dibuat terhadap kandungan polutan HC secara lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.



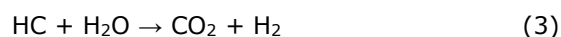
Gambar 5. Grafik pengaruh komposisi bahan *catalytic converter* yang dibuat terhadap kandungan polutan HC.

Gambar 5. menunjukkan bahwa penggunaan *catalytic converter* yang dibuat mampu

menurunkan kandungan gas HC. Kandungan HC dari hasil uji pada komposisi A yakni dengan knalpot standar menunjukkan jumlah paling tinggi, kemudian dapat diturunkan dengan pemasangan *catalytic converter* yang dibuat. Hal ini sesuai dengan teori yang dijabarkan oleh Kaspar dkk. (2002), reaksi oksidasi HC menjadi CO₂ dan H₂O terjadi pada gas buang kendaraan yang di pasang *catalytic converter* pada saluran buangnya. Kandungan HC berkurang terjadi karena katalis pada *catalytic converter* membuat proses reaksi oksidasi gas CO menjadi CO₂ berlangsung lebih cepat. Reaksinya adalah sebagai berikut:



Selain itu reaksi kimia *steam reforming* juga terjadi pada gas buang kendaraan yang dipasang *catalytic converter*. Gas HC bereaksi dengan H₂O membentuk CO₂ dan H₂, reaksi kimia *steam reforming* adalah sebagai berikut:



Selain peran katalis TiO₂, di saat yang bersamaan juga karbon aktif membuat proses adsorpsi kandungan HC semakin besar. Pori-pori karbon aktif mampu menyerap HC dan proses katalisasi di dalam pori-pori karbon aktif akan membuat proses kimiawi ini berlangsung lebih cepat. Hal ini sejalan dengan teori yang diutarakan oleh Adamson dalam Amin dkk. (2016) Adsorpsi secara fisika terjadi ketika suhu rendah dan Adsorpsi secara kimiawi terjadi ketika suhu naik. Sementara itu bahan keramik yang fungsi utamanya sebagai pengikat juga memiliki kemampuan untuk menjadi adsorben gas HC meskipun tidak sebaik karbon aktif, akan tetapi keramik ini membantu proses adsorpsi. Hal inilah yang membuat kandungan HC pada gas buang menjadi berkurang dengan penggunaan *catalytic converter*.

Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa semakin banyak kandungan karbon aktif pada *catalytic converter* akan membuat pengurangan polutan HC semakin baik. Hasil ini sejalan dengan teori yang diutarakan oleh Wicaksana (2016) bahwa semakin tinggi konsentrasi karbon aktif akan membuat tingkat penurunan polutan HC semakin tinggi pula. Hasil ini juga relevan dengan hasil penelitian dari Wicaksana (2016) yang menggunakan karbon aktif pada filter gas buang kendaraan untuk mengurangi kandungan HC menurun dari 1218,67 ppm menjadi 719,333 ppm.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *catalytic converter* yang dibuat dengan bahan kelimpahan tinggi dan harganya murah jika dibandingkan dengan *catalytic converter* dengan bahan *noble metal* seperti *Platinum (Pt)*, *Palladium (Pd)* dan *Rhodium (Rh)* yang berpotensi menimbulkan racun pada suhu tinggi. Menurut Ellyanie (2011) bahan ini juga dapat kehilangan fungsi katalisnya ketika bereaksi dengan timbal (terutama BBM di Indonesia). *Catalytic converter* yang di buat dari bahan kelimpahan tinggi dan murah ini terbukti mampu menurunkan polutan berbahaya CO dan HC dengan konsisten hasilnya menurun pada empat kali pengambilan data. Rincian biaya yang dikeluarkan untuk memproduksi satu unit *catalytic converter* yang dibuat dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Biaya produksi tiap unit *catalytic converter* yang dibuat (rata-rata).

No	Kebutuhan	Harga per kg	Biaya
1	Karbon Aktif	Rp 18.000,00	Rp 27.000,00
2	TiO ₂	Rp 89.000,00	Rp 178.000,00
3	Bahan keramik gerabah	Rp 2.000,00	Rp 10.000,00
4	Tenaga produksi	-	Rp 100.000,00
Total Biaya			Rp 315.000,00

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penggunaan keramik yang dicampur dengan TiO₂ dan karbon aktif pada *catalytic converter* mampu menurunkan kandungan CO dan HC pada kendaraan bermesin bensin. Pengurangan paling baik terdapat pada komposisi bahan keramik 50%, TiO₂ 25%, dan karbon aktif 25%, yaitu mampu menurunkan kandungan CO dari 4,19% menjadi 1,44% dan kandungan gas HC dari 2128,25 ppm menjadi 490 ppm. *Catalytic converter* berhasil dibuat dengan biaya Rp 315.000,00 per unit.

Daftar Pustaka

- Amin, M., Subri, M. (2016) Uji Performa Filter Gas Emisi Kendaraan Bermotor Berbasis Keramik Porous dengan Aditif Tembaga, TiO₂ dan Karbon Aktif dalam Penurunan Kadar Gas Carbon Monoksida, *Mekanika*, 15 (2), 24-30.
- Amin, M., Subri, M., Jasmasri (2016) Karakterisasi Penggunaan Bahan Adsorben dan Katalis dalam Pembuatan Material CMC untuk Filter Gas Buang Kendaraan Bermotor, *Mekanika*, 15 (2), 16-23.
- Basuki, K.T. (2007) Penurunan Konsentrasi CO dan NO₂ pada Emisi Gas Buang dengan Menggunakan Media Penyisipan TiO₂ Lokal pada Karbon Aktif, *Jurnal Forum Nuklir*, 1 (1), 45-64.
- Chung, D. D.L. (2017) *Carbon Composites 2nd ed.*, New York, Butterworth-Heinemann.
- Ellyanie (2011) Pengaruh Penggunaan *Three-Way Catalytic Converter* Terhadap Emisi Gas Buang pada Kendaraan Toyota Kijang Innova, *Prosiding Seminar Nasional Avoer Ke-3 Palembang*, 26-27 Oktober 2011.
- Guritno, A. (2012) Sintesis dan Uji Kerja Katalis Komposit Ag/TiO₂-Zeloit Alam Lempung-Karbon Aktif serta Rekayasa Alat untuk Purifikasi Udara Ruang. *Skripsi*, Program Sarjana Teknik Universitas Indonesia, Depok.
- Hajderi, A., Bozo. L. (2014) Air Pollution from Vehicles and Their Effect on Human Health in Urban Areas, *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*, 3 (3), 41-47.
- Indrawan, I.T., Sudiby, C., Basori (2014) Pengaruh Rasio Kompresi Terhadap Emisi Gas Buang CO dan HC Dengan Bahan Bakar Liquefied Petroleum Gas pada Sepeda Motor Yamaha Jupiter Z 110 CC, *Nosel*, 3 (2), 1-10.
- Ismiyati, Marlita, D., Saidah, D. (2014) Pencemaran udara akibat emisi gas buang kendaraan bermotor, *Jurnal Manajemen Transportasi dan Logistik (JMTranslog)*, 1 (3), 241-247.
- Kaspar, J., Fornasiero, P., Hickey, N. (2002) *Automotive Catalytic Converter: Current Status and some perspectives*, *Elsevier*, 77 (2003), 419-449.
- Khuluk, R.H. (2016) Pembuatan Dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa (*Cocous Nucifera L.*) Sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru, *Skripsi*, Program Sarjana Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Kusdarini, Budianto, A., Ghafarunnisa, D. (2017) Produksi Karbon Aktif dari Batubara Bituminus dengan Aktivasi Tunggal H₃PO₄, Kombinasi H₃PO₄-NH₄HCO₃, dan Termal, *Reaktor*, 17 (2), 74-80.

- Putro, I.A.E., Abadi, I. (2012) *Rancang Bangun Alat Ukur Emisi Gas Buang, Studi Kasus: Pengukuran Gas Karbon Monoksida (Co)*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rahman, T., Fadhlulloh, M.A., Nandiyanto, A.B.D., Mudzakir, A. (2014) Review: Sintesis Titanium Diokasida Nanopartikel, *Jurnal integrasi proses*, 5 (1), 15-29.
- Wicaksana, A. (2016) Pengaruh Penggunaan Karbon Aktif pada Saluran Buang Terhadap Emisi Gas Buang Sepedamotor, *Skripsi*, Program S1 Pendidikan Teknik Otomotif Universitas Negeri Semarang, Semarang.