

UJI PERFORMA FILTER GAS EMISI KENDARAAN BERMOTOR BERBASIS KERAMIK POROUS DENGAN ADITIF TEMBAGA, TiO_2 DAN KARBON AKTIF DALAM PENURUNAN KADAR GAS CARBON MONOKSIDA

Muh Amin^{1a}, Muhammad Subri^{1b}

¹ Prodi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang
e-mail: amin@unimus.ac.id

Keywords :

Keramik Porous
Filter Gas Emisi
Carbon Monoksida
Dry Processing
Ceramic Matrix Composite

Abstract :

Telah berhasil dibuat material Ceramic Matrix Composite (CMC) porous dengan bahan dasar clay, TiO_2 , Karbon Aktif dan Tembaga sebagai aditifnya. Pembuatan material porous digunakan penambahan 10 % volume Polyninyl Alcohol (PVA) dan serbuk kayu yang divariasasi dari (0, 5, 10, 15 dan 20) % volume. Pembuatan material dilakukan dengan proses kering (dry processing) dengan menyiapkan green body dengan tekanan kompaksi 25 MPa yang di panaskan pada suhu sintering 950°C. Hasil pembuatan material dilakukan pengujian gas analyser pada kendaraan bermotor. Pembuatan material filter gas emisi dari bahan Ceramic Matrix Composite (CMC) telah berhasil dibuat dengan (80 % volume Clay + 10 % volume TiO_2 + 10 % volume Karbon Aktif) + 10 % volume PVA dengan aditif 10% volume Serbuk Kayu yang dimixer dengan kecepatan putar 64 rpm selama 30 menit dan dicetak dengan tekanan press 25 MPa dan suhu sintering 950°C memiliki performa dalam penurunan kadar gas emisi CO terbanyak yaitu 99,267 % volume pada putaran mesin 200 rpm.

PENDAHULUAN

Perkembangan kepemilikan kendaraan bermotor pada masyarakat Indonesia terus mengalami peningkatan. Hal ini dapat dilihat dari produksi kendaraan bermotor baik sepeda motor maupun mobil yang semakin meningkat. Sedangkan efek gas buang kendaraan bermotor adalah pencemaran (polusi) udara yang membahayakan kesehatan dan lingkungan, seperti: Karbon Monoksida (CO), berbagai senyawa Hidrokarbon (HC), berbagai Oksida Nitrogen (NO_x), Sulfur (SO_x), dan Timbal (Pb). Gas CO, NO_x, CO₂ dan HC selama ini diyakini sebagai penyebab berbagai penyakit, misalnya: berkembangnya berbagai penyakit menular, daya tahan tubuh menurun, meningkatnya penyakit mata (katarak dan kebutaan) dan kanker kulit [1]. Sedangkan dampak Timbal terhadap kesehatan adalah hipertensi, anemia, penurunan kemampuan otak dan dapat menghambat pembentukan darah merah [2].

Pemakaian filter gas emisi untuk kendaraan-kendaraan di Indonesia masih terbatas pada mobil-mobil tertentu (mobil baru) dan belum ada peraturan yang tegas untuk mewajibkan penggunaan filter gas buang bagi semua kendaraan. Padahal potensi terbesar yang menghasilkan emisi tidak bersih adalah kendaraan-kendaraan tua karena kendaraan-kendaraan produksi sekarang sudah dioptimalkan proses pembakarannya, misalnya dengan sistem injeksi. Kendala pemakaian filter gas gas pada semua jenis

kendaraan bermotor adalah biaya filter gas buang kendaraan bermotor yang relative mahal.

Selama ini pembuatan filter gas buang dibuat dari bahan-bahan logam murni yang memiliki kelimpahan rendah sehingga harganya relative mahal, seperti Platinum (Pt), Palladium (Pd) dan Rhodium (Rh). Oleh karena itu penelitian diarahkan pada mencari bahan alternatif dengan harga yang murah untuk membuat filter tersebut. Tren penelitian material alternatif pembuat filter gas buang di Indonesia banyak digunakan dari bahan-bahan logam transisi, seperti: Tembaga, Nikel dan Seng. Selain itu juga dikembangkan penelitian material filter gas buang dari bahan keramik dengan prinsip adsorpsi dalam penurunan kadar gas emisi kendaraan tersebut.

Antara penelitian material filter gas buang kendaraan bermotor dari jenis logam dan keramik selama ini dilakukan secara terpisah tanpa menggabungkan antara keduanya. Oleh karena itu perlu dilakukan penggabungan antara keduanya agar dapat memperbaiki sifat-sifatnya. Pada penelitian ini akan dilakukan penggabungan antara bahan logam dan keramik dalam bentuk komposit (*Ceramic Matrix Composite / CMC*). Hasil yang diperoleh diharapkan dapat diperoleh material filter yang bersifat ganda yaitu sebagai katalis dan adsorben sehingga dapat meningkatkan kemampuan penurunan kadar gas Carbon Monoksida (CO) pada kendaraan bermotor.

Polusi udara akibat pengaruh hasil pembakaran bahan bakar pada mesin-mesin kendaraan bermotor terus mengalami peningkatan. Bahan polutan tersebut biasanya berupa Gas Carbon Monoksida (Co), Hidrokarbon (HC), Nitrogen Oksida (NO_x), Sulfir Oksida (SO₂) dan Timbal (Pb). Pengaruh buruk akibat bahan polutan yang tidak terkontrol adalah pemicu terhadap pemanasan global dan penyebab penyebaran berbagai macam penyakit. Usaha untuk menanggulangi bertambahnya bahan polutan yaitu dengan menggunakan filter gas buang pada semua kendaraan bermotor.

Penggunaan filter gas buang kendaraan bermotor di Indonesia belum begitu banyak karena masih terbatas pada mobil-mobil tertentu saja. Hal ini disebabkan biaya pembuatan filter gas buang yang cukup mahal. Saat ini, Indonesia masih mengadopsi filter gas emisi (katalitik) dari Negara-negara yang sudah menggunakan bahan bakar tanpa Timbal dengan menggunakan bahan-bahan dari logam murni, seperti: *Platinum (Pt)*, *Palladium (Pd)* dan *Rhodium (Rh)*. Kelemahan dari filter gas emisi ini yaitu biaya yang cukup mahal dalam pembuatannya karena memiliki kelimpahan yang rendah. Selain itu, logam-logam murni yang digunakan pada katalitik ini adalah sangat sensitif terhadap timbal yang terkandung dalam bahan bakar (terutama BBM di Indonesia) [iii]. Sehingga jenis katalitik ini tidak mampu menurunkan kadar Timbal dari hasil pembakaran bahan bakar mesin kendaraan bermotor. Sehingga penelitian tentang filter gas emisi kendaraan di Indonesia adalah sangat dibutuhkan.

Bahan-bahan dengan kelimpahan tinggi sudah terbukti dapat menurunkan kadar CO, NO_x, CO₂ dan HC dengan cukup baik meskipun belum dapat menyamai dari bahan-bahan logam murni. Sedangkan apabila filter gas emisi ini diterapkan untuk kendaraan-kendaraan di Indonesia yang kebanyakan masih menggunakan bahan bakar dengan Timbal, maka jenis filter ini kurang relevan karena tidak mampu menurunkan kadar Timbal. Oleh karena itu, kedepan penelitian ini diarahkan pada filter dengan kemampuan menurunkan kadar Timbal disamping gas-gas yang berbahaya lainnya.

Penelitian mengenai penurunan kadar Timbal pada gas emisi kendaraan bermotor juga telah dilakukan dalam skala lab. Penggunaan Karbon Aktif, Zeolit, TiO₂ telah banyak dipergunakan oleh para peneliti untuk menurunkan kadar Timbal karena Timbal hanya dapat direduksi dengan cara adsorpsi. Penggunaan Karbon Aktif dalam menurunkan Timbal telah dilakukan oleh [iv]. Karbon Aktif dengan merk dagang "MERCK" dengan seri 1.02186 K 23361386 yang diuji dengan *Atomic Absorbance Spectrophotometer (AAS)* LOD 0,001 mg/m³ diperoleh hasil 100% dalam penurunan kadar Timbal.

Penggunaan Clay sendiri sebagai matrik dalam pembuatan filter tidak dapat berfungsi untuk menurunkan gas-gas emisi. Akan tetapi dengan menggunakan Alumina dapat memberikan efek yang lebih baik apabila dipadukan dengan TiO₂. Penggunaan TiO₂ dan Alumina [v] yang dipadukan dengan Karbon Aktif dapat berfungsi sebagai katalis yang mempercepat terjadinya penyerapan gas oleh Karbon Aktif [vi].

Adsorpsi adalah peristiwa fisik pada permukaan suatu bahan yang tergantung pada spesifik affinity (gaya gabung) antara adsorben dan adsorbat. Terdapat dua cara adsorpsi, yaitu: adsorpsi fisis (fisisorpsi) dan adsorpsi khemis (chemisorpsi). Adsorpsi fisik disebabkan oleh gaya van der Waals, yaitu molekul-molekul teradsorpsi pada permukaan dengan ikatan yang lemah. Adsorpsi ini biasanya terjadi pada temperatur rendah. Sedangkan pada adsorpsi khemis adalah molekul-molekul yang teradsorpsi pada permukaan bereaksi secara kimia, sehingga terjadi pemutusan dan pembentukan ikatan [vii]. Ikatan antara adsorben dan adsorbat menjadi lebih kuat, bersifat irreversibel dan dibutuhkan energy yang besar untuk dapat melepaskannya. Pada peristiwa adsorpsi khemis, biasanya kapasitas adsorpsi akan bertambah dengan meningkatnya temperatur. Temperatur yang lebih tinggi memungkinkan dapat terjadinya perubahan adsorpsi fisis menjadi adsorpsi termis.

Salah satu bahan dengan kemampuan adsorpsi yang baik adalah karbon aktif. Karbon aktif adalah bahan yang mengandung unsur karbon dan telah ditingkatkan daya adsorpsi-nya dengan cara diaktivasi [viii]. Karbon aktif sebagai media adsorpsi karena memiliki struktur kristal yang berpori, luas permukaan besar, stabilitas thermal tinggi dan tidak beracun. Penggunaan karbon aktif pada bahan keramik dapat memperluas permukaan bidang kontak dan menyebabkan berpori. Sehingga karbon aktif yang memiliki luas permukaan (300-2000) m²/gr ini sangat berpotensi sebagai adsorben. Sedangkan besarnya daya adsorpsi karbon aktif sangat dipengaruhi oleh besar pori-pori dan luas permukaan [ix]. Daya serap karbon aktif yaitu antara (25 sampai 100) % berat karbon aktif. Karbon aktif telah banyak dipergunakan secara luas sebagai adsorben dalam proses industry untuk menghilangkan sejumlah pengotor, pengolahan limbah, pemurnian air, dan lain-lain. Karbon aktif dapat juga dipergunakan sebagai pembuat bahan keramik berpori.

Keramik yang dibuat dengan 30% Kaolin, 30% Clay, 20% Feldspar, 20% Kwarsa diberikan penambahan berbagai variasi % Karbon Aktif terbukti mampu menurunkan kadar emisi kendaraan bermotor. Pembuatan keramik dengan bahan aditif Karbon Aktif sebesar 30% dilakukan pada suhu sintering 1100°C dengan *holding time* 4 jam menunjukkan hasil yang terbaik yaitu dapat menurunkan kadar CO=27,65%;

$\text{CO}_2=26,09\%$ dan $\text{HC}=15,11\%$ [x]. Sedangkan, Nurdiansyah (2008) telah mencoba membuat filter gas buang kendaraan bermotor dari bahan dengan kelimpahan yang cukup tinggi dan relatif murah harganya, yaitu dengan bahan Alumina, Zeolit dan Tanah Liat. Catalytic Converter berbahan Alumina, zeolit dan tanah liat ini mampu menekan emisi gas buang hingga 26% pada suhu (250 – 500) °C [xi].

Hasibuan. R. A (2012) telah melakukan modifikasi Zeolit Alam dengan TiO_2 yang digunakan untuk mereduksi gas buang kendaraan bermotor dengan metode sol-gel. Penggunaan TiO_2 dimaksudkan sebagai katalis karena alasan mudah diperoleh, memiliki kestabilan kimia yang baik dalam semua kondisi reaksi, tidak beracun dan stabil terhadap cahaya. Penambahan TiO_2 sebesar 20% pada Zeolit menunjukkan daya adsorpsi maksimal dalam mereduksi kadar NiO_2 sebesar (45-49)%. Luas permukaan bidang kontak terbukti mempengaruhi kemampuan daya adsorpsi. TiO_2 dan zeolit mampu bertindak sebagai adsorpsi gas emisi kendaraan [xii].

Katalis TiO_2 dapat mengoksidasi NO_2 dan mampu memecah berbagai senyawa organik, antara lain molekul Merkaptan, Asetaldehid, dan Hidrogen Sulfida. TiO_2 dapat diregenerasi dengan mudah pada suhu ruangan. Oleh para ahli kimia, TiO_2 merupakan katalis yang cocok untuk dipergunakan karena mempunyai keuntungan diantaranya tidak bersifat beracun, selalu stabil, bekerja pada suhu ruang dan relatif murah harganya. Penggunaan TiO_2 dan Alumina [xiii] yang dipadukan dengan Karbon Aktif dapat berfungsi sebagai katalis yang mempercepat terjadinya penyerapan gas oleh Karbon Aktif.

METODOLOGI PENELITIAN

Pembuatan material dilakukan dengan menggunakan metode *Ceramic Matrix Composit (CMC)* porous berdasarkan diagram alir pada Gambar 1.

Material Penelitian

Material utama yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah:

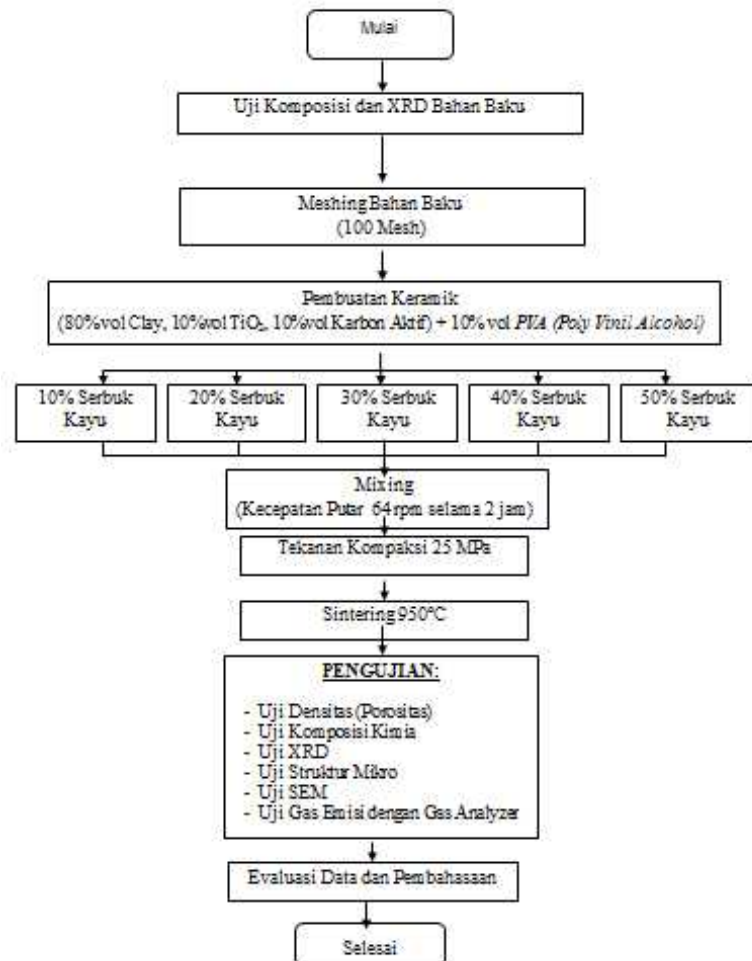
- Clay dari Sidoarjo Jawa Timur
- Tembaga (Cu)
- TiO_2
- Karbon Aktif
- *Poly Vinyl Alcohol (PVA)*
- Serbuk Kayu

Alat Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan peralatan sebagai berikut:

- *X-Ray Diffraction (XRD)*
- Mesin Pengayak (Mesh)
- Mesin Press
- Furnace

- Microscop Optic
- *Scanning Electron Microscopy (SEM)*
- Timbangan *Digital*
- Cetakan Filter Gas Emisi (Gambar 2)
- Gas Analyser (Merk/type STARGAS 898) (Gambar 3)



Gambar 1. Rancangan Penelitian



Gambar 2. Cetakan Filter Gas



Gambar 3. Gas Analyzer STARGAS 898

Mesin yang dipergunakan dalam pengujian material filter gas emisi adalah Mesin Toyota Kijang 5K (Gambar 4) dengan spesifikasi sebagai berikut:

Type Mesin	: Toyota 5 K
Jumlah Silinder	: 4 Silinder
Jumlah Katub	: 8 Valve
Sistem Katub	: OHV
Ruang Isi Silinder	: 1500 cc
Diameter x Langkah	: 72,0 mm x 79,7 mm
Tenaga Maksimal	: 92 PS / 6000 rpm
Bahan Bakar / Sistem	: Bensin / Konvensional



Gambar 4. Mesin Toyota Kijang 5 K

Rancangan (Design) Riset

Kegiatan penelitian dilakukan berdasarkan diagram penelitian sesuai dengan rancangan penelitian pada Gambar 1 adalah sebagai berikut:

- Penyiapan bahan baku.
- Pengujian komposisi kimia dan XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk semua bahan baku.
- Meshing semua bahan hingga lolos 100 mesh.
- Pencampuran bahan (80% vol Clay, 10% vol TiO₂, 10% vol Karbon Aktif) + 10% vol PVA (*Poly Vinil Alcohol*).
- Penambahan variasi serbuk kayu (0, 10, 20, 30, 40)% vol ke dalam bahan baku.
- Mixing dengan ball milling menggunakan kecepatan putar 64 rpm selama 30 menit.

- Pencetakan dengan tekanan press 25 MPa. Sintering dilakukan dengan laju pemanasan 5°C/menit sampai variasi suhu 950°C dan ditahan selama 2 jam. Setelah itu dibiarkan sampai dingin di dalam *furnice*.
- Pengujian bahan filter gas emisi yaitu: uji densitas, uji XRD, uji komposisi kimia, uji *Scanning Electron Microscopy (SEM)*, uji emisi gas (dengan Gas Analyzer)

Prosedur pengujian material filter dengan menggunakan Gas Analyser:

1. Penempatan filter diletakkan pada bagian paling dekat dengan exhaust manifold.
2. Sebelum mesin kendaraan dipergunakan untuk pengujian material filter terlebih dahulu ditune up terlebih dahulu.
3. Langkah awal pengujian dengan gas analyser adalah dengan menghidupkan mesin untuk pemanasan kurang lebih 10 menit.
4. Sensor dimasukkan kedalam knalpot dan alat uji Gas Analyser dihidupkan beberapa saat.
5. Putaran mesin diatur dengan cara menekan handle gas pada putaran IDLE, 1500, 2000, 2500, 3000 dan diturunkan 2500, 2000, 1500, IDLE.
6. Pada putaran IDLE, 1500, 2000, 2500, 3000 dan diturunkan 2500, 2000, 1500, IDLE.
7. Masing-masing diamati kadar gas dengan Gas Analyser dan di cetak.



Gambar 5. Posisi Penempatan Material Filter di dalam Knalpot

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Komposisi Kimia

Semua bahan baku sebelum dipergunakan diuji kemurniannya terlebih dahulu dengan menggunakan uji komposisi kimia (Tabel 1). Uji komposisi kimia dapat diperlihatkan beberapa unsur yang dominan dalam setiap bahan baku. Sedangkan dengan uji XRD dapat menunjukkan bahwa semua bahan baku masih dalam bentuk fasa Kristal dan tidak amorf. Sehingga bahan baku yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah bahan yang memiliki sifat mekanis yang baik

Tabel 1. Komposisi Kimia Bahan Baku

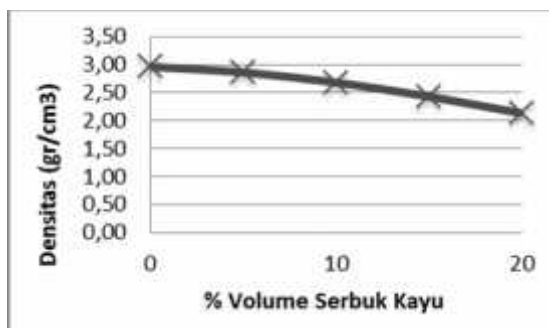
No	Row Material	Unsur													
		C	O	Na	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Zn	Cu	NA
1	Clay	19.0	45.1	2.4	1.3	7.3	14.	2.2	0.8	1.2	0.24	5.0	0.2	-	-
		4	7	4	8	8	4	2	6	6		0	3	-	-
2	TiO ₂	-	40.5	-	-	2.4	0.6	-	-	-	56.2	-	-	-	-
		-	8	-	-	8	7	-	-	-		6	-	-	-
3	Carbon	75.4	8.98	-	0.5	1.8	4.0	0.4	2.5	1.4	-	1.8	-	2.13	0.6
		9	7	-	3	0	5	9	7	7		2	-	-	5
4	PVA	95.9	20.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.90	0.9
		1	7	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	3
5	Copper	19.0	3.83	-	-	0.4	0.4	-	-	-	-	-	-	76.2	-
		7	7	-	-	2	0	-	-	-		-	-	8	-

Pengujian Densitas dan Porositas

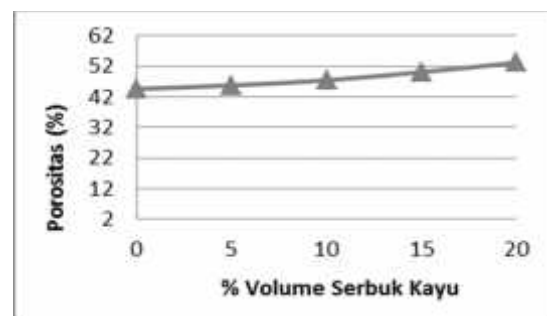
Material filter telah berhasil dibuat seperti pada Gambar 6. Pengujian densitas dilakukan dengan menggunakan Hukum Archimedes dan dihasilkan menurut Gambar 7. Harga densitas berangsur-angsur turun seiring dengan bertambahnya serbuk kayu dalam bahan baku. Hal ini dapat dipahami dengan bertambahnya pori-pori. Sedangkan hasil pengujian porositas seperti pada Gambar 8 yang membenarkan bahwa dengan bertambahnya kadar serbuk kayu dapat meningkatkan jumlah porositas bahan. Hal ini juga didukung dengan foto mikro (Gambar 9) bahwa menunjukkan adanya porositas yang disamakan dengan lobang hitam dari foto mikro bahan keramik.



Gambar 6. Bentuk Material Filter



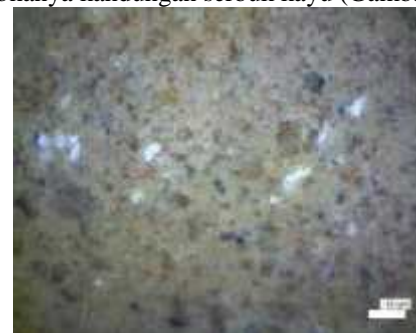
Gambar 7. Densitas Material Keramik



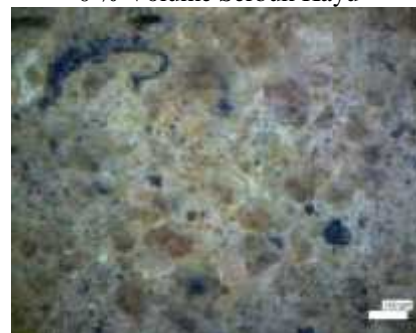
Gambar 8. Porositas Material Keramik

Pengujian Struktur Mikro

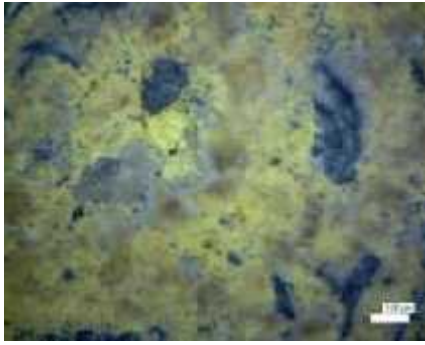
Pengujian foto mikro dengan menggunakan Microscope Optic dengan pembesaran 200 kali terlihat bahwa semakin bertambah porositas dengan bertambahnya kandungan serbuk kayu (Gambar 9).



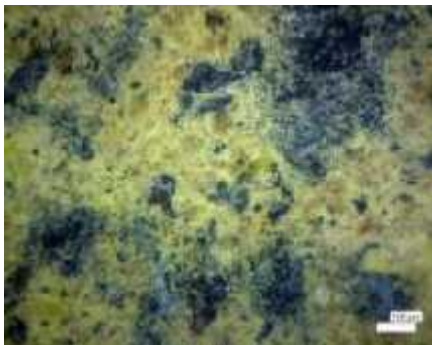
0 % Volume Serbuk Kayu



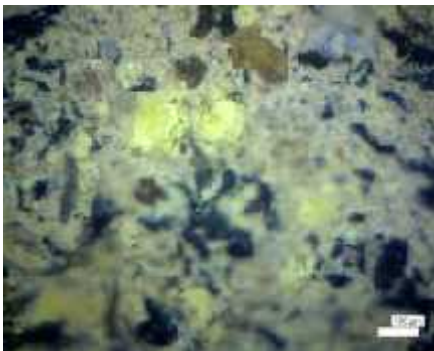
5 % 0 % Volume Serbuk Kayu



10 % Volume Serbuk Kayu



15 % 0 % Volume Serbuk Kayu



20 % 0 % Volume Serbuk Kayu

Gambar 9. Struktur Mikro Bahan Keramik

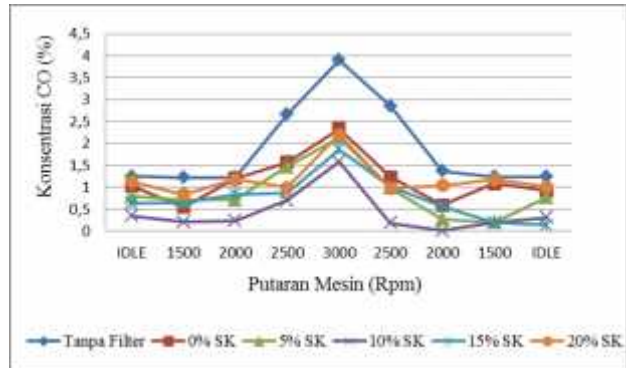
Pengujian Material Filter dengan Gas Analyser

Pengujian filter terlebih dahulu dilakukan pemasangan material filter di kendaraan bermotor seperti pada Gambar 10.

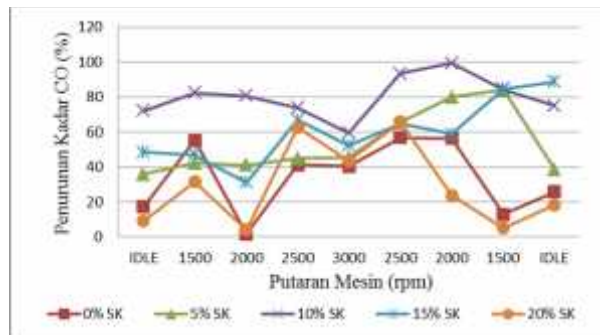


Gambar 10. Pemasangan filter di kendaraan bermotor

Pengujian material filter dengan menggunakan Gas Analyser dengan gas analyser diperoleh hasil seperti pada Gambar 11 dan 12. Pada Gambar 11 menunjukkan hasil pengujian kemampuan material filter dalam penurunan kadar CO. Sedangkan pada Gambar 12 menunjukkan hasil pengujian material filter dalam prosentase penurunan kadar CO.



Gambar 11. CO – Rpm



Gambar 12. Prosentase Penurunan Kadar CO

Penambahan serbuk kayu sebanyak 10 % volume menunjukkan hasil yang maksimal dalam penurunan kadar gas emisi CO yaitu sebesar 99,276 pada putaran mesin 2000 rpm seperti pada Gambar 13.

KESIMPULAN

Pembuatan material filter gas emisi dari bahan Ceramic Matrix Composite (CMC) telah berhasil dibuat dengan (80 % volume Clay + 10 % volume TiO₂ + 10 % volume Karbon Aktif) + 10 % volume PVA dengan aditif 10% volume Serbuk Kayu yang dimixer dengan kecepatan putar 64 rpm selama 30 menit dan dicetak dengan tekanan press 25 MPa dan suhu sintering 950°C memiliki performa dalam penurunan kadar gas emisi CO terbanyak yaitu 99,267 % volume pada putaran mesin 200 rpm.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan

Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penelitian ini melalui skim Hibah Bersaing sesuai dengan Surat Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Program Penelitian Nomor: 006/SP2H/LT/DRPM/II/2016, tanggal 17 Pebruari 2016.

DAFTAR PUSTAKA

- ⁱ Hasibuan. R. A, 2012, *Modifikasi Zeolit Alam dengan TiO₂ untuk Mereduksi Emisi gas Buang Kendaraan Bermotor*, Program Studi Teknik Kimia, Universitas Indonesia, Depok.
- ⁱⁱ Mumpuni. P, Mifbakhuddin dan Meikawati. W, 2010, *Hubungan Antara Paparan Gas Buang Kendaraan (Pb) dengan Kadar Hemoglobin dan Eritrosit Berdasarkan Lama Tugas Pekerja pada Petugas Operator Wanita SSPBU di Wilayah Semarang Selatan*, Program Studi S1 Kesehatan Masyarakat, Universitas Muhammadiyah Semarang, Semarang.
- ⁱⁱⁱ Ellyanie, 2011, *Pengaruh Penggunaan Three-Way Catalytic Converter Terhadap Emisi Gas Buang Pada Kendaraan Toyota Kijang Innova*, Jurusan Teknik Mesin-Fakultas Teknik Unsri, Prosiding Seminar Nasional Avoer Ke-3 Palembang, 26-27 Oktober 2011 *Isbn : 979-587-395-4*
- ^{iv} Murhadi, Suyitno, Vistha. F. M, Khasanah. F dan Murtinah. S, 2013, *PS Teknik Otomotif* Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- ^v Basuki, T. K, 2007, *Penurunan Konsentrasi HC dan NO₂ pada Emisi Kendaraan Bermotor dengan Menggunakan TiO₂ Lokal yang Disisipkan Karbon Aktif*, Prosiding PPI - PDIPTN 200, 7 ISSN 0216 - 3128 *105*, Pustek Akselerator dan Proses Bahan – BATAN Yogyakarta, 10 Juli 2007
- ^{vi} Ibosuki, Takashi. 1996. *Titanium Dioxide Catalist Break Down Pollutant*. Chemical and Engineering News, Journal.
- ^{vii} Adamsom. A. W, 1990, *physical chemistry of Surface*, John Wiley and Sons, California.
- ^{viii} Sudirjo. E, 2006, *Penentuan Distribusi Benzena (Toluena pada Kolom Adsorpsi Fixed-Bed Karbon Aktif)*, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.
- ^{ix} Sarumpet. S, 2009, *Pemanfaatan Limbah padat Pulp untuk Pembuatan Keramik Berpori dengan Aditif Clay sebagai Filter gas Buang*, Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara, Medan.
- ^x Tambunan. T. D, 2008, *Pembuatan Keramik Berpori sebagai Filter Gas Buang dengan Aditif Karbon aktif*, Program Studi Fisika, Sekolah

Pascasarjana Universitas Sumatera Utara, Medan.

- ^{xi} Nurdiansyah. T, 2008, *Catalytic Converter Berbahan Tanah Liat, Zeolit Dan Alumina Sebagai Katalis Alternatif Untuk Mengurangi Emisi Gas Buang(Desain Rongga Horisontal Vertikal)*, Dept. Of Mechanical Engineering
- ^{xii} Hasibuan. R. A, 2012, *Modifikasi Zeolit Alam dengan TiO₂ untuk Mereduksi Emisi gas Buang Kendaraan Bermotor*, Program Studi Teknik Kimia, Universitas Indonesia, Depok.
- ^{xiii} Basuki, T. K, 2007, *Penurunan Konsentrasi CO dan NO₂ pada Emisi Gas Buang dengan Menggunakan Media Penyisipan TiO₂ Lokal pada Karbon Aktif*, JFN 1 No. 1, 45-64.

BIODATA PENULIS

1. Muh Amin, ST, MT
Prodi S1 Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang
Jl. Kasipah 12 Semarang
e-mail: amin@unimu.ac.id
2. Muhammad Subri, ST, MT
Prodi S1 Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang
Jl. Kasipah 12 Semarang
e-mail: subrimakkasau@gmail.com