

## KARAKTERISASI PENGGUNAAN BAHAN ABSORBEN DAN KATALIS DALAM PEMBUATAN MATERIAL CMC UNTUK FILTER GAS BUANG KENDARAAN BERMOTOR

Muh Amin<sup>1a</sup>, Muhammad Subri<sup>1b</sup> dan Jamasri<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Prodi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

### Keywords :

Material CMC  
Absorben  
Katalis  
Keramik

### Abstract :

Penggunaan material absorben dan katalis dalam pembuatan material *Ceramic Matrix Composite* (CMC) telah berhasil dilakukan dengan mencampurkan beberapa bahan Clay dari Banjarnegara, Mangan (Mn), TiO<sub>2</sub>, Karbon Aktif dan Poly Vinil Alkohol (PVA). Pembuatan material filter gas emisi dilakukan dengan metode Ceramic Matrix Composit (CMC) Berpori dan menggunakan *Poly Vinil Alcohol (PVA)* sebagai *foaming agent*. Clay Banjarnegara dipergunakan sebagai matrik dengan aditif (20 % vol TiO<sub>2</sub> dan 30 % vol Karbon Aktif) ditambahkan Mn dengan variasi penambahan (10, 20, 30, 40) % volume. Pembuatan material filter gas emisi dari bahan Ceramic Matrix Composite (CMC) telah berhasil dibuat dengan penambahan kadar PVA 6 % volume dan variasi penambahan kadar Mangan sebanyak (0, 10, 20, 30, 40 dan 50) % volume. Penambahan kadar PVA yang optimal dalam pembuatan keramik porous dengan bahan baku 50%vol Clay, 20%vol TiO<sub>2</sub>, 30%vol Karbon Aktif yang dicetak dengan tekanan press 25 MPa dan suhu sintering 900°C adalah 6% volume. Penyusutan volume material CMC mengalami peningkatan dengan bertambahnya kadar Mangan. Pada penambahan Mangan 40 % volume dan suhu sintering 1000°C mengalami penyusutan volume yang paling besar yaitu 8,30 % volume.

### PENDAHULUAN

Gas emisi kendaraan bermotor merupakan gas yang dapat menyebabkan berbagai macam penyakit dan memiliki potensi terbesar dalam terjadinya global warming. Hal ini diperparah lagi dengan laju pertumbuhan kepemilikan kendaraan bermotor terus mengalami peningkatan dalam setiap tahunnya. Sebenarnya bahaya gas emisi kendaraan bermotor ini dapat direduksi dengan menggunakan filter gas emisi kendaraan. Akan tetapi penggunaan filter gas emisi ini masih terbatas pada kendaraan mobil produksi akhir-akhir ini. Hal ini disebabkan harga filter gas emisi kendaraan yang masih relatif cukup mahal. Oleh karena itulah perlu diupayakan filter gas emisi kendaraan dengan harga yang murah sehingga semua kendaraan bermotor dapat menggunakannya.

Pembuatan filter gas emisi kendaraan pada penelitian ini menggunakan perpaduan antara bahan yang dapat menurunkan emisi gas dengan secara menyerap (absorben) dan bahan dengan sifat katalis. Kebanyakan penelitian masih menggolongkan filter jenis logam (catalytic converter) dan keramik. Keuntungan yang diharapkan dengan menggabungkan kedua sifat tersebut adalah terciptanya material yang optimal yang menurunkan gas emisi kendaraan

bermotor. Selain itu semua material pendukung untuk membuat filter tersebut berasal dari lokal (Indonesia) dengan ketersediaan yang mudah diperoleh dengan biaya murah.

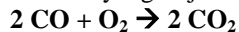
Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan acuan dalam pembuatan filter gas emisi kendaraan bermotor yang dapat diaplikasikan pada mesin kendaraan dengan bahan bakar premium dan pertamax. Kelebihan dari filter gas emisi yang dibuat diharapkan mampu menurunkan kadar Timbal dan tidak dimiliki oleh filter gas emisi kendaraan yang terbuat dari logam (catalytic converter) yang prinsip kerjanya dengan sistem katalis saja. Catalytic converter mampu menurunkan kadar gas emisi dengan baik kecuali Timbal. Oleh karena itulah penelitian ini dilakukan dengan menggabungkan antara sifat bahan katalis dan adsorben sehingga diharapkan memperoleh filter gas emisi yang mampu menurunkan gas-gas berbahaya termasuk Timbal sekalipun.

Pertumbuhan kendaraan bermotor di Indonesia saat ini telah mencapai lebih dari 10% pertahun sehingga jelas bahwa pencemaran udara akibat gas emisi kendaraan terus mengalami peningkatan yang tidak dapat dipandang dengan sebelah mata mengingat efek negatif dari polusi tersebut. Hal ini diperparah lagi dengan angka pertumbuhan jalan yang tidak dapat

mengikuti pertumbuhan kendaraan bermotor yang hanya 2% pertahunnya [i].

Bahan-bahan polutan dari emisi gas kendaraan yang membahayakan tubuh dan lingkungan adalah Gas Carbon Monoksida (Co), Hidrokarbon (HC), Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>), Sulfir Oksida (SO<sub>2</sub>) dan Timbal (Pb). Bahan filter gas emisi kendaraan bermotor biasanya dibuat dari logam murni, seperti: *Platinum (Pt)*, *Palladium (Pd)* dan *Rhodium (Rh)* sehingga biaya produksi cukup mahal karena kelimpahannya yang rendah. Berdasarkan kemampuan mereduksi gas emisi dari beberapa bahan katalis oksida adalah Pt, Pd, Ru > Mn, Cu >> Ni > Fe > Cr > Zn dan oksida dari logam-logam tersebut [ii]. Oleh karena itu sekarang ini dikembangkan filter gas emisi kendaraan bermotor dari bahan dengan kelimpahan yang tinggi, seperti: Tembaga, Kuningan, Mangan.

Bahan pembuat filter gas buang dari logam memiliki potensi sebagai katalis dalam mereduksi semua gas emisi kendaraan kecuali unsur Timbal. Penggunaan katalis bertujuan untuk membantu menguraikan gas CO menjadi CO<sub>2</sub> dengan adanya O<sub>2</sub> dalam kondisi temperatur yang tinggi di dalam manifold. Reaksi yang terjadi adalah:



Sedangkan katalis memiliki kelemahan yaitu tidak dapat mereduksi gas Timbal. Timbal hanya dapat diturunkan kadarnya dengan prinsip adsorpsi dan tidak dengan katalis. Penggunaan Karbon Aktif dalam menurunkan Timbal telah dilakukan oleh **Murhadi, dkk (2013)**. Karbon Aktif dengan merk dagang "MERCK" dengan seri 1.02186 K 23361386 yang diuji dengan *Atomic Absorbance Spectrophotometer (AAS)* LOD 0,001 mg/m<sup>3</sup> diperoleh hasil 100% dalam penurunan kadar Timbal [iii].

Penelitian mengenai penurunan kadar Timbal pada gas emisi kendaraan bermotor juga telah dilakukan dalam skala lab. Penggunaan Karbon Aktif, Zeolit, TiO<sub>2</sub> 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 **Murhadi, dkk (2013)**. Karbon Aktif dengan merk dagang "MERCK" dengan seri 1.02186 K 23361386 yang diuji dengan *Atomic Absorbance Spectrophotometer (AAS)* LOD 0,001 mg/m<sup>3</sup> 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 Clay Banjarnegara dapat memberikan efek yang lebih baik apabila dipadukan dengan TiO<sub>2</sub>. Penggunaan TiO<sub>2</sub> dan Clay Banjarnegara [iv] yang dipadukan dengan Karbon Aktif dapat berfungsi

sebagai katalis yang mempercepat terjadinya penyerapan gas oleh Karbon Aktif [v].

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 [vi].

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 [vii]. 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) m<sup>2</sup>/gr ini sangat berpotensi sebagai adsorben. Sedangkan besarnya daya adsorpsi karbon aktif sangat dipengaruhi oleh besar pori-pori dan luas permukaan [viii]. 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%; CO<sub>2</sub>=26,09% dan HC=15,11% [ix]. Sedangkan, **Nurdiansyah. T (2008)** telah mencoba membuat filter gas buang kendaraan bermotor dari bahan dengan kelimpahan yang cukup tinggi dan relatif murah harganya, yaitu dengan bahan Clay Banjarnegara, Zeolit dan Tanah Liat. Catalytic Converter berbahan Clay Banjarnegara, zeolit dan tanah liat ini mampu menekan emisi gas buang hingga 26% pada suhu (250 – 500) °C [x].

**Hasibuan. R. A (2012)** telah melakukan modifikasi Zeolit Alam dengan TiO<sub>2</sub> yang digunakan untuk mereduksi gas buang kendaraan bermotor dengan metode sol-gel [xi]. Penggunaan TiO<sub>2</sub> dimaksudkan sebagai katalis karena alasan mudah

diperoleh, memiliki kestabilan kimia yang baik dalam semua kondisi reaksi, tidak beracun dan stabil terhadap cahaya. Penambahan  $\text{TiO}_2$  sebesar 20% pada Zeolit menunjukkan daya adsorpsi maksimal dalam mereduksi kadar  $\text{NiO}_2$  sebesar (45-49)%. Luas permukaan bidang kontak terbukti mempengaruhi kemampuan daya adsorpsi.  $\text{TiO}_2$  dan zeolit mampu bertindak sebagai adsorpsi gas emisi kendaraan.

Pembuatan keramik berpori untuk aplikasi filter gas buang adalah suatu langkah yang tepat untuk meningkatkan kemampuan daya katalis maupun adsorpsi gas emisi kendaraan. Dengan dibuatnya material dalam bentuk porous maka akan memperluas permukaan kontak sehingga lebih optimal fungsinya sebagai penurun kadar gas emisi. Pembuatan keramik berpori telah banyak dilakukan, misalnya dengan memanfaatkan limbah anorganik (seperti abu terbang), *Poly Vinil Alcohol (PVA)* [xiii], kayu, kertas, tepung jagung, tepung ketela, dll.

Penelitian mengenai filter gas emisi kendaraan masih menggolongkan pada satu jenis material saja, misalnya berbasis logam atau keramik saja. Sedangkan antara logam dengan keramik memiliki potensi yang berbeda dalam penurunan gas emisi. Oleh karena itu perlu dilakukan kolaborasi antara logam dan keramik dalam pembuatan filter gas emisi kendaraan dengan harapan dapat mengoptimalkan efisiensi kerjanya.

## METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini akan dilakukan dalam skala laboratorium dalam bentuk eksperimental. Pembuatan material akan dilakukan dengan menggunakan prinsip *Cermic Matrix Composite* (CMC) dengan mempersiapkan semua bahan dari lokal yang dimesh 100. Pembuatan material keramik dilakukan dengan proses *Solid State Reaction (SSR)* dengan melakukan pencampuran semua bahan di mixer dengan putaran 64 rpm selama 2 jam. Pembuatan green body keramik dilakukan dengan menggunakan mesin press dengan tekanan kompaksi 25 MPa. Setelah itu dilakukan proses sintering dengan berbagai variasi suhu (800, 900 dan 1000) $^{\circ}\text{C}$  dengan heating rate 5 $^{\circ}\text{C}/\text{menit}$  dan holding time selama 2 jam. Setelah itu suhu diturunkan dengan cara mematikan furnace sampai mencapai suhu kamar, barulah spesimen dikeluarkan dari furnace. Dalam penyiapan material benda uji dilakukan dari awal hingga akhir dilakukan dengan proses yang terukur.

Pengujian spesimen keramik yang telah dibuat digunakan Gas Analyser yang berguna untuk mengetahui potensi keramik yang dibuat dalam penurunan gas-gas emisi kendaraan seperti: Gas Carbon Monoksida (Co), Hidrokarbon (HC), Nitrogen Oksida ( $\text{NO}_x$ ), Sulfir Oksida ( $\text{SO}_2$ ). Morfologi dari bahan keramik yang dibuat akan dilakukan pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik

dan Scanning Electron Microscopy (SEM). Sedangkan bahan baku sebagai pendukung pembuatan keramik akan dilakukan uji komposisi kimia dan X-Ray Defractometry (XRD) untuk mengetahui kemurniannya.

## Bahan Penelitian

Material yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah Clay dari Banjarnegara, Mangan (Mn),  $\text{TiO}_2$ , Karbon Aktif dan Poly Vinil Alkohol (PVA). Pembuatan material filter gas emisi dilakukan dengan metode Ceramic Matrix Composit (CMC) Berpori dan menggunakan *Poly Vinil Alcohol (PVA)* sebagai *foaming agent*. Clay Banjarnegara dipergunakan sebagai matrik dengan aditif (20 % vol  $\text{TiO}_2$  dan 30 % vol Karbon Aktif) ditambahkan Mn dengan variasi penambahan (10, 20, 30, 40) % volume.

## Alat Penelitian

Peralatan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah:

- X-Ray Diffractometer
- Alat Uji Komposisi Kimia
- Microscope optic
- Scanning Electron Microscopy (SEM)
- Mesin Pengayak (Mesh)
- Timbangan Digital
- Cetakan spesimen (bentuk silindris dan oval)
- Gas Analyser

## Rancangan (Design) Penelitian

Kegiatan penelitian dilakukan berdasarkan diagram penelitian sesuai dengan rancangan penelitian pada Gambar 1. Secara garis besar pelaksanaan penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut:

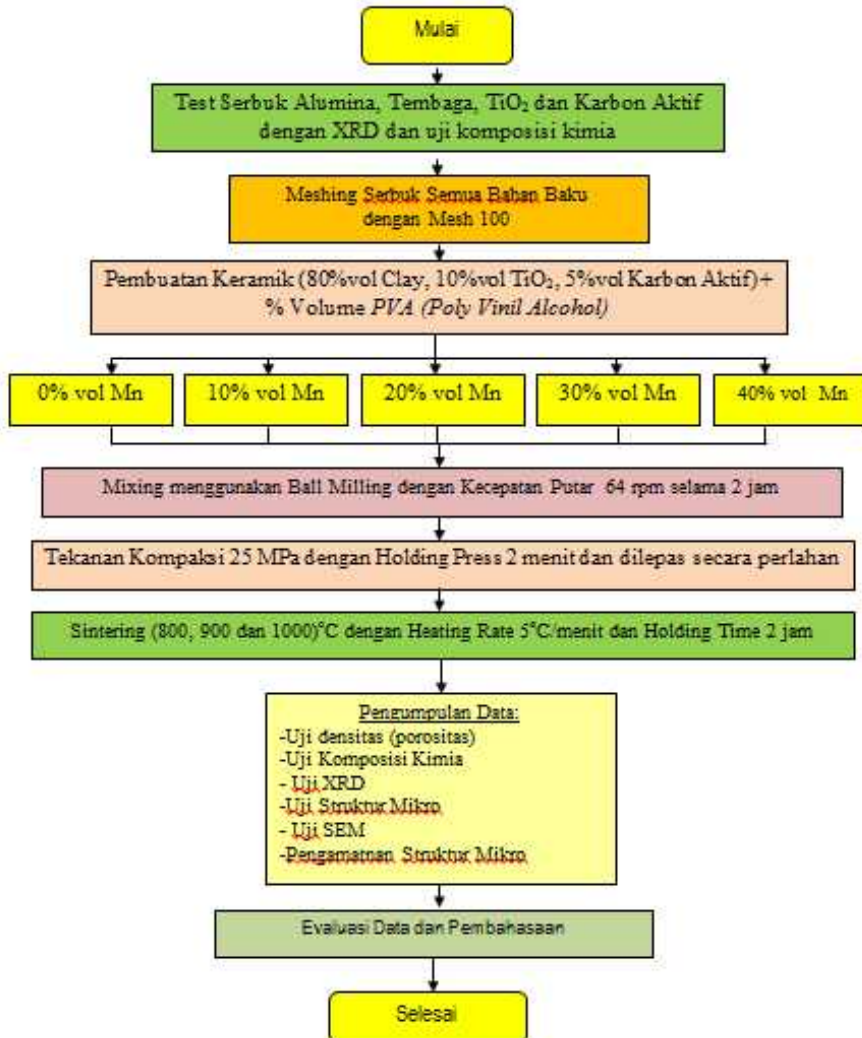
- Penyiapan Clay Banjarnegara, Mangan (Mn),  $\text{TiO}_2$ , Karbon Aktif dan PVA.
- Pengujian komposisi kimia dan XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk semua bahan baku.
- Meshing semua bahan hingga lolos 100 mesh.
- Mixing bahan (50% vol Clay, 20% vol  $\text{TiO}_2$ , 30% vol Karbon Aktif) + PVA (*Poly Vinil Alcohol* dengan ball milling dengan putaran 64 rpm selama 2 jam.
- Pencetakan dengan tekanan press 25 MPa.
- Sintering dilakukan dengan laju pemanasan 5 $^{\circ}\text{C}/\text{menit}$  sampai variasi suhu (800, 900, 1000) $^{\circ}\text{C}$  dan ditahan selama 2 jam. Setelah itu dibiarkan sampai dingin di dalam furnace.
- Pengujian densitas, XRD, komposisi kimia, Scanning Electron Microscopy (SEM).
- Data hasil pengujian dilakukan evaluasi untuk dilakukan pembahasan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Material yang dipergunakan dalam penelitian ini dilakukan pengujian komposisi kimia terlebih dahulu untuk memastikan unsur yang terkandung didalamnya dan hasilnya ditabelkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel Uji Komposisi Kimia

No.	Nama Unsur	Kandungan Unsur(%)*				
		TiO <sub>2</sub>	Clay Banjarnegara	PVA	CuZn	Carbon
1	C	-	5,12	95,91	3,29***	75,49
2	O	40,58	43,36	0,87	20,39	8,98
3	Mg	-	2,08	-	-	0,53
4	Al	2,48	11,84	-	1,93**	1,80
5	Si	0,67	24,71	-	0,65***	4,05
6	Cl	-	-	-	-	0,49
7	K	-	3,17	-	-	2,57
8	Ca	-	1,49	-	-	1,47
9	Ti	56,26	-	-	-	-
10	Fe	-	7,23	-	-	1,82
11	Cu	-	-	3,90**	57,07	2,13
12	Zn	-	-	-	20,33	-
13	Na	-	-	0,93**	-	0,65



Gambar 1. Rancangan Penelitian

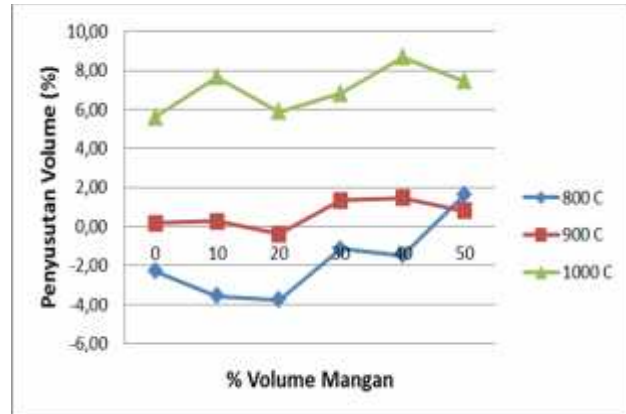
Pembuatan keramik dilakukan dengan membuat green body keramik terlebih dahulu dengan menyiapkan semua bahan (Clay, TiO<sub>2</sub>, Karbon Aktif, PVA dan Mangan) dengan komposisi secara berurutan adalah: (85, 10, 5) % volume dan PVA sebanyak 6 % volume, sedangkan kadar Mangan (Mn) divariasi penambahannya yaitu (0, 10, 20, 30, 40 dan 50) % volume, sedangkan tekanan kompaksi dalam pembuatan green body dilakukan pada tekanan 25 MPa dan di sinter pada suhu sintering 1000°C. Hasil pembuatan material filter seperti tampak pada Gambar 2. Agar asap gas buang kendaraan bermotor dapat bersirkulasi dengan baik didalam muffler maka dibuat pelubangan sebanyak 19 lubang dengan ukuran 3 mm. Sedangkan ukuran material yang dibuat adalah dengan panjang 70 mm dan diameter 50 mm.



Gambar 2. Material Filter dari Keramik

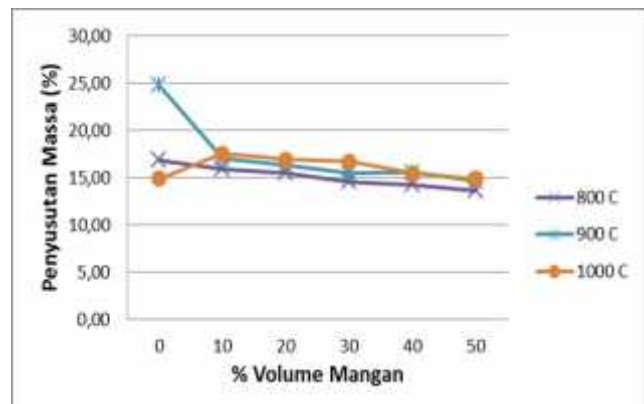
#### Pengujian Penyusutan Volume dan Massa

Hasil pengujian penyusutan volume setelah dilakukan proses sintering pada suhu (800, 900 dan 1000)°C dengan Heating Rate 5°C/menit dan Holding Time 2 jam seperti pada Gambar 3. Dengan bertambahnya suhu sintering dapat meningkatkan penyusutan volume material CMC. Pada suhu sintering 1000°C mengalami harga penyusutan yang paling tinggi untuk masing-masing penambahan kadar Mangan. Penyusutan volume juga mengalami peningkatan dengan bertambahnya kadar Mangan. Pada penambahan Mangan 40 % volume dan suhu sintering 1000°C mengalami penyusutan volume yang paling besar yaitu 8,30 % volume.



Gambar 3. Susut Volume

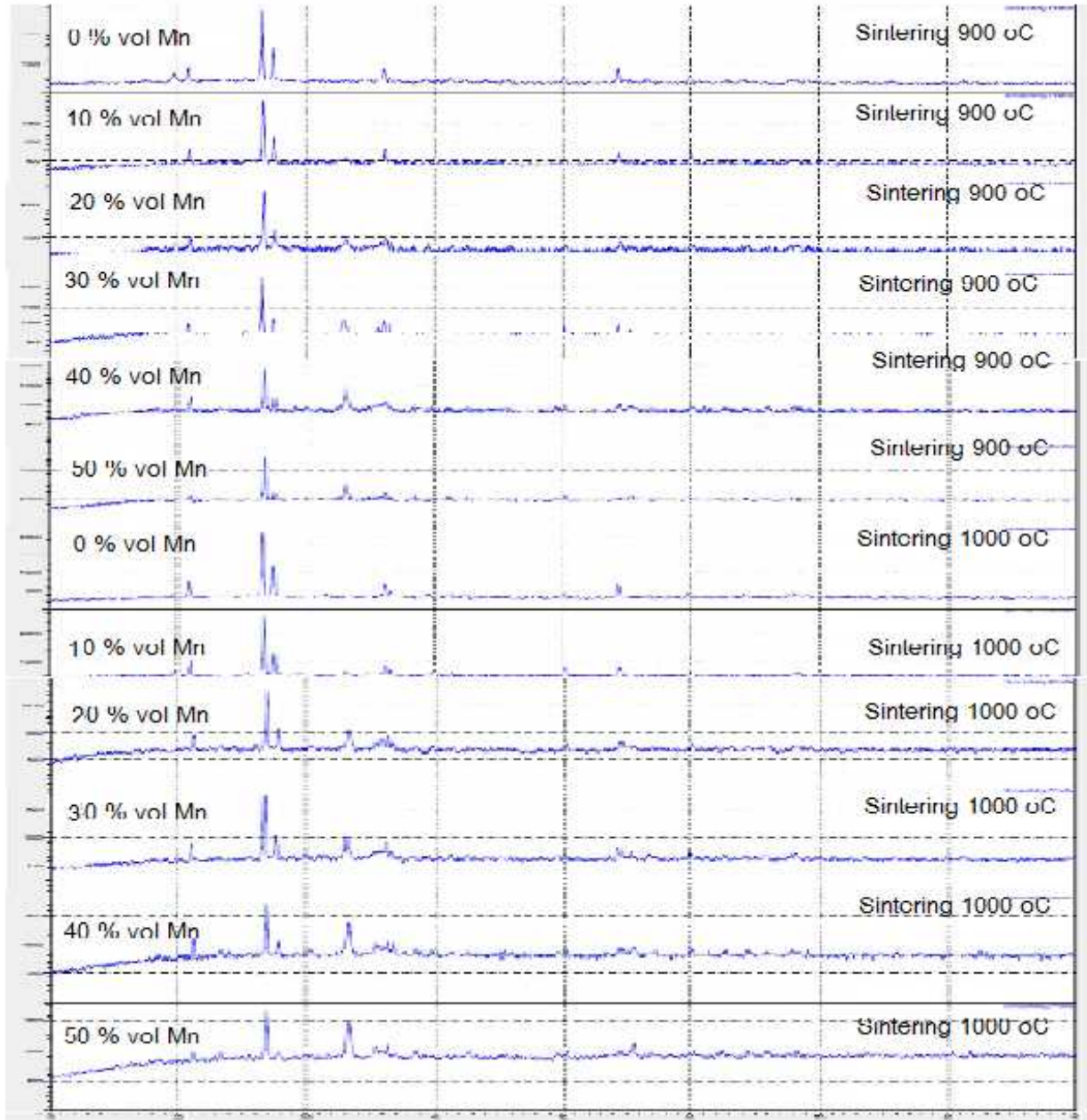
Sedangkan hasil pengujian susut masa material CMC adalah seperti pada Gambar 4. Dengan bertambahnya kandungan Mangan akan mengalami penyusutan yang semakin bertambah secara linier. Demikian halnya dengan bertambahnya suhu sintering juga dapat meningkatkan penyusutan volume bahan keramik dengan aditif Mangan.



Gambar 4. Susut Masa

#### Hasil Uji XRD

Hasil pengujian XRD pada semua keramik dengan berbagai variasi penambahan Mangan dan suhu sintering seperti pada Gambar 5. Hasil XRD tersebut menunjukkan masih tetapnya fase dalam pembuatan keramik. Ini menunjukkan bahwa pengaruh penambahan Mangan dan suhu sintering pada suhu 900°C dan 1000°C tidak menunjukkan berubahnya fase kristalin keramik yang telah dibuat. Sehingga pemakaian suhu sintering tersebut dapat dijadikan rekomendasi dalam pembuatan keramik dengan bahan baku ini.

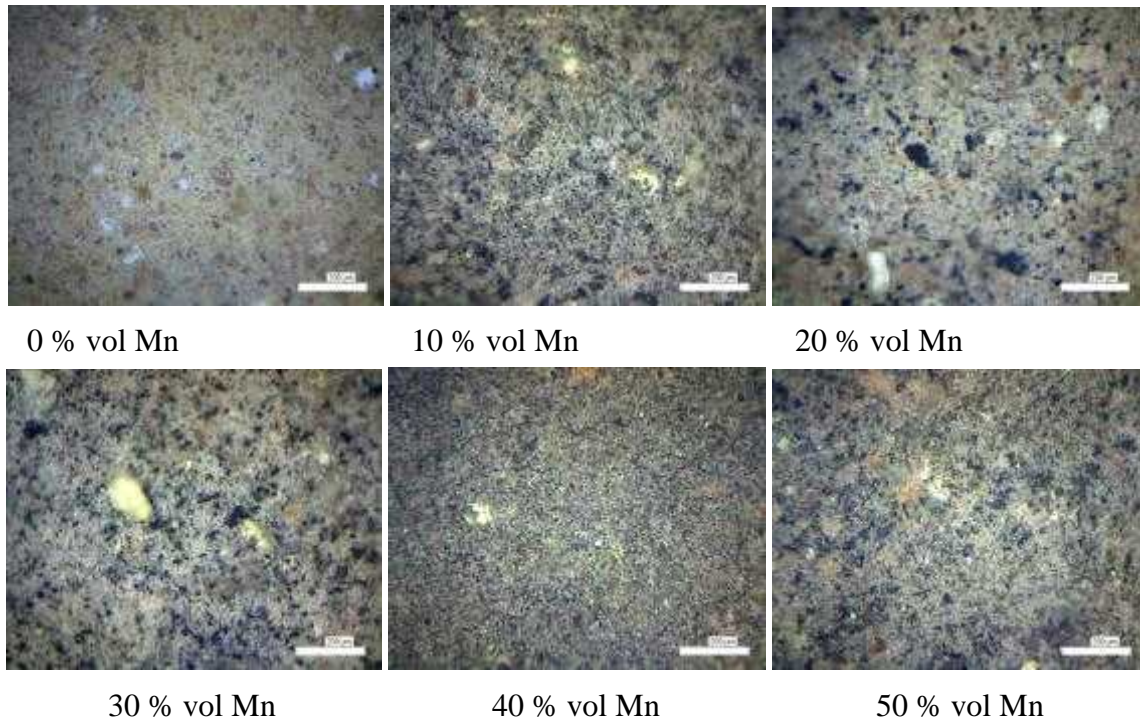


Gambar 5. Uji XRD Keramik dengan Berbagai Variasi % Volume Mn dan Suhu Sintering

**FOTO MIKRO**

Pengujian foto mikro keramik dilakukan dengan cara menyiapkan material keramik dihaluskan terlebih dahulu dengan menggunakan amplas dari yang kasar hingga halus. Pada akhir penghalusan spesimen dilakukan poles dengan Autosol untuk menghasilkan permukaan yang mengkilat.

Setelah itu baru dapat dilakukan pengamatan dengan menggunakan mikroskop dengan pembesaran 100 dan 200 kali pembesaran. Hasil pengamatan foto mikro seperti pada Gambar 6 untuk suhu sintering 900°C dan Gambar 6 untuk suhu sintering 1000°C.



Gambar 6. Foto Mikro Suhu Sintering 1000°C

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan:

1. Pembuatan material filter gas emisi dari bahan Ceramic Matrix Composite (CMC) telah berhasil dibuat dengan penambahan kadar PVA 6 % volume dan variasi penambahan kadar Mangan sebanyak (0, 10, 20, 30, 40 dan 50) % volume.
2. Penambahan kadar PVA yang optimal dalam pembuatan keramik porous dengan bahan baku 50% vol Clay, 20% vol TiO<sub>2</sub>, 30% vol Karbon Aktif yang dicetak dengan tekanan press 25 MPa dan suhu sintering 900°C adalah 6% volume.
3. Penyusutan volume material CMC mengalami peningkatan dengan bertambahnya kadar Mangan. Pada penambahan Mangan 40 % volume dan suhu sintering 1000°C mengalami penyusutan volume yang paling besar yaitu 8,30 % volume.

### Saran:

Proses penekanan dalam pembuatan green body keramik perlu perhatian yang khusus untuk menghindari cacat retak setelah dilakukan proses sintering.

## 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 Pekerti sesuai dengan Surat

Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Program Penelitian Nomor: 006/SP2H/LT/DRPM/II/2016, tanggal 17 Pebruari 2016.

## DAFTAR PUSTAKA

- <sup>i</sup> Statistik Dirjen Perhubungan Darat, 2008
- <sup>ii</sup> Dowden , at all, 1970, *Catalytic Hand Book*, Verlag New York, Inc
- <sup>iii</sup> Murhadi, Suyitno, Vistha. F. M, Khasanah. F dan Murtinah. S, 2013, *Absorpsi Timbal (Pb) Dalam Gas Buang Kendaraan Bermotor Bensin Dengan Karbon Aktif*, PS Teknik Otomotif Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- <sup>iv</sup> Basuki, T. K, 2007, *Penurunan Konsentrasi HC dan NO<sub>2</sub> pada Emisi Kendaraan Bermotor dengan Menggunakan TiO<sub>2</sub> Lokal yang Disisipkan Karbon Aktif*, Prosiding PPI - PDIPTN 200, 7 ISSN 0216 - 3128 105, Pustek Akselerator dan Proses Bahan – BATAN Yogyakarta, 10 Juli 2007
- <sup>v</sup> Ibosuki, Takashi. 1996. *Titanium Dioxide Catalist Break Down Pollutant*. Chemical and Engineering News, Journal.
- <sup>vi</sup> Adamsom. A. W, 1990, *Physical Chemistry Of Surface*, John Wiley and Sons, California.
- <sup>vii</sup> Sudirjo. E, 2006, *Penentuan Distribusi Benzena (Toluena pada Kolom Adsorpsi Fixed-Bed Karbon Aktif)*, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.

- 
- viii Sarumpet. S, 2009, *Pemanfaatan Limbah padat Pulp untuk Pembuatan Keramik Berpori dengan Aditif Clay sebagai Filter gas Buang*, Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara, Medan.
- ix Tambunan. T. D, 2008, *Pembuatan Keramik Berpori sebagai Filter Gas Buang dengan Aditif Karbon aktif*, Program Studi Fisika, Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara, Medan.
- x Nurdiansyah. T, 2008, *Catalytic Converter Berbahan Tanah Liat, Zeolit Dan Clay Banjarnegara Sebagai Katalis Alternatif Untuk Mengurangi Emisi Gas Buang(Desain Rongga Horisontal Vertikal)*, Dept. Of Mechanical Engineering
- xi Hasibuan. R. A, 2012, *Modifikasi Zeolit Alam dengan  $TiO_2$  untuk Mereduksi Emisi gas Buang Kendaraan Bermotor*, Program Studi Teknik Kimia, Universitas Indonesia, Depok.
- xii Wigayati. E. M dan Mulyadi, 1999, *Pembuatan Keramik Berpori dari Siste Oksida Komplek dan Karakterisasinya*, LIPI, ISSN: 0854-6541, Hal, 91-97

#### BIODATA PENULIS

1. Muhammad Subri, ST, MT  
Prodi S1 Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang  
Jl. Kasipah 12 Semarang  
e-mail: subrimakkasau@gmail.com
2. Muh Amin, ST, MT  
Prodi S1 Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang  
Jl. Kasipah 12 Semarang  
e-mail: amin@unimu.ac.id
3. Prof. Ir. Jamasri, PhD  
Jurusan Teknik Mesin dan Industri, FT.  
Universitas Gadjah Mada Yogyakarta  
Jl. Grafika 2, Kampus UGM Yogyakarta,  
55281 Telp/Fax: (0274)521673  
email: jamasri@ugm.ac.id