

## KARAKTERISASI ZEOLIT MANGAN TERMODIFIKASI TiO<sub>2</sub> SERTA APLIKASINYA SEBAGAI FILTER GAS BUANG KENDARAAN BERMOTOR DALAM PENURUNAN KADAR GAS CO, HC, DAN Pb

I. A. G. Widihati, I. Apriliyanto\*, dan J. Sibarani

*Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana  
Jalan Kampus Unud-Jimbaran, Jimbaran-Bali, Indonesia  
\*e-mail: [ivan.apriliyanto02@gmail.com](mailto:ivan.apriliyanto02@gmail.com)*

### ABSTRAK

Modifikasi zeolit mangan dengan TiO<sub>2</sub> sebagai filter gas buang kendaraan bermotor telah berhasil dibuat dengan mencampurkan zeolit mangan dan TiO<sub>2</sub> serta *Poly Vinyl Alcohol* (PVA) sebagai perekat. Pembuatan filter dilakukan dengan metode reaksi padat-padat (*solid State Reaction*) kemudian dikarakterisasi struktur dan kristalinitas kristal menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan morfologi serta komposisi kimia menggunakan *Electron Microscopy - Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS). Hasil karakterisasi XRD dan SEM-EDS menunjukkan bahwa penambahan TiO<sub>2</sub> tidak mempengaruhi struktur kristal dari zeolit mangan yang dapat dilihat dari tidak adanya perubahan  $d_{spacing}$  yang spesifik dan tidak terjadi pergeseran sudut  $2\theta$ , namun terjadi penurunan intensitas puncak difraksi yang menandakan adanya penurunan persen massa salah satu komponen zeolit mangan yakni SiO<sub>2</sub>. Selanjutnya dilakukan pengujian performa filter dalam penurunan kadar gas CO dan HC menggunakan Gas Analyzer dan Spektrofotometer Serapan Atom dalam pengukuran Pb. Hasil pengujian menunjukkan bahwa filter hasil modifikasi zeolit mangan dengan TiO<sub>2</sub> dapat menurunkan kadar CO, HC dan Pb, dimana dengan filter tanpa penambahan TiO<sub>2</sub> dan dengan penambahan TiO<sub>2</sub> 10 dan 20% secara berturut-turut menurunkan kadar CO sebesar 48,29; 58,14; 58,00%; kadar HC sebesar 27,83 ; 37,97 ; 45,81 % ; dan kadar Pb sebesar 90,74 ; 92,08 ; 93,48%.

**Kata kunci:** Hidrokarbon, Karbonmonoksida, Timbal, TiO<sub>2</sub>, Zeolit mangan

### ABSTRACT

Modification of manganese zeolite with TiO<sub>2</sub> as a motor vehicle exhaust gas filter has been successfully made by mixing manganese zeolite and TiO<sub>2</sub> and Poly Vinyl Alcohol (PVA) as an adhesive. Filtering was carried out by the solid state reaction method, the crystal structure and crystallinity were carried out by using X-Ray Diffraction (XRD) as well as the morphology and chemical composition determination were done by using Electron Microscopy - Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS). The results of XRD and SEM-EDS measurements showed that the addition of TiO<sub>2</sub> did not affect the crystal structure of the manganese zeolite which could be seen from the absence of specific  $d_{spacing}$  changes and no  $2\theta$  angular shift, but there was a decrease in diffraction peak intensity which indicated a decrease in mass percentages of one component manganese zeolite namely SiO<sub>2</sub>. Furthermore, a test for filter performance in decreasing CO and HC gas contents was done using a Gas Analyzer and Atomic Absorption Spectrophotometer for Pb measurement. The results showed that the filter modification of manganese zeolite with TiO<sub>2</sub> could reduce the contents of CO, HC and Pb, in which the filter without the addition of TiO<sub>2</sub> and with the addition of 10 and 20% TiO<sub>2</sub> decreased CO content by 48.29; 58.14; 58.00%; HC contents by 27.83; 37.97; 45.81%; and Pb content by 90.74; 92.08; 93.48% respectively.

**Keywords:** Hydrocarbons, Carbonmonoxide, Manganese Zeolites, Lead, TiO<sub>2</sub>

### PENDAHULUAN

Udara merupakan faktor yang penting dalam kehidupan. Namun pada era modern ini, sejalan dengan perkembangan pembangunan di kota-kota besar dan berkembangnya aktivitas transportasi, kualitas udara pun mengalami perubahan yang disebabkan oleh pencemaran

udara, sehingga dapat mengganggu kehidupan manusia, hewan, dan tanaman.

Emisi kendaraan bermotor merupakan sumber pencemaran utama di kota-kota besar di Indonesia. Emisi kendaraan bermotor memberikan kontribusi besar terhadap setengah dari total emisi *Suspended Particulate Matter* (SPM 10), untuk sebagian besar CO, HC, dan

timbangan. Konsentrasi utama terdapat di daerah lalu lintas yang padat, dimana tingkat pencemaran udara sudah atau hampir melampaui standar kualitas udara *ambient*. Di kota-kota besar, kontribusi gas buang kendaraan bermotor sebagai sumber polusi udara mencapai 60-70% (Kementerian Lingkungan Hidup, 2011).

Berdasarkan laporan Status Lingkungan Hidup (SLH) Provinsi Bali tahun 2015 menunjukkan bahwa Kota Denpasar telah mengalami penurunan kualitas udara. Hal ini antara lain disebabkan oleh kegiatan transportasi dan industri. Namun pencemaran udara yang ditimbulkan dari sumber industri ini tidaklah signifikan. Penyebab utama pencemaran udara di Kota Denpasar adalah kegiatan transportasi. Hal ini dibuktikan dengan peningkatan volume kendaraan yang naik secara signifikan dalam kurun waktu enam tahun terakhir dengan peningkatan sebesar 7% untuk setiap tahunnya (SLHD Provinsi Bali, 2015).

Pencemaran udara tampaknya sudah tak dapat terelakkan lagi akibat terus membengkaknya jumlah kendaraan bermotor setiap tahunnya, di Jakarta saja jumlahnya mencapai 6,5 juta unit dengan tingkat pertumbuhan 10% per tahun (Hertanto, 2010). Peningkatan jumlah kendaraan bermotor dapat berakibat pada peningkatan polutan yang dapat berdampak berbahaya terhadap kesehatan manusia serta lingkungan. Gas buang kendaraan bermotor mengandung polutan berupa senyawa hidrokarbon yang terdistribusi dalam fasa gas, fasa cair, maupun fasa padat (Indrawan dkk, 2014).

Salah satu solusinya yang dikembangkan adalah penggunaan katalis yang dapat mengoksidasi polutan-polutan tersebut menjadi senyawa yang relatif lebih aman. Katalis yang digunakan terdiri dari logam platina (Pt), paladium (Pd) dan rodium (Rh) yang disangga pada keramik berbentuk monolitik. Namun karena mahalnya logam mulia seperti platina, paladium dan rodium membuat pabrikan sepeda motor di negara berkembang tidak menggunakannya demi menekan harga jual, sehingga perlu adanya penelitian yang dapat mengurangi polutan-polutan tersebut dengan biaya rendah.

Penelitian yang berkaitan dengan filter gas telah dilakukan oleh Hasibuan (2012) yang melakukan penelitian penurunan konsentrasi gas NO<sub>2</sub> pada emisi gas buang kendaraan

bermotor menggunakan zeolit alam yang disisipi TiO<sub>2</sub>. Hasil yang didapat menunjukkan penurunan konsentrasi gas NO<sub>2</sub> sekitar 45-49 % dibandingkan zeolit alam tanpa penyisipan TiO<sub>2</sub> yang hanya bisa menurunkan NO<sub>2</sub> sebesar 20-24 %.

Pada penelitian ini, akan dilakukan uji kerja zeolit mangan yang dimodifikasi dengan TiO<sub>2</sub> dengan pembuatan material menggunakan prinsip *Ceramic matrix composite (CMC)*. Modifikasi ini memiliki tujuan untuk memperbanyak situs aktif pada zeolit dan memperluas permukaan bidang kontak sehingga diharapkan dapat memperbesar kapasitas adsorpsi gas polutan pada kendaraan bermotor. Zeolit mangan digunakan sebagai penyangga karena memiliki struktur kristal berpori, luas permukaan yang cukup besar, stabilitas termal yang tinggi, tidak beracun, dan harganya murah selain itu memiliki kandungan mangan oksida yang lebih besar yang diketahui mangan oksida telah terbukti dapat menurunkan gas polutan (Handoko, 2003).

Katalis TiO<sub>2</sub> digunakan dalam penelitian karena dapat diregenerasi dengan mudah pada suhu ruangan. Oleh para ahli kimia, TiO<sub>2</sub> merupakan katalis yang cocok untuk dipergunakan karena mempunyai keuntungan di antaranya tidak bersifat toksik, selalu stabil, bekerja pada suhu ruang dan relatif murah harganya. Dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat menurunkan kadar gas CO, HC, dan Pb yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor dan dapat memenuhi standar emisi yang dikeluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup.

## MATERI DAN MOTODE

### Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, zeolit mangan, TiO<sub>2</sub>, *polyvinyl Alcohol (PVA)*, *demineralized water*, HNO<sub>3</sub>, Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, etanol 96%, Plat *stainless*, dan Pipa PVC.

### Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, pipet volume, pipet tetes, gelas ukur, gelas piala, cawan porselin, botol vial, neraca analitik, mortar dan alu, *magnetic stirrer*, neraca analitik, mesin pengayak (Mesh), timbangan, oven, *furnance*, gerinda tangan, bor tangan, las asetelin, sepeda motor, *Scanning Electron Microscopy (SEM)*, *Energy Dispersive Spectrometry (EDS)*, *X-Ray*

*Diffarctometer (XRD), Atomic Absorption Spectroscopy (AAS), Stopwatch, gas analyzer.*

### Cara Kerja

#### Preparasi Zeolite mangan, $TiO_2$ , dan PVA

Zeolit mangan,  $TiO_2$ , dan PVA yang berukuran masih terlalu besar dan kasar dihancurkan menggunakan mortar dan alu hingga menjadi bentur serbuk dengan ukuran butiran yang lebih kecil dan halus, setelah halus zeolit diayak menggunakan mesin pengayak dengan ukuran 100 mesh.

#### Pembuatan Filter ZM- $TiO_2$

Pembuatan filter dilakukan dengan metode *solid-solid reaction* (SSR). Zeolit mangan dan  $TiO_2$  yang sudah dipreparasi dicampurkan dan ditambah PVA sebagai perekat dengan perbandingan yang dapat dilihat pada Tabel 1 Masing-masing campuran ditambahkan 100 mL etanol 96% lalu diaduk dengan *magnetic stirer* selama 5 jam. Kemudian campuran dicetak berbentuk silindris berlubang, pembuatan filter berbentuk silinder berlubang dilakukan agar gas buang kendaraan bermotor dapat bersirkulasi dengan baik dalam knalpot. Campuran yang sudah dicetak, selanjutnya dikeringkan menggunakan oven pada temperatur  $120^\circ C$  selama 5 jam, selanjutnya disintering dengan suhu  $900^\circ C$  dengan percepatan panas  $5^\circ C/menit$  selama 2 jam (Amin, et al.,2016).

**Tabel 1.** Perbandingan Massa  $TiO_2$ , Zeolit, dan PVA

Penggunaan $TiO_2$	0%	10%	20%
Massa Campuran (g)	100	100	100
Massa $TiO_2$ (g)	0	10	20
Massa Zeolit (g)	100	90	80
Massa PVA (g)	10	10	10

#### Karakterisasi Filter ZM- $TiO_2$

ZM- $TiO_2$  dikarakterisasi menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD) untuk struktur dan kiralinitas Kristal dan *Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) untuk melihat morfologi serta komposisi kimianya.

#### Pengukuran Penyusutan Massa

Pengukuran penyusutan massa sampel filter dilakukan setelah sampel melalui proses pembakaran dengan persamaan sebagai berikut:

$$\% \text{ susut massa} = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

$m_0$ : massa sebelum dibakar (gram)

$m_1$ : massa sesudah dibakar (gram)

#### Pengukuran Penyusutan Volume

Pengukuran penyusutan volume sampel filter dilakukan setelah melalui proses pembakaran dengan persamaan sebagai berikut:

$$\% \text{ susut volume} = \frac{v_0 - v_1}{v_0} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

$v_0$ : Volume sebelum dibakar (gram)

$v_1$ : Volume sesudah dibakar (gram)

#### Pengukuran Porositas

Pengukuran porositas filter dilakukan menggunakan teknik perendaman menggunakan standar ASTM C 373-88 dengan persamaan sebagai berikut:

$$\% \text{ porositas} = \left( \frac{B-a}{B-c} \right) \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

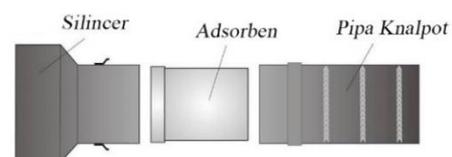
B: Massa basah (gram)

a: Massa kering (gram)

c: Massa gantung (gram)

#### Modifikasi Knalpot

Knalpot dimodifikasi menjadi 3 bagian, yaitu bagian leher knalpot, tempat adsorben, dan *silencer* knalpot. Semua bagian dibuat dengan sistem *knock down* yang bertujuan untuk mempermudah pada proses pengujian performa katalis dan adsorben. Modifikasi knalpot ini diawali dengan membesarkan diameter leher knalpot menjadi 49 mm, kemudian pembuatan tempat adsorben dengan pelat *stainless* berbentuk silinder dengan diameter 48 mm dan diberi lubang lubang pada setiap sisi, pada bagian *silencer* dimodifikasi bagian belakangnya menjadi berdiameter 50 mm. Desain modifikasi knalpot dapat dilihat pada Gambar 1.



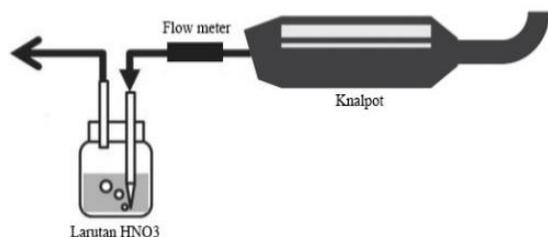
**Gambar 1.** Desain modifikasi knalpot

### Uji Peforma filter Dalam Penurunan Kadar Gas CO dan HC

Filter yang sudah dibuat dipasangkan pada tempat yang sudah disiapkan pada knalpot. Sebelum dilakukan pengujian dengan *gas analyzer*, mesin dipanaskan selama 10 menit dalam kondisi standar. Proses pengujian emisi dilakukan pada putaran 1500 rpm selama 10 menit. Pengujian ini dilakukan dengan filter berbagai variasi komposisi zeolit mangan dengan  $\text{TiO}_2$  dan tanpa filter sebagai kontrol.

### Uji peforma adsoben Dalam Penurunan Kadar Pb

Adsorben yang sudah dibuat dipasangkan pada tempat yang sudah disiapkan pada knalpot. Selanjutnya pada knalpot dipasang pipa penyalur gas yang sudah dipasangkan flowmeter ke arah larutan botol penjerap. Susunan peralatan untuk uji peforma adsorben dapat dilihat pada Gambar 3.2. Sebelum dilakukan pengujian, mesin dipanaskan selama 10 menit dalam kondisi standar. Sebanyak 20 mL larutan  $\text{HNO}_3$  0,1 M dimasukkan ke dalam botol penjerap, kemudian mesin dinyalakan selama 10 menit pada putaran 1500 rpm selama 10 menit. Selanjutnya, larutan di dalam botol penjerap dipindahkan ke botol vial. Pengujian ini dilakukan dengan katalis berbagai variasi komposisi zeolit mangan dengan  $\text{TiO}_2$  dan tanpa katalis sebagai kontrol. Larutan yang di hasilkan diukur kadar Pbnya menggunakan AAS pada panjang gelombang 217,0 nm (siaka et al., 2006).



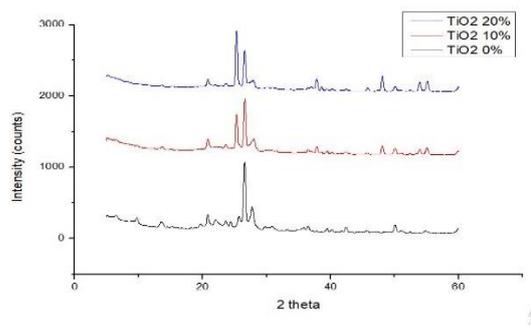
**Gambar 2.** Susunan Peralatan untuk Uji Performa Adsorben

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakterisasi Dengan Difraksi Sinar-X

Filter hasil modifikasi zeolit mangan dengan  $\text{TiO}_2$  (ZM- $\text{TiO}_2$ ) dikarakterisasi dengan difraksi sinar-X (XRD) dengan range  $5^\circ$  sampai  $60^\circ$ , menggunakan radiasi  $\text{CuK}\alpha$  sebesar 1,5406 Å, dengan tegangan 40 kV dan arus 30 mA. Hasil analisis difraktogram digunakan untuk

membandingkan nilai  $2\theta$  dari masing masing filter ZM- $\text{TiO}_2$  dengan variasi  $\text{TiO}_2$  dan menentukan struktur kristal dan kristalinitas. Nilai  $d_{spacing}$  puncak-puncak difraksi dari filter ZM- $\text{TiO}_2$  dicocokkan dengan  $d_{spacing}$  standar pada data *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS). Difraktogram sinar-X filter ZM- $\text{TiO}_2$  ditunjukkan oleh Gambar 3.



**Gambar 3.** Hasil difraktogram sinar-X dari filter ZM- $\text{TiO}_2$  berbagai variasi

Difraktogram sinar X menunjukkan bahwa refleksi intensitas yang dimiliki relatif ramping hal tersebut menandakan bahwa tingkat kristalinitas filter ZM- $\text{TiO}_2$  dikategorikan baik. Menurut West (1984) intensitas difraksi sinar X mengindikasikan kesempurnaan kital dan kerapatan susunan atom dalam kristal. Semakin ramping refleksi intensitas suatu material maka kristalinitanya semakin baik dengan susunan atom semakin rapat.

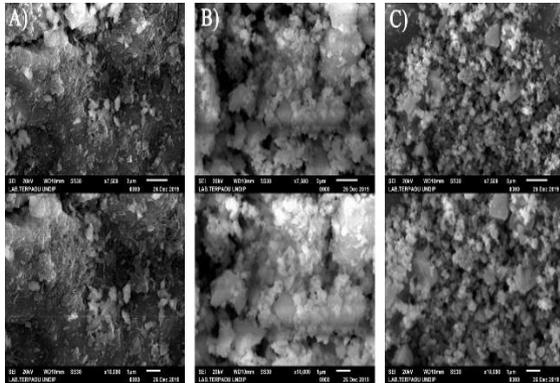
Difraktogram juga menunjukkan bahwa dengan penambahan  $\text{TiO}_2$  tidak mempengaruhi struktur kristal dari zeolit mangan yang terlihat dari tidak adanya perubahan  $d_{spacing}$  yang spesifik dan tidak terjadi pergeseran sudut  $2\theta$ . Terjadinya penurunan intensitas puncak difraksi yang menandakan adanya penurunan % massa salah satu komponen zeolit mangan yakni  $\text{SiO}_2$  yang berada pada  $2\theta$  26.6257 dan 26.6059. Keberadaan senyawa  $\text{TiO}_2$  karena penambahan  $\text{TiO}_2$  10% dan 20% teridentifikasi pada sudut  $2\theta$  berturut-turut pada 25.2968 dan  $2\theta$  25.3079

Data difraktogram dapat digunakan untuk menentukan ukuran kristal  $\text{TiO}_2$  berdasarkan nilai FWHM (*Full Widht and Half Maximum*) pada berbagai puncak dengan menggunakan persamaan Scherrer berikut ini,

$$D = \frac{k \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos \theta} \quad (4)$$

dengan  $D$  adalah ukuran kristal,  $\lambda = 0,154060$  nm adalah panjang gelombang sinar X yang menggunakan Cu sebagai sumber lampunya,  $\beta$  adalah nilai FWHM masing-masing puncak karakterisasi,  $\theta$  adalah sudut difraksi, dan  $k = 0,94$  yang merupakan suatu konstanta (Agustin, 2013). Dengan menggunakan persamaan Scherrer di atas diperoleh ukuran kristal zeolit mangan memiliki ukuran kristal rata-rata 1,79 nm sedangkan dengan penambahan  $\text{TiO}_2$  10% dan 20% memiliki ukuran kristal masing-masing sebesar 1,41 nm dan 1,53 nm. Berdasarkan perhitungan tersebut ukuran Kristal dikategorikan berukuran nano karena berada pada rentang 1-100 nm (Satoshi, 2013).

### Karakterisasi SEM-EDS



**Gambar 4.** Hasil karakterisasi SEM

Berdasarkan Gambar 4.3 A dapat diketahui bahwa zeolit mangan tanpa penambahan  $\text{TiO}_2$  menunjukkan morfologi permukaan yang menggumpal dan bentuk tidak beraturan, sedangkan pada Gambar 4.3 B dan C menunjukan adanya pengaruh penambahan  $\text{TiO}_2$  terhadap permukaan zeolit mangan yang tersebar secara acak di permukaan. Menurut Chong (2015)  $\text{TiO}_2$  hanya dapat terdistribusi di permukaan zeolit karena ukuran pori zeolit lebih kecil dibandingkan dengan ukuran  $\text{TiO}_2$  yang ditambahkan, dimana ukuran pori zeolit rata-rata 0,4 nm sampai 1,3 nm sedangkan  $\text{TiO}_2$  yang terbentuk dari hasil modifikasi berukuran 1,41 dan 1.5 nm. Adanya penambahan  $\text{TiO}_2$  dalam zeolit mangan menyebabkan morfologi dari komposit yang dihasilkan lebih homogen jika dibandingkan dengan zolit mangan tanpa  $\text{TiO}_2$ .

Hasil SEM juga diperkuat dengan adanya data EDS, yaitu menyatakan adanya kenaikan unsur  $\text{TiO}_2$  dalam filter ZM- $\text{TiO}_2$  yang

menyatakan  $\text{TiO}_2$  berhasil terembankan. Komposisi senyawa kimia pada filter ZM- $\text{TiO}_2$  dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Komposisi senyawa kimia pada ZM- $\text{TiO}_2$

Senyawa Kimia	% Massa		
	$\text{TiO}_2$ 0%	$\text{TiO}_2$ 10%	$\text{TiO}_2$ 20%
C	0	9.86	8.07
$\text{Na}_2\text{O}_3$	2.08	0.57	1.33
$\text{Al}_2\text{O}_3$	13.98	3.28	7.6
$\text{SiO}_2$	73.57	70.76	52.54
$\text{SO}_3$	1.46	0	0
$\text{K}_2\text{O}$	3.23	0.64	2.37
CaO	4.33	0.5	1.37
$\text{TiO}_2$	0	13.48	23.68
FeO	1.35	0	1.55
CuO	0	0.91	1.49
Total	100	100	100

Berdasarkan hasil EDS terlihat bahwa terjadi perubahan komposisi senyawa kimia pada zeolit mangan akibat penambahan  $\text{TiO}_2$ . Penambahan  $\text{TiO}_2$  sebesar 10 dan 20% meningkatkan persen massa C secara berturut-turut sebesar 9,86 dan 8,07. Penambahan  $\text{TiO}_2$  10% dan 20% menurunkan persen massa  $\text{Al}_2\text{O}_3$  menjadi sebesar 3,28 dan 7,6. Perubahan persen massa  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dapat disebabkan karena zeolit mangan mengalami substitusi isomorfis, dimana posisi  $\text{Al}^{3+}$  digantikan oleh  $\text{Ti}^{4+}$  dalam sebagian struktur  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Yunfei Xi *et al.*, 2005). Persen massa  $\text{SO}_3$  juga mengalami perubahan karena penambahan  $\text{TiO}_2$  dimana dengan penambahan  $\text{TiO}_2$  10% dan 20% tidak terdapat lagi kandungan  $\text{SO}_3$  pada zeolit mangan termodifikasi. Penambahan  $\text{TiO}_2$  juga berpengaruh kepada persen massa  $\text{SiO}_2$  dimana penambahan  $\text{TiO}_2$  10% dan 20% menurunkan persen massa  $\text{SiO}_2$  menjadi 70,76 dan 52,54. Hasil ini sesuai dengan hasil karakterisasi menggunakan XRD yang memperlihatkan terjadinya penurunan pada puncak difraksi  $\text{SiO}_2$ .

### Susut Massa

Hasil pengukuran susut massa yang dapat dilihat pada Tabel 3. menunjukkan bahwa ada nilai penyusutan massa yang berbeda pada setiap sampel filter setelah melalui proses sintering. Perbedaan persentase susut massa menunjukkan keberhasilan proses sintering yang berbeda. ZM- $\text{TiO}_2$  10% mengalami proses sintering paling baik karena memiliki persentase susut massa yang lebih tinggi

dibandingkan dengan ZM-TiO<sub>2</sub> 20% dan ZM tanpa penambahan TiO<sub>2</sub>.

**Tabel 3.** Hasil pengukuran susut massa

Penggunaan TiO <sub>2</sub> (%)	massa sebelum ditanur (g)	Massa sesudah ditanur (g)	Susut Massa %
0	77.33	74.61	3.52
10	77.7	73.71	5.14
20	77.68	74.18	4.50

**Susut Volume**

Hasil pengukuran susut volume yang dapat dilihat pada Tabel 4. menunjukkan bahwa ada nilai penyusutan volume yang berbeda pada setiap sampel filter setelah melalui proses sintering, namun perbedaan susut volume setiap sampel filter tidak signifikan antara besarnya penyusutan volume dengan penambahan TiO<sub>2</sub> sehingga kondisi awal setiap sampel dianggap homogen.

**Tabel 4.** Hasil pengukuran susut volume

Penggunaan TiO <sub>2</sub> (%)	Volume sebelum ditanur (CM <sup>3</sup> )	Volume sesudah ditanur (CM <sup>3</sup> )	Susut Volume %
0	63.73	53.06	16.73
10	63.73	53.14	16.61
20	63.73	53.13	16.63

**Porositas**

Hasil pengukuran porositas yang dapat dilihat pada Tabel 5. menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan dengan penambahan TiO<sub>2</sub> karena dalam pembuatan filter menggunakan suhu yang sama. Peningkatan nilai porositas dapat di sebabkan karena sebagian material penyusun filter berubah ke fasa gas, sehingga membentuk ruang kosong antara partikelnya. Semakin banyak ruang kosong maka nilai porositas semakin tinggi (Setiawan, M., Yulianto, & Aji, 2017).

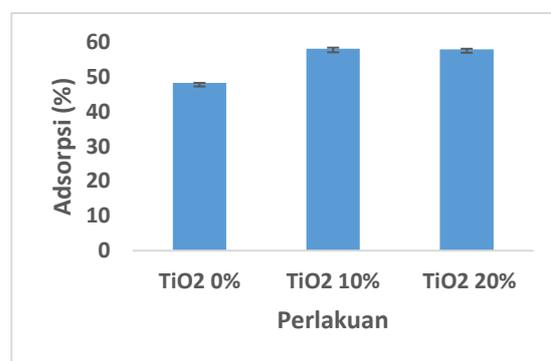
**Tabel 5.** Hasil Pengukuran Porositas

Penggunaan TiO <sub>2</sub> (%)	Massa kering (g)	Massa basah (g)	Porositas (%)
0	73.79	98.48	25.07108
10	71.17	97.28	26.840049
20	74.11	99.92	25.830665

**Pengukuran Gas Karbonmonoksida (CO)**

Hasil pengujian emisi CO menggunakan filter didapat hasil kadar emisi

lebih rendah bila dibandingkan dengan tanpa filter. Persentase adsorpsi CO pada penambahan TiO<sub>2</sub> 10% dan 20% tidak berbeda dimana pada penambahan TiO<sub>2</sub> 10% memiliki nilai rata-rata adsorpsi sebesar 58,14% dan pada penambahan TiO<sub>2</sub> 20% memiliki nilai rata-rata adsorpsi sebesar 58,00%. Filter tanpa penambahan TiO<sub>2</sub> memiliki nilai adsorpsi lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil modifikasi menggunakan TiO<sub>2</sub> yaitu sebesar 48.28%. Hasil pengujian kadar CO tanpa filter dan dengan filter masih memenuhi standar SNI yaitu tidak melebihi dari 4,5% volume gas buang. Hasil persentase pengurangan kadar CO dapat dilihat pada Gambar 5.



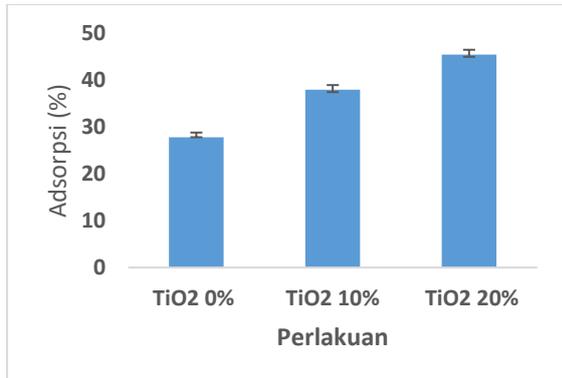
**Gambar 5.** Grafik adsorpsi gas karbonmonoksida (CO)

Hasil uji performa menunjukkan bahwa filter berbahan zeolit mangan termodifikasi TiO<sub>2</sub> mempunyai kemampuan adsorpsi terhadap gas buang kendaraan bermotor.

**Pengukuran Gas Hidrokarbon (HC)**

Hasil pengujian emisi HC menggunakan filter menunjukkan bahwa kadar emisi HC lebih rendah bila dibandingkan dengan tanpa filter. Persentase kadar HC pada variasi TiO<sub>2</sub> memperlihatkan bahwa filter dengan TiO<sub>2</sub> 20 % dapat mengurangi kadar HC rata-rata sebesar 45.51%, dan filter tanpa TiO<sub>2</sub> mengurangi kadar HC paling rendah yaitu sebesar 27,83%. Ini menunjukkan bahwa TiO<sub>2</sub> berperan sebagai katalis pengoksidasi yang dapat mengubah HC dan CO menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Jika dibandingkan hasilnya, filter dengan TiO<sub>2</sub> mempunyai kemampuan menurunkan kadar CO yang lebih tinggi dibandingkan gas HC. Hal ini dapat disebabkan karena bentuk molekul CO lebih sederhana dibandingkan dengan HC sehingga gas CO dimungkinkan lebih banyak teroksidasi dibandingkan dengan gas HC di dalam filter. Hasil lengkap persentase

pengurangan kadar CO dapat dilihat pada Gambar 6.



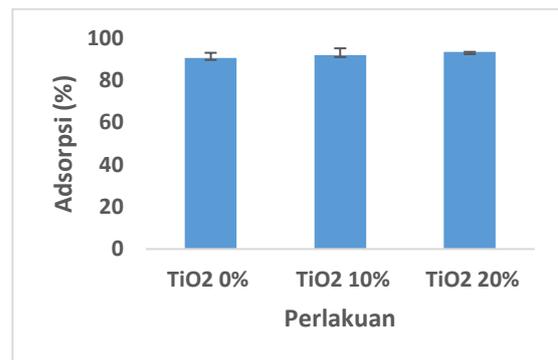
**Gambar 6.** Grafik adsorpsi gas hidrkarbon (HC)

Hasil pengujian kadar hidrokarbon (HC) tanpa penggunaan filter masih memenuhi standar SNI yaitu tidak melebihi dari 2000 ppm. Dari uji performa menggunakan filter terlihat juga bahwa makin banyak  $\text{TiO}_2$  yang ditambahkan maka makin tinggi juga persentase pengurangan kadar gas HC dan CO. Zeolit dapat digunakan sebagai filter hidrokarbon (HC) dan karbonmonoksida (CO), karena zeolit mampu melakukan pertukaran kation (Andronikasthveli *et al.*, 1970). Pertukaran kation terjadi akibat sifat zeolit yang memiliki *cation exchange capacity* (CEC) yang cukup besar akibatnya terjadi ikatan molekul gas dengan permukaan adsorben, sehingga proses adsorpsi yang terjadi tidak hanya adsorpsi fisik tetapi juga adsorpsi kimia. Proses oksidasi HC sendiri sangat berhubungan erat dengan emisi CO, karena hasil oksidasi tidak sempurna dari HC adalah CO. reaksi oksidasi sebenarnya akan berlangsung sempurna apabila perbandingan antara oksigen dan bahan bakar seimbang. Emisi HC yang terbesar berasal dari bahan bakar yang tidak habis terbakar di ruang bakar saat saluran buang terbuka oleh karena itu emisi HC memakai konsep ppm (Faiz, *et al.*, 1996).

### Pengukuran Timbal

Hasil pengujian emisi Pb menggunakan filter jauh lebih rendah bila dibandingkan tanpa filter. Persentase adsorpsi Pb pada variasi  $\text{TiO}_2$  memperlihatkan bahwa pembuatan filter dengan  $\text{TiO}_2$  20 % memiliki nilai rata-rata adsorpsi paling tinggi yaitu 93.48% dan pembuatan filter tanpa menggunakan  $\text{TiO}_2$

memiliki nilai adsorpsi yang paling rendah yaitu sebesar 90.74%. Hasil pengujian kadar Timbal (Pb) tanpa penggunaan filter dan menggunakan filter masih terdapat timbal dalam emisi gas buang. hal ini menandakan bahwa bahan bakar yang digunakan yaitu bensin jenis premium masih mengandung tambahan bahan TEL (Tetra Etil Lead) untuk meningkatkan nilai oktan bensin. hasil persentase adsorpsi terhadap kadar CO dapat dilihat pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Grafik Adsorpsi Timbal (Pb)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa filter berbahan zeolit mangan termodifikasi  $\text{TiO}_2$  dapat mengurangi timbal (Pb) hasil emisi kendaraan bermotor. Proses yang terjadi yaitu adsorpsi dimana Pb berinteraksi dengan permukaan adsorben. Proses adsorpsi fisik terjadi saat molekul timbal (Pb) menempel di permukaan adsorben kemudian masuk ke dalam pori-pori adsorben. Hal ini menjadi suatu kelebihan dibandingkan dengan penggunaan katalitik konverter berbahan logam mulia yang tidak mampu mengurangi kandungan emisi timbal (Pb) pada gas buang kendaraan bermotor.

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Persentase pengurangan Gas CO, HC, dan Pb dengan komposisi zeolit mangan tanpa penambahan  $\text{TiO}_2$  adalah CO sebesar 48%, HC 27%, dan Pb 90.73%. Zeolit mangan- $\text{TiO}_2$  10% menurunkan kadar CO sebesar 58.15%, HC sebesar 37.97%, dan Pb sebesar 92.11%. Zeolit mangan- $\text{TiO}_2$  20% menurunkan kadar CO sebesar 58.00%, HC sebesar 45.51 dan Pb sebesar 93.51% dan telah memenuhi Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 05 tahun

2006 dengan cara pengujian SNI 19-17188.1-2005.

### Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai masa pakai filter berbahan Zeolit mangan termodifikasi TiO<sub>2</sub>. Dan Perlu dilakukan penambahan variasi temperatur dan penggunaan katalis lainnya, seperti ZnO dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

### DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, T., Prasetya, N., Widodo, D. 2013. Sintesis Komposit TiO<sub>2</sub>-Karbon Aktif untuk Fotokatalisis Larutan Zat Warna Direct Blue 19 dan Ion Logam Pb<sup>2+</sup> dan Cd<sup>2+</sup> secara Simultan, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 16(3): 102-107.
- Amin, M., Subri, M., Jasmasri. 2016. Karakterisasi Penggunaan Bahan Absorben dan Katalis dalam Pembuatan Material CMC untuk Filter Gas Buang Kendaraan Bermotor, *Mekanika*, 15(2): 16-23.
- Andronikashvili T. G., Tsisishvili, G., Sabelashvili, S. H. D. 1970 Chromatographic Properties of Tyoe X-Zeolite Containing Alkali Metal Ions. *Journal of Chromathography*. 5217.
- Chong, M. N., Tneu, Z. Y., Poh, P. E., Jin, B., & Aryal, R., 2015. Synthesis, characterisation and application of TiO<sub>2</sub>-zeolite nanocomposites for the advanced treatment of industrial dye wastewater. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 288 - 296.
- Faiz A., Weaver, C. S., Walsh, M. 1996. *Air Pollution from Motor Vehicler: Standar and Tecnologies for Controlling Emissions*. The World Bank. Washington DC.
- Handoko, Setiawan, D. 2003. Pengaruh Perlakuan asam, hidrotermal, dan Impregnasi Logam Kromium paa zeolit alam dalam preparasi katalis, *Jurnal Ilmu dasar*. FMIPA UNEJ. Jember.
- Hasibuan, R. A. 2012. Modifikasi Zeolit Alam Dengan TiO<sub>2</sub> Untuk Mereduksi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor, Skripsi, Depok: Universitas Indonesia.
- Horikoshi, S. and Serpone, N. 2013. *Microwaves in Nanoparticle Synthesis*, First Edition. Edited by Satoshi Horikoshi and Nick Serpone, *Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA*. 1.
- Indrawan, I. T., Sudibyoy, 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.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2011. *Indonesia Fuel Quality Monitoring*. Jakarta.
- Othmer, D. F., and Kirk, R.E. 1997. *Encyclopedia of Chemical Technology*, 4nd edition. 23. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Setiawan, F., M., L. Arifani., Yulianto, A., dan Aji, M. P. 2017. Analisis Porositas dan Kuat Tekan Campuran Tanah Liat dan Kuarsa Sebagai Keramik. *Jurnal MIPA*. 40(1): 24-27.
- Siaka, M., Owens, C. M., and Birch, G. F. 2006. Evaluation of Some Digestion Methods forthe Determination of Heavy Metals in Sediment Samples by Flame-AAS. *Analytical Letters*. 31(4): 703-718.
- Status Lingkungan Hidup Daerah (SLDH) Kota Denpasar. 2015. Pemerintah Kota Denpasar. Provinsi Bali.
- West, A. R. 1984. *Solid State Chemistry and Its Applications*, New York: John Willey & Sons.
- Xi, Y., Frost, R. L, He, Klopogge, H. T., Bostrom, T. 2005, Madification Of Wyoming Montmorillonite Surface Using A Cationic Surfactant. *Amerian Chemical Society Langmuir*. 21: 8675-8680.