

KOMBINASI KERAMIK BERPORI DENGAN KATALIS TiO_2 UNTUK PENURUNAN GAS CO PADA EMISI GAS BUANG KENDARAAN BERMOTOR

Dita Ayu Wulandari dan Okik Hendriyanto

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur
Email: dita_ayu10@ymail.com

ABSTRAK

Kesadaran masyarakat akan udara akibat gas buang carbon monoksida dari kendaraan bermotor di kota-kota besar semakin tinggi yang ada di Indonesia sendiri, prosentase pencemaran udara yang disebabkan oleh emisi gas buang kendaraan bermotor mencapai kurang lebih 70 %. Keluarnya zat-zat berbahaya seperti gas carbon monoksida yang dikeluarkan oleh emisi gas buang kendaraan bermotor dapat menimbulkan dampak negatif, baik terhadap kesehatan manusia maupun terhadap lingkungan. Dengan demikian telah dilakukan penelitian sebagai alternatif untuk dapat menurunkan emisi gas buang karbon monoksida dengan metode adsorpsi karbon monoksida pemasangan filter keramik berpori dengan katalis TiO_2 untuk menurunkan emisi gas buang CO pada kendaraan bermotor. Dengan menentukan kadar TiO_2 dan panjang media filter. Dari hasil penelitian ini mendapatkan penurunan gas CO sebesar 58,10% dengan komposisi TiO_2 10% dengan panjang media filter keramik berpori 20cm.

Kata kunci : Emisi gas buang CO, Keramik Berpori, Katalis TiO_2

ABSTRACT

Public awareness of air due to carbon monoxide exhaust from motor vehicles in big cities is getting higher. In Indonesia, the percentage of air pollutions caused by motor vehicle exhaust emissions reaches approximately 70%. the release of harmful substances such as carbon monoxide gas released by motor vehicle exhaust emissions can have negative impact, to human health nor environment. Thus, research has been conducted as an alternative to reduce carbon monoxide exhaust emissions by adsorption method of porous ceramic filter installation with TiO_2 catalyst to reduce CO emissions in motor vehicles. This method is done by determining TiO_2 level and long porous ceramic of the filter. From the result of this research get a decrease of CO gas equal to 58,10% with composition of TiO_2 10 % at long porous ceramic of the filter. 20 cm.

Keywords: CO emissions, Porous Ceramics, TiO_2 Catalysts

PENDAHULUAN

Di kota-kota besar kualitas udara telah tercemar oleh berbagai macam polutan yang membahayakan bagi kesehatan manusia terutama di kota Surabaya. Perkembangan kepemilikan kendaraan bermotor pada masyarakat Indonesia terus mengalami peningkatan, termasuk salah satu akibat tercemarnya kualitas udara. 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 terutama di kota-kota besar seperti Surabaya saat ini sudah tercemar oleh berbagai macam polutan yang membahayakan kesehatan dan lingkungan, seperti: Karbon Monoksida (CO), berbagai senyawa Hidrokarbon (HC), Oksida Nitrogen (Nox), Sulfur (Sox), dan Timbal (Pb). Gas CO, Nox, CO₂ dan HC selama ini merupakan penyebab berbagai penyakit, misalnya: berkembangnya berbagai macam penyakit menular, daya tahan tubuh menurun, meningkatnya penyakit mata (katarak dan kebutaan) dan kanker kulit. (Hasibuan. R.A, 2012).

Konsentrasi CO merupakan parameter pencemar udara yang perlu diperhatikan apabila gas tersebut di atas standar baku mutu cukup berbahaya bagi kesehatan manusia bahkan dapat mengakibatkan kematian. Kepadatan lalu lintas dapat mengakibatkan kadar CO total yang ada di atmosfer sebanding. Daya ikat CO terhadap Hb (darah) sangat besar yaitu 240 kali dibandingkan dengan daya ikat CO terhadap O₂ efeknya sangat merugikan kesehatan manusia. (Tugaswati 2007 dalam Basuki 2008). Gas CO sebagian besar berasal dari pembakaran bahan fosil dengan udara, berupa gas buangan. Kota besar yang padat lalu lintasnya akan banyak menghasilkan gas CO sehingga kadar CO dalam udara relatif tinggi dibandingkan dengan daerah pedesaan. Menghisap gas CO yang keluar dari knalpot mobil di ruang garasi tertutup telah banyak menyebabkan kematian. (Fardiaz, S, 1992).

Bedasarkan masalah tersebut, maka diperlukan usaha untuk menurunkan kadar CO pada emisi gas buang kendaraan bermotor diperlukan suatu inovasi alat yang berfungsi untuk mengurangi

bahaya dari emisi gas buang dengan cara adsorpsi. (Irwan. B, 2003). Untuk itu di butuhnya pembuatan filter gas emisi kendaraan menggunakan paduan bahan yang dapat menurunkan emisi gas dengan cara adsorpsi bahan dengan sifat katalis (Muh Amin, dkk, 2016)

Keramik berpori telah berhasil dibuat dan dimanfaatkan sebagai filter dalam penuangan logam cair, sebagai katalisator yang biasa ditempatkan dalam sistem gas buang kendaraan bermotor (Van Vlack, 1985 dalam Tao N, 2008). Keramik berpori dengan bahan dasar tanah liat mempunyai kandungan Al₂O₃ yang dapat memberikan efek yang lebih baik apabila dipadukan dengan TiO₂. TiO₂ merupakan katalis yang cocok untuk digunakan karena mempunyai keuntungan diantaranya tidak berifat beracun, selalu stabil dan bekerja pada suhu ruangan serta ekonomis. Penggunaan Al₂O₃ dan TiO₂ sebagai katalis untuk mempercepat terjadinya penyerapan gas (Basuki 2007).

Oleh karena itu pada penelitian ini menggunakan pembuatan filter gas buang yaitu keramik berpori tanah liat paduan katalis TiO₂ untuk mereduksi gas CO.

Pencemaran Udara

Salah satu jenis pencemaran lingkungan adalah pencemaran udara, salah satu penyebabnya adalah manusia. Faktor akibat perbuatan manusia yang pada umumnya yaitu yang berasal dari sumber bergerak (kendaraan bermotor, kapal terbang, dll) dan sumber tidak bergerak yaitu kegiatan industri (Wardhana, 2001).

Emisi Gas Buang

Kendaraan bermotor yang digunakan sekarang ini adalah penyebab polusi. Kebanyakan dari kendaraan bermotor mengubah fosil menjadi energi mekanik dan 40% energi fosil diubah menjadi energi panas yang pada akhirnya memanaskan lingkungan.

Gas buang kendaraan bermotor merupakan sumber polusi udara yang utama di kawasan perkotaan. Emisi kendaraan bermotor disebabkan oleh perilaku mengemudi dan kondisi lingkungan. Emisi kendaraan bermotor akan berbeda dari satu daerah dengan daerah

lainnya dikarenakan adanya perbedaan atau variasi disain jalan serta kondisi lalu lintas (Tarigan, A, 2009).

Polusi yang diakibatkan dari buangan kendaraan bermotor adalah exhaust gas dan hidrokarbon yang diakibatkan oleh penguapan bahan bakar. Kendaraan bermotor yang dijalankan di bawah temperatur normal akan boros pada pemakaian bahan bakar dan akan lebih banyak emisi yang dihasilkan dibandingkan bila mesin telah panas (Hickman, 1999 dalam Tarigan, A, 2009).

Kandungan Gas pada Kendaraan Bermotor

Tidak lepas dari kehidupan sehari – hari semua orang perlu namanya alat transportasi, yang mempermudah segala keperluan. Alat transportasi sendiri juga menghasilkan gas buang yang mempengaruhi kesehatan makhluk hidup di sekitarnya.

CO berasal dari manusia karena pembakaran bensin tidak sempurna dalam kendaraan. Pembakaran di perindustrian, pembangkit listrik, pemanas rumah, pembakaran di pertanian, dan sebagainya gas ini tidak berwarna atau berbau, tetapi amat berbahaya. Hemoglobin yang biasa membawa oksigen dari udara rupanya lebih tertarik kepada CO. Akan terbentuklah senyawa CO dengan hemoglobin dengan ikatan kimia yang lebih kuat dari ikatan dengan oksigen. Molekul karboksihemoglobin ini sangat berbahaya dan untuk beberapa jam tidak dapat lagi mengikat oksigen yang diperlukan tubuh. Menghisap gas CO yang keluar dari knalpot mobil di ruang garasi tertutup telah banyak menyebabkan kematian.

Karbon monoksida atau CO adalah suatu gas yang tidak berwarna, tidak berbau dan juga tidak berasa. Gas CO dapat berbentuk cairan pada suhu di bawah -129°C . Gas CO sebagian besar berasal dari pembakaran bahan fosil dengan udara, berupa gas buangan. Kota besar yang padat lalu lintasnya akan banyak menghasilkan gas CO sehingga kadar CO dalam udara relatif tinggi dibandingkan dengan daerah pedesaan. Selain itu dari gas CO dapat pula terbentuk dari proses industri. Secara alamiah gas CO juga dapat terbentuk, walaupun jumlahnya relatif sedikit, seperti gas hasil kegiatan gunung berapi, proses biologi dan lain – lain.

Semakin tinggi kecepatan kendaraan yang digunakan pada suatu kendaraan bermotor, maka jumlah emisi gas buang CO yang dikeluarkan semakin kecil. Kecepatan laju kendaraan bermotor berbanding lurus dengan tinggi rendahnya putaran mesin. Putaran mesin yang bervariasi akan secara langsung mempengaruhi besaran emisi gas buang yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor (Fardiaz, S, 1992) .

Adsorpsi

Adsorpsi adalah peristiwa penyerapan pada lapisan permukaan atau antar fasa, dimana molekul dari suatu materi terkumpul pada bahan pengadsorpsi. Materi atau partikel yang diadsorpsi disebut adsorbat, sedangkan bahan yang berfungsi sebagai pengadsorpsi disebut adsorben.

Adsorpsi reaktan pada situs aktif katalis akan melepaskan energi dalam bentuk panas, sehingga akan mempermudah molekul reaktan melewati energi aktivasi. Panas yang dilepaskan pada proses adsorpsi berkaitan dengan kekuatan adsorpsi reaktan pada permukaan katalis. Kekuatan adsorpsi reaktan pada permukaan katalis sangat menentukan aktivitas katalis tersebut. Jika adsorpsi yang terjadi sangat lemah, energi yang dilepaskan juga kecil, sehingga hanya sebagian kecil fraksi permukaan yang ditempati oleh reaktan, dan pada akhirnya reaksi berjalan dengan lambat.

Adsorpsi terjadi karena adanya interaksi gaya permukaan padatan dengan molekul - molekul adsorbat. Energi adsorpsi yang dihasilkan bergantung pada adsorpsi yang terjadi. Tipe adsorpsi ini merupakan fungsi logam dan fungsi pereaksi.

TiO₂ dipilih sebagai katalis adsorpsi kren keberadaannya yang melimpah di Indonesia. Proses TiO₂ pada filter keramik berpori yakni TiO₂ menyisip pada lapisan tanah liat. Proses menyisipnya atom-atom atau molekul-molekul kedalam antar antar lapis material berlapis dengan tidak merusak struktur lapisan tersebut dinamakan proses penyisipan. Interkalat adalah molekul-molekul yang akan disisipkan. Sedangkan lapisan yang erupakan tempat interkalat disebut interkalan. Dengan masuknya interkalat kedalam interkalan maka susunan yang dimiliki interkalan akan mengalami

perubahan, karena interkalat memiliki ukuran molekul yang lebih besar dari ukuran kation interkalan lainnya. Proses penyisipan terjadi karena interkalat yang masuk berupa molekul akan menggeser kation-kation yang ada pada antar lapis adsorben pada proses pemanasan pada furnace dengan suhu tinggi. Molekul interkalat akan membentuk pilar-pilar. Molekul TiO_2 menyisip kedalam antar lapis adsorben yang kemudian membentuk pilar logam Ti^{4+} melalui proses pemanasan pada furnace dengan suhu tinggi. Untuk filter keramik berpori dilakukan proses pemanasan pada furnace dengan suhu $700\text{ }^\circ\text{C}$ maka struktur molekul tanah liat akan rusak lapisan akan runtuh dan pilar TiO_2 akan terbentuk. Proses pemanasan bertujuan untuk menghilangkan kadar air yang terkandung dalam tanah liat dan molekul air akan menguap. (Basuki, 2008).

Gas CO teradsorpsi oleh tanah liat baik saat ada cahaya maupun saat tidak ada cahaya. CO yang teradsorpsi akan berdifusi di dalam keramik berpori sampai bertemu dengan fotokatalis. Ketika CO bertemu dengan fotokatalis, maka CO akan terdegradasi ketika terdapat cahaya baik di permukaan adsorben maupun di dalam pori-pori adsorben (Torimoto, 1996). Ketika dalam keadaan gelap, polutan akan berdifusi dari fase gas ke permukaan katalis TiO_2 . Polutan akan teradsorpsi pada partikel TiO_2 dan terjadi penurunan suhu sehingga menyebabkan kenaikan laju adsorpsi. Proses adsorpsi yang terjadi berlangsung secara spontan dan berlangsung reaksi eksoterm (Yu et al., 2016). Reaksi eksoterm merupakan reaksi yang mengeluarkan panas atau kalor atau energi ke lingkungan (Widjajanti, 2004). Menurut Yu et al. (2016) fotokatalis TiO_2 memiliki kemampuan tinggi dalam mengadsorpsi polutan saat kondisi gelap dan memiliki aktivitas fotokatalitik yang sangat tinggi saat terkena radiasi cahaya tampak.

Tingkat aktivitas katalis yang digabungkan dengan adsorben sebagai penyangga sangat dipengaruhi oleh jumlah konsentrasi atau banyaknya TiO_2 ke adsorben penyangga (Ichiura, 2002 dalam Prastho, 2012). Penambahan konsentrasi TiO_2 tidak selamanya akan memperbaiki efisiensi penurunan. Pada suatu saat, penambahan TiO_2 justru akan menurunkan kemampuan adsorpsi adsorben. Hal ini karena TiO_2 menggerombol pada bagian tertentu. Peningkatan efisiensi penurunan konsentrasi CO dapat terjadi apabila penambahan

konsentrasi TiO_2 sesuai. Penurunan gas CO dapat terjadi karena struktur lapisan adsorben telah mengalami perubahan. Perubahan ini terjadi karena TiO_2 yang menyisip kedalam struktur lapisan adsorben memiliki ukuran molekul lebih besar dari pada ukuran kation yang ada pada adsorben

METODE PENELITIAN

Pembuatan material dilakukan dengan menggunakan metode Ceramic Matrix Composite (CMC) porous. Penelitian Material utama yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Clay dari Kediri Jawa Timur
- b. TiO_2
- c. Poly Vinil Alcohol (PVA)

Alat Penelitian Penelitian dilakukan dengan menggunakan peralatan sebagai berikut:

- a. Ayakan 100 *mesh*
- b. Cetakan
- c. *Furnace*
- d. Gas Analyzer

Variabel Tetap

- a. Bentuk filter keramik berpori berbentuk silinder dan terdapat 20 lubang dengan ukuran diameter 40 mm, tinggi 40 mm sedangkan diameter lubang tengah yaitu 3 mm, cetakan bahan pipa PVC.
- b. Panjang Reaktor 25cm dengan diameter 5cm bahan pipa transparan.

Variabel Bebas

- a. Kadar TiO_2 (%): 0; 5; 10; 15 dan 20
- b. Posisi media filter (cm): 4; 8; 12; 16 dan 20
- c. Panjang media filter (cm): 4; 8; 12; 16 dan 20

Prosedur dalam penyiapan bahan baku keramik yaitu yang terdiri dari tanah liat, PVA, dan TiO_2

1. Penyiapan bahan baku keramik berpori yang terdiri dari tanah liat, PVA, dan TiO_2
2. Semua bahan di ayak hingga lolos ukuran *mesh* 100.
3. Pencampuran bahan dengan presentase (tanah liat 90%, dan PVA 10%) dilanjutkan dengan proses pengadukan.
4. Kemudian penambahan TiO_2 dengan presentase (%) 0, 10, 15, dan 20
5. Pencetakan dengan tekanan press sekitar 8 MPa.
6. Proses pemanasan pada temperatur $700\text{ }^\circ\text{C}$ dengan laju pemanasan $5\text{ }^\circ\text{C}/\text{menit}$ dan

ditahan selama 2 jam. Setelah itu dibiarkan sampai dingin di dalam *furnace*.

7. Mengisi media keramik berpori pada reaktor knalpot seperti pada gambar 3.2

Prosedur pengujian material filter dengan menggunakan Gas Analyzer:

1. Penepatan filter diletakkan (cm) 4, 8, 12, 16 dan 20 pada reaktor.
2. Untuk perlakuan kedua media filter di letakkan sesuai panjang yang telah ditentukan.
3. Menghidupkan mesin biarkan mesin tetap menyala (idle).
4. Melakukan pengukuran awal kadar emisi CO tanpa keramik berpori pada kondisi idle kemudian catat hasil pengukurannya.
5. Memasang Reaktor yang berisi filter keramik berpori pada ujung knalpot motor.
6. Melakukan pengukuran kadar emisi CO pada knalpot yang telah dipasang keramik berpori setelah 10 menit pertama kemudian, catat hasil pengukurannya. Masing-masing diamati kadar gas dengan gas analyzer dan dicetak

HASIL DAN PEMBAHASAN

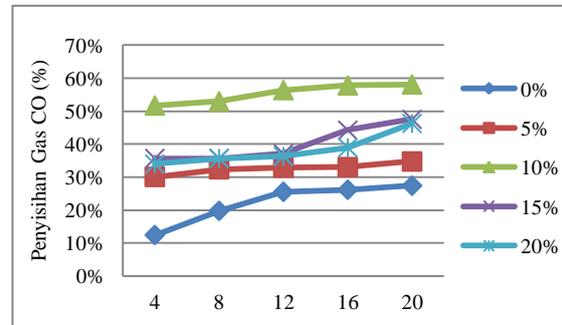
Tabel 1. Hasil komposisi bahan kimia dasar filter Keramik Berpori

No.	Senyawa Unsur	% Komposisi Senyawa
1.	O	64,32
2.	Si	12,89
3.	Al	8,47
4.	Ca	4,17
5.	Fe	2,72
6.	Ti	2,29
7.	C	1,95
8.	Zn	1,37
9.	Mg	0,71
10.	Cl	0,66
11.	K	0,28
12.	Na	0,17

Dari Tabel Memerlihatkan hasil komposisi bahan kimia dasar filter Keramik Berpori dengan Katalis TiO₂ 10% pada panjang media filter 20cm. Pada Keramik berpori mendominasi kandungan Oksigen (O) sebesar 64,32%, sedangkan kandungan Slilikon (Si) 12,89% dan Aluminium (Al) sebesar 8,47%. Sedangkan kandungan Titanium (Ti) sebesar 2,29%. Komposisi Ti dalam keramik berpori hanya sebesar 2,29% karena filter yang ujikan SEM

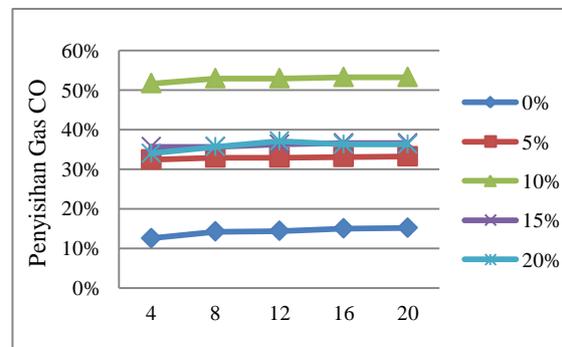
EDX adalah filter terbaik dengan kandungan TiO₂ sebesar 10%. Unsur senyawa kimia yang membantu Katalis TiO₂ bekerja adalah kandungan Slilikon (Si) dan Aluminium (Al) yang terdapat pada tanah liat. Si dan Al merupakan kombinasi katalis yang dapat membantu mempercepat penyerapan emisi gas buang kendaraan bermotor (Basuki, 2007), TiO₂ dapat membantu memperluas permukaan pori-pori suatu adsorben. Sedangkan kandungan Al dapat memberikan efek lebih baik apabila dipadukan dengan TiO₂ karena dapat mempercepat terjadinya penyerapan emisi gas buang kendaraan bermotor (Muh Amin, dkk, 2016).

Pengujian Gas Analyzer



Gambar 1. Hubungan antara Panjang Media Filter Sampel dengan Penyisihan Gas CO (%)

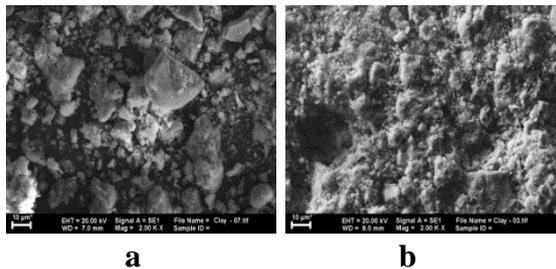
Dari 5 variasi panjang media filter dapat diambil filter terbaik dengan komposisi 10% TiO₂ pada panjang media filter 4,8,12,16 dan 20 (cm). Sedangkan filter terbaik dari perbandingan adalah TiO₂ 10% pada panjang media filter 20cm dari knalpot dapat dibuktikan bahwa semakin panjang media atau luas permukaan adsorben maka semakin banyak adsorbat yang diserap (Hasibuan, 2012).



Gambar 2. Hubungan antara Penempatan Posisi Sampel dengan Persen Penyisihan Gas CO

Dari 5 penempatan filter dapat diambil filter terbaik dengan komposisi 10% TiO_2 pada penempatan 4,8,12,16 dan 20 (cm). Sedangkan filter terbaik dari perbandingan adalah TiO_2 10% pada penempatan 20cm dan 16cm dari knalpot. Hasil dari jarak penempatan filter tidak berpengaruh terhadap proses adsorpsi pada tabel menunjukkan bahwa persen penyisihan gas CO tidak jauh berbeda atau cenderung sama. Dikarenakan jarak tidak berpengaruh terhadap perseh penyisihan. (Hsibuan, 2012)

Uji Scanning Electron Microscope (SEM) Keramik Berpori



Gambar 3. Uji SEM perbesaran 5000x. (a) sampel sebelum dipaparkan gas CO; (b) Sampel setelah terpapar gas CO.

Setelah dilakukan pengujian sampel menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM), sampel sebelum terpapar gas CO lubang pori terlihat lebih besar dibandingkan dengan setelah terpapar gas CO. Sampel yang telah terpapar gas CO, lubang porinya semakin mengecil bahkan tertutup dikarenakan struktur yang rusak diakibatkan filter di dalam knalpot yang panas. (Yusuf, 2016)

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dalam penelitian ini, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Filter keramik berpori dengan tambahan katalis TiO_2 dapat digunakan sebagai adsorben untuk menyisihkan emisi gas buang CO pada kendaraan bermotor.
2. Hasil optimum filter keramik berpori di dapat pada komposisi filter dengan tambahan katalis TiO_2 10% pada penurunan gas CO pada panjang media filter 4cm sebesar 51,71% dengan CO akhir 3,1 %.
3. Penempatan posisi jarak filter keramik berpori tidak mempengaruhi daya Sadsorpsi penurunan gas CO. Panjang media filter

mempengaruhi daya adsorpsi semakin panjang atau luas suatu permukaan adsorben semakin besar daya adsorpsi.

Saran

Berdasarkan kesimpulan di atas, maka penulis menyarankan sebagai berikut:

1. Untuk penelitian lebih lanjut perlu mencari optimum waktu pemakaian filter keramik berpori.
2. Sebaiknya perlu penambahan Katalis seperti Cu (tembaga) dan penambahan karbon aktif supaya persen penurunan emisi gas buang CO lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin M, dkk. (2016). Karakteristik penggunaan bahan adsorben dan katalis dalam pembuatan material cmc untuk filter gas buang kendaraan bermotor. *Mekanika*, 15 (2) 16-23
- Amin. M. (2016). Uji Performa Filter Gas Emisi Kendaraan Bermotor Berbasis Keramik Porous Dengan Aditif Tembaga, TiO_2 dan Karbon Aktif dalam Penurunan Kadar Gas Carbon Monoksida. *Mekanika*, 15 (2) 24-30
- Basuki. K.T. (2007). Penurunan CO Dan NO_2 Pada Emisi Gas Buang Dengan Menggunakan Media Lokal Pada Karbon Aktif Penyisipan TiO_2 . *JFN*, 1(1), 45-64
- Basuki, K.T. (2008). *Penurunan Konsentrasi CO dan NO_2 Pada Emisi Gas Buang Menggunakan Arang Tempurung Kelapa yang disisipi TiO_2* . Sekolah Tinggi Teknoogi Nuklir Batan
- Fardiaz. S. (1992). *Polusi Air dan Udara*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Gade. M. (2012). Keramik Kordierite Berpori Sebagai Bahan Aditif Gas Buang. *Jurnal Einstein*, 3(1)
- Hasibuan. R. A. (2012) *Modifikasi Zeloit Alam dengan TiO_2 untuk Mereduksi Emisi gas Buang Kendaraan Bermotor*. Program Studi Teknik Kimia, Universitas Indoneia, Depok
- Muh Amin dkk. (2016). Uji Performa Filter Gas Emisi Kendaraan Bermotor Berbasis

- Keramik Porous Dengan Aditif Temabaga, Tio₂ dan Karbon Aktif dalam Penurunan Kadar Gas Carbon Monoksida. *Mekanika*, 15 (2)
- Yusuf, T. (2016). *Uji Performa Catalytic Converter Keramik Berpori Paduan Clay Banjarnegara Dan Cu Untuk Mereduksi Gas Carbon Monoksida*. Universitas Muhamadiyah Semarang
- Yu-Hao, L. (2016). *Adsorption and Photocatalytic Kinetics of Visible-Light Response N-Doped TiO₂ Nanocatalyst for Indoor Acetadehyde Removal Under Dark and Light Conditions*. National Chung Hsing University, Taiwan