

PENURUNAN KONSENTRASI CO DAN NO₂ PADA EMISI GAS BUANG MENGGUNAKAN ARANG TEMPURUNG KELAPA YANG DISISIPI TiO₂

KRIS TRI BASUKI^{*}, BUDI SETIAWAN^{}, NURIMANIWATHY^{**}**

** Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-BATAN
Jl. Babarsari Kotak Pos 1008, DIY 55010
Telp. 0274.489716, Faks.489715*

*** Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan-BATAN
Jl. Babarsari Kotak Pos 1008, DIY 55010
Telp. 0274.488435, Faks 487824
Email. : kristri_basuki@batan.go.id*

Abstrak

PENURUNAN KONSENTRASI CO DAN NO₂ PADA EMISI GAS BUANG MENGGUNAKAN ARANG TEMPURUNG KELAPA YANG DISISIPI TiO₂. Penggunaan Arang Tempurung Kelapa sebagai media adsorpsi gas CO dan NO₂ pada emisi gas buang kendaraan bermotor. Dari hasil penelitian diketahui bahwa media karbon aktif yang dipasang sepanjang 5 cm, 10 cm dan 15 cm pada tabung adsorpsi memberikan hasil penurunan konsentrasi gas CO sebesar 77,50 %, 80,70 % dan 83,90 %. Pada konsentrasi TiO₂ 15 %, 10 % dan 5 % yang ditambahkan pada media arang tempurung kelapa dengan panjang media 15 cm memberikan penurunan konsentrasi CO sebesar 81,80 %, 87,30 % dan 91,50 %. Sedangkan untuk gas NO₂, arang tempurung kelapa yang dipasang sepanjang 5 cm, 10 cm dan 15 cm pada tabung adsorpsi memberikan hasil penurunan konsentrasi gas NO₂ sebesar 82,40 %, 87,60 % dan 93,60 %. Pada konsentrasi TiO₂ 5 %, 10 % dan 15 % yang ditambahkan pada media arang tempurung kelapa dengan panjang 15 cm memberikan penurunan konsentrasi NO₂ sebesar 92,50 %, 93,20 % dan 95,40 %. Dari hasil penelitian juga diketahui bahwa media karbon aktif yang dipasang pada panjang media 15 cm memiliki efisiensi penurunan konsentrasi CO dan NO₂ yang lebih besar dibanding media karbon aktif yang dipasang pada panjang media 5 cm dan 10 cm. Media karbon aktif yang disisipi TiO₂ berpengaruh terhadap adsorpsi gas CO dan NO₂, dan lebih optimal dalam menurunkan konsentrasi gas CO dan NO₂, dibandingkan media arang tempurung kelapa tanpa penyisipan TiO₂. Media arang tempurung kelapa dengan konsentrasi TiO₂ 15 % yang dipasang sepanjang 15 cm pada tabung adsorpsi memiliki waktu jenuh selama 42,88 jam dengan biaya pembuatan media sebesar Rp 1358,437.

Kata kunci : titanium oksida, arang tempurung kelapa, CO, NO₂, emisi gas buang.

Abstract

CONCENTRATION DECREASE OF CO AND NO₂ IN EXHAUST GAS EMISSION USING COCONUT SHELL CHARCOAL INSERTED WITH TiO₂. The coconut shell charcoal can be used to adsorb of CO and NO₂ from engine's exhaust. The result of this research, the coconut shell charcoal make in engine's exhaust length with 5 cm, 10 cm and 15 cm can be reduce of CO are 77,50 %, 80,70 % and 83,90 %. The inserted of TiO₂ 5 %, 10 % and 15 % in coconut shell charcoal with 15 cm length can be reduce of CO are 81,80 %, 87,30 % and 91,50 %. The coconut shell charcoal make in engine's exhaust length with 5 cm, 10 cm and 15 cm can be reduce of NO₂ are 82,40 %, 87,60 % and 93,50 %. The inserted of TiO₂ 5 %, 10 % and 15 % in coconut shell charcoal with 15 cm length can be reduce of NO₂ are 92,50 %, 93,20 % and 95,40 %. The efficiency of CO and NO₂ reduction with 15 cm length more effective with 5 cm and 10 cm length. The concentration of TiO₂ inserted in coconut carbone is more effective to reduction of CO and NO₂ than in coconut shell charcoal media. TiO₂ 15 % inserted in coconut shell charcoal media with 15 cm length is 42,880 hours saturated, with cost of medium is Rp. 1358,437.

Keywords : Titanium oxide, coconut carbon, CO, NO₂, Engine's exhaust

PENDAHULUAN

Kendaraan bermotor dapat mengeluarkan emisi gas buang antara lain SO_x, NO_x, CO, HC, dan partikulat debu. Konsentrasi CO dan NO₂ merupakan parameter pencemaran udara yang sangat perlu diperhatikan karena merupakan dampak dari kepadatan lalu lintas kendaraan bermotor. Apabila di atas standar baku mutu maka gas tersebut cukup berbahaya bagi kesehatan manusia bahkan dapat mengakibatkan kematian. Kendaraan bermotor merupakan sumber utama CO dan NO₂ terutama pada kendaraan yang sudah tua, sehingga mesin kendaraan kurang berfungsi secara baik. Kepadatan lalu lintas dapat mengakibatkan konsentrasi CO dan NO₂ total yang ada di dalam atmosfer sebanding. Daya ikat CO terhadap Hb (arah) sangat besar yaitu 240 kali dibandingkan dengan daya ikat CO terhadap O₂, hal ini menyebabkan efeknya terhadap kesehatan sangat diperhitungkan. Kejang kejang akibat gangguan urat syaraf dapat disebabkan oleh konsentrasi gas NO₂ yang tinggi, dapat pula mengakibatkan kelumpuhan bila keracunan berlanjut. (Tugaswati,2007)

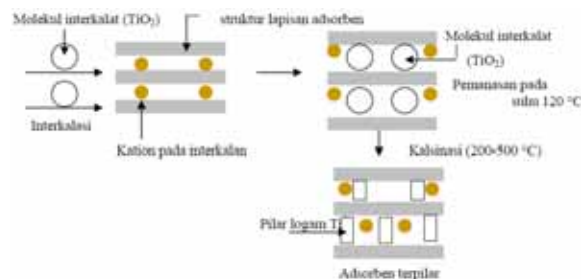
Dari masalah tersebut, maka diperlukan usaha untuk menurunkan konsentrasi CO dan NO₂ pada emisi gas buang kendaraan bermotor melalui penyisipan TiO₂ pada arang tempurung kelapa. Dimungkinkan untuk memanfaatkan arang tempurung kelapa sebagai bahan adsorpsi CO dan NO₂, sehingga konsentrasi kedua gas tersebut pada keluaran knalpot kendaraan bermotor dapat berkurang. Arang tempurung kelapa digunakan sebagai media adsorpsi karena tidak bersifat racun, mudah didapat, ekonomis, dan efektif. Untuk TiO₂ dipilih sebagai katalis adsorpsi karena keberadaannya melimpah di Indonesia terutama di daerah provinsi Bangka Belitung dan selalu stabil jika bekerja pada suhu ruangan.

Proses menyisipnya atom-atom atau molekul-molekul kedalam antar lapis material berlapis dengan tidak merusak struktur lapisan tersebut yang dinamakan proses penyisipan (Baksh, 1992). Interkalat adalah atom-atom atau molekul-molekul yang akan disisipkan. Sedangkan lapisan yang merupakan tempat interkalat yang akan masuk disebut interkalat. Dengan masuknya interkalat kedalam

interkalat maka susunan yang dimiliki interkalat akan mengalami perubahan, karena interkalat memiliki ukuran molekul yang lebih besar dari ukuran kation interkalat aslinya.

Proses penyisipan terjadi karena interkalat yang masuk berupa molekul akan menggeser kation-kation yang ada pada antarlapis karbon aktif atau arang tempurung kelapa. Kation pada antarlapis karbon aktif atau arang tempurung kelapa umumnya tidak kuat terikat sehingga sangat mudah digeser oleh molekul interkalat melalui pemanasan pada suhu 120 °C.

Proses Pilarisasi terjadi Untuk pemanasan lebih lanjut (di atas 200 °C), molekul interkalat akan membentuk pilar-pilar logam. Pilarisasi adsorben pada dasarnya merupakan interkalasi molekul TiO₂ kedalam antarlapis adsorben yang kemudian membentuk pilar logam Ti⁴⁺ melalui proses kalsinasi. Pada adsorben jenis lain seperti zeolit yang mempunyai suhu maksimum pemanasan di atas suhu 200 °C (suhu pilarisasi) apabila dilakukan pemanasan pada suhu tinggi (kalsinasi), maka proses penyisipan TiO₂ akan berlanjut menjadi proses pilarisasi, seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 1. Skema Proses Penyisipan TiO₂ dan Pembentukan Pilar Ti⁴⁺ Pada Adsorben (Leonard 1995)

Untuk arang tempurung kelapa tidak dapat dilakukan proses pilarisasi karena jika dipanaskan pada suhu di atas 150 °C, struktur molekul arang tempurung kelapa akan rusak sebelum proses pilarisasi terjadi. Lapisan karbon aktif akan runtuh sebelum pilar TiO₂ terbentuk. Sehingga pemanasan arang tempurung kelapa dilakukan pada suhu di bawah 150 °C. Proses pemanasan bertujuan untuk menghilangkan kadar air yang terkandung dalam arang tempurung kelapa karena dengan proses pemanasan, molekul air (H₂O) akan menguap.

Adsorpsi adalah suatu akibat dari medan gaya pada permukaan padatan (adsorben) yang menarik molekul-molekul gas atau cair (adsorbat). Menurut Reynold (1982), adsorpsi adalah suatu proses dimana suatu partikel menempel pada suatu permukaan akibat dari adanya perbedaan muatan lemah diantara kedua benda, sehingga akhirnya akan membentuk suatu lapisan tipis partikel-partikel halus pada permukaan tersebut.

Adapun mekanisme penyerapan adalah sebagai berikut :

1. Molekul adsorbat berpindah menuju lapisan terluar dari adsorben.
2. Karbon aktif dalam kesatuan kelompok mempunyai luas permukaan pori yang besar sehingga dapat mengadakan penyerapan terhadap adsorbat.
3. Sebagian adsorbat ada yang teradsorpsi di permukaan luar, tetapi sebagian besar teradsorpsi di dalam pori-pori adsorben dengan cara difusi.
4. Bila kapasitas adsorpsi masih sangat besar, sebagian besar molekul adsorbat akan teradsorpsi dan terikat di permukaan. Tetapi bila permukaan pori adsorben sudah jenuh dengan adsorbat maka akan terjadi dua kemungkinan, yaitu :
 - a. Terbentuk lapisan adsorpsi kedua, ketiga dan seterusnya.
 - b. Tidak terbentuk lapisan adsorpsi kedua, ketiga dan seterusnya sehingga adsorbat yang belum teradsorpsi akan terus berdifusi keluar pori.

Adsorpsi gas oleh zat padat ditandai oleh hal-hal sebagai berikut :

1. Adsorpsi bersifat selektif, artinya suatu adsorben dapat menyerap suatu gas dalam jumlah besar, tetapi menyerap gas-gas lain dalam jumlah yang lebih kecil.
2. Adsorpsi terjadi sangat cepat, yaitu kecepatan adsorpsinya semakin berkurang dengan semakin banyaknya gas yang diserap.
3. Adsorpsi tergantung pada luas permukaan adsorben, semakin porous adsorben maka semakin besar daya adsorpsinya.
4. Jumlah gas yang diadsorpsi persatuan berat adsorben tergantung pada tekanan parsial (partial pressure) gas, maka semakin besar tekanan maka semakin banyak gas diserap.

Proses adsorpsi emisi gas buang oleh media arang tempurung kelapa dapat dilakukan pada suatu kolom adsorpsi. Pada kolom adsorpsi, media arang tempurung kelapa akan berkontak secara kontinu dengan kontaminan gas sehingga konsentrasi yang berkontak relatif konstan. Padatan adsorben akan mengadsorpsi kontaminan hingga tercapai kondisi setimbang. Bila adsorpsi berlangsung kontinu pada suatu saat adsorben akan jenuh, sehingga konsentrasi influen akan sama dengan konsentrasi effluen.

Proses awal kontaminan gas berkontak dengan adsorben pada bagian paling atas dari kolom adsorpsi. Adsorbat makin lama makin diserap sejalan dengan mengalirnya gas tersebut kebawah melewati kolom. Panjang dari daerah dalam kolom dimana molekul adsorbat diserap disebut zone adsorpsi (Reynold, 1982).

Kontaminan gas yang telah melewati zona adsorpsi mempunyai konsentrasi nol, tetapi karena adanya faktor keseimbangan dan faktor kinetik, beberapa kontaminan gas dengan konsentrasi rendah akan lolos didalam effluen. Bagian atas adsorben menjadi jenuh oleh adsorbat dan zona adsorpsi bergeser ke bagian bawah. Akhirnya tepi bawah zona adsorpsi menyentuh dasar kolom dan konsentrasi effluen mulai naik (jenuh). Waktu dimana zona adsorpsi menyentuh dasar kolom dan konsentrasi effluen mulai naik disebut sebagai waktu jenuh. Kapasitas adsorben dalam kolom akan jenuh seiring dengan bertambahnya waktu.

Arang tempurung kelapa adalah arang yang menghasilkan karbon dengan pori-pori lebih terbuka. Arang tempurung kelapa mempunyai permukaan yang luas dan berongga dengan struktur yang berlapis. Hal ini menyebabkan arang tempurung kelapa dapat menyerap gas atau zat lain dalam larutan dan udara (Tjokrokusumo, 1995).

Arang tempurung kelapa digunakan sebagai adsorben karena :

1. Mempunyai daya adsorpsi selektif.
2. Berpori, sehingga luas permukaan persatuan massa besar.
3. Mempunyai daya ikat yang kuat terhadap zat yang hendak dipisahkan secara fisik atau kimiawi.

Pori-pori arang tempurung kelapa mempunyai bentuk dan ukuran yang bervariasi dan tidak teratur, berkisar antara 10-10000 Å.

Pori-pori ini dapat menangkap dan menjerap partikel-partikel sangat halus (molekul). Semakin banyaknya zat-zat yang diadsorpsi maka pori-pori ini pada akhirnya akan jenuh sehingga arang tempurung kelapa tidak akan berfungsi lagi. Arang Tempurung kelapa yang telah jenuh dapat direaktifasi kembali, meskipun demikian tidak jarang yang disarankan untuk sekali pakai.

Arang tempurung kelapa yang digunakan untuk menjerap molekul-molekul gas adalah yang berpori-pori mikro. Menurut Cheremisinof (1998), arang tempurung kelapa ini dapat menyebabkan molekul gas yang sangat kecil mampu melewatinya. Arang tempurung kelapa adalah penyerap gas dibuat dari tempurung kelapa yang berukuran pori 20 Å.

Arang tempurung kelapa mengandung ion-ion logam dan molekul-molekul air. Dalam keadaan normal ruang antarlapis pada arang tempurung kelapa terisi oleh molekul air bebas yang berada di sekitar kation. Bila arang tempurung kelapa dipanaskan sampai pada suhu 100 °C maka molekul-molekul air tersebut akan menguap (keluar) sehingga arang tempurung kelapa dapat berfungsi sebagai penyerap gas. Tetapi apabila arang tempurung kelapa dipanaskan pada suhu di atas 150 °C, struktur arang tempurung kelapa tersebut akan rusak karena tidak tahan panas.

Titanium dioksida merupakan padatan berwarna putih, tidak larut dalam HCl, HNO₃ dan aquaregia tetapi larut dalam asam sulfat pekat membentuk titaniumsulfat, Ti(SO₄). Titanium (Ti) adalah unsur logam transisi, dapat membentuk ion titanium (III), Ti³⁺ dan titanium (IV), Ti⁴⁺. Kation Ti³⁺ dicirikan dengan warna lembayung, sedangkan Ti⁴⁺ tidak berwarna. Kation Ti³⁺ dalam air bersifat kurang stabil dan mudah mengalami oksidasi menjadi Ti⁴⁺.

Tabel 1. Sifat Fisik dan Mekanik TiO₂ yang Khas

Karakteristik	Nilai
Densitas	4 gcm ⁻³
Porositas	0 %
Modulus rekah	140 MPa
Kekuatan kemampatan	680 Mpa
Ratio poisson's	0,27
Modulus elastisitas	230 Gpa
Resistivitas (25 °C)	10 ¹² ohm.cm
Resistivitas (700 °C)	2,5x10 ⁴ ohm.cm
Konstanta dielektrik (1 MHz)	85
Kekuatan dielektrik	4 kV mm ⁻¹
Ekspansi thermal (RT-1000 °C)	98x10 ⁻⁶
Konduktivitas thermal (25 °C)	11,7 WmK ⁻¹
Titik lebur	1830-1850 °C
Titik didih	2500-3000 °C

Titanium dioksida yang disisipkan pada arang tempurung kelapa hanya berfungsi sebagai katalis untuk mempercepat terjadinya proses penyerapan gas CO dan NO₂ oleh arang tempurung kelapa. Kemampuan katalis bergantung pada permukaan zat padat berpori yang biasanya dikenal sebagai penopang katalis. Beberapa contoh katalis yang biasa digunakan antara lain silika gel, dan alumina. Menurut Ibosuki (1996), katalis TiO₂ dapat mengoksidasi NO₂ dan mampu memecah berbagai senyawa organik, antara lain molekul merkaptan, asetaldehid, dan hidrogen sulfida. TiO₂ dapat diregenerasi dengan mudah pada suhu ruangan. Menurut para ahli kimia, TiO₂ merupakan katalis yang cocok untuk digunakan karena mempunyai keuntungan diantaranya tidak bersifat beracun, selalu stabil dan bekerja pada suhu ruangan serta ekonomis.

METODE PENELITIAN

Alat

Alat-alat yang akan digunakan dalam penelitian ini :

1. Alat cetak berbentuk kotak berukuran 1 cm³
2. Oven : Memmert 6 rak/240°
3. Homogenizer : *Karl Kolb 0-10 RPM*
4. Midget impinger : -
5. Gas analyzer : *SPTC-Autocheck 974/5*
6. Sepeda motor : *Honda GL 100 tahun 1982*
7. Tabung adsorpsi : -
8. Spektrofotometer: *Hitachi, Jepang, 1999*

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Tempurung
2. Kelapa
3. TiO_2
4. Semen
5. Gelatin
6. Kanji
7. Lem
8. Gula
9. Aquades
10. Parafin
11. *Glasswool*
12. Penyerap NO_2

Cara Kerja

Adapun langkah kerja pada tahap persiapan ini adalah sebagai berikut

1. Penyiapan bahan Lokal TiO_2
Bahan ilmenit diambil dari PT Timah Bangka, dan dilakukan proses hidrolisa (Kris Tri Basuki, 2001,2005).
2. Penyiapan Arang tempurung kelapa
Tempurung kelapa sejumlah 100 buah disiapkan untuk dibakar secara manual pada sebuah drum bersih ukuran tinggi 70 cm dan diameter 50 cm. Setelah dibakar, kemudian digerus dan disaring dengan ukuran 100 mesh
3. Uji bahan perekat
Mencampur arang tempurung kelapa, akuades dan berbagai jenis perekat hingga rata dan terbentuk adonan.
Adonan dicetak dalam bentuk kubus dengan panjang 1 cm, lebar 1 cm, dan tinggi 1 cm. Mengeluarkan media dari cetakan, kemudian dipanaskan dalam oven selama tiga jam dengan suhu 120°C . Media dikeluarkan dari oven. Selanjutnya media arang tempurung kelapa diuji dengan berbagai jenis perkat dengan cara menjatuhkan media ke atas lantai. Jenis perekat yang dipilih adalah perekat yang setelah dijatuhkan permukaannya keras, tidak rapuh dan homogen.
4. Pembuatan media penyerap
Arang tempurung kelapa dan TiO_2 dicampur hingga homogen selama \pm tiga jam dengan menggunakan alat homogenizer. Kemudian larutan perekat terpilih diaduk dengan campuran arang tempurung kelapa dan TiO_2

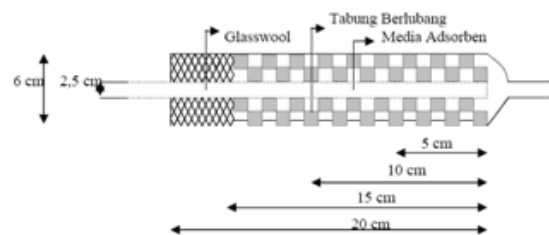
hingga rata dan terbentuk adonan. Selanjutnya media dikeluarkan dari cetakan, kemudian dipanaskan dalam oven selama tiga jam dengan suhu 120°C . Media dikeluarkan dari oven dan disimpan dalam wadah kedap udara. Media siap digunakan pada pengambilan sampel gas.

5. Membuat tabung adsorpsi

Tabung adsorpsi/knalpot uji digunakan untuk menempatkan media arang tempurung kelapa. Data spesifikasi alat yang direncanakan adalah sebagai berikut :

- Panjang tabung luar dan dalam = 20 cm
Diameter tabung luar = 6 cm
Diameter tabung dalam = 2,5 cm

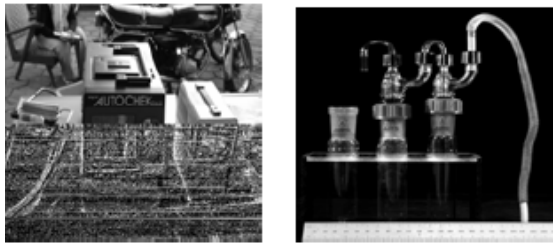
Gambar tabung adsorpsi dapat dilihat pada gambar 2. dan pemasangan media adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 4.



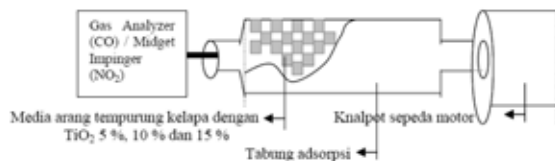
Gambar 2. Dimensi Tabung Adsorpsi

Tahap pelaksanaan

Pengambilan sampel gas CO dilakukan dengan menggunakan peralatan digital, yaitu autocek 974/5. Untuk setiap pengukuran konsentrasi sampel gas CO dibutuhkan waktu yang relatif singkat, yaitu selama 8 detik, sedangkan untuk gas NO_2 pengambilan sampel gas dilakukan dengan menggunakan midget impinger, seperti pada Gambar 3. Tabung impinger berfungsi sebagai tempat larutan penyerap gas NO_2 (pereaksi saltzman). Adapun waktu yang diperlukan untuk setiap pengambilan sampel gas NO_2 didasarkan pada perubahan warna pereaksi saltzman (dari tidak berwarna menjadi merah, yaitu selama \pm 10 menit).



(a) (b)
Gambar 3. Autochek SPTC 974/5 (a)
dan Tabung Impinger (b)



Gambar 4. Pemasangan Media Adsorpsi
Pada Tabung Adsorpsi

Tahap Analisa Sampel

Gas CO yang ditangkap dengan gas analyzer, dapat dianalisa secara langsung dengan melihat hasil penurunan konsentrasi yang ditampilkan pada layar monitor gas analyzer. Sedangkan sampel NO₂ yang telah diambil, kemudian diukur volumenya dan dibaca adsorbansinya pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 550 nm, selanjutnya ditentukan nilai konsentrasinya.

HASIL PENELITIAN DAN ANALISA

Uji Bahan Perekat

Dari hasil uji coba bahan perekat menunjukkan bahwa kualitas media arang tempurung kelapa yang dihasilkan antara serbuk arang tempurung kelapa dengan kanji lebih baik dibandingkan media arang tempurung kelapa yang dihasilkan antara serbuk arang tempurung dengan jenis perekat lain (semen, gula, gelatin dan lem fox), baik setelah dikeringkan selama ± 1 malam ataupun setelah dilakukan pemanasan menggunakan oven.

Sifat fisik yang dihasilkan dari pencampuran arang tempurung kelapa dengan kanji lebih keras dengan pori-pori yang lebih homogen. Hal ini disebabkan oleh ikatan antara molekul karbon aktif dan molekul kanji lebih kuat bila dibandingkan ikatan antara molekul arang tempurung kelapa dengan molekul jenis perekat lain. Sehingga memungkinkan kualitas hasil pencampuran antara arang tempurung

kelapa dengan kanji tanpa TiO₂ maupun dengan TiO₂ menjadi lebih baik dan menghasilkan media arang tempurung kelapa yang dapat menyerap gas dengan optimal. Dengan demikian jenis bahan perekat yang dipilih dan yang akan digunakan pada pembuatan media arang tempurung kelapa adalah kanji.

Pengambilan Sampel Awal (Sebagai Kontrol Awal)

Pengambilan sampel awal dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui stabilitas emisi kendaraan selama pengambilan sampel. Nilai konsentrasi CO dan NO₂ pada kontrol awal ini akan digunakan sebagai standar/acuan terhadap penurunan konsentrasi CO dan NO₂. Pengambilan sampel awal dilakukan dengan menggunakan tabung adsorpsi yang berisi glasswool tetapi tanpa media adsorpsi.

Hasil pengambilan sampel CO dan NO₂ awal ditunjukkan dalam tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil Pengambilan Sampel Awal
CO dan NO₂

Perulangan	Konsentrasi CO (%)	Konsentrasi NO ₂ (µg/m ³)
1	6,12	4857,50
2	6,09	4981,80
3	6,13	5044,30
Rata-rata	6,11	4961,2

Pada tabel tersebut menunjukkan bahwa jumlah emisi gas CO yang diukur pada pengambilan sampel awal lebih besar daripada gas NO₂. Hal ini disebabkan oleh gas CO yang merupakan hasil utama pembakaran bensin sebagai akibat dari proses pembakaran yang tidak sempurna. Konsentrasi CO akan lebih tinggi pada saat kondisi kendaraan dalam keadaan stasioner. Konsentrasi ini akan menurun seiring dengan penambahan RPM.

Sedangkan gas NO₂ merupakan emisi samping dari pembakaran bensin yang secara alami mengandung unsur nitrogen (seperti piridin, qinolin, pirol, indol, dan karbasol). Konsentrasi NO₂ dalam gas buang pada saat kendaraan bermotor dalam kondisi stasioner adalah relatif kecil. Konsentrasi NO₂ akan meningkat secara signifikan seiring dengan penambahan RPM dan peningkatan suhu mesin.

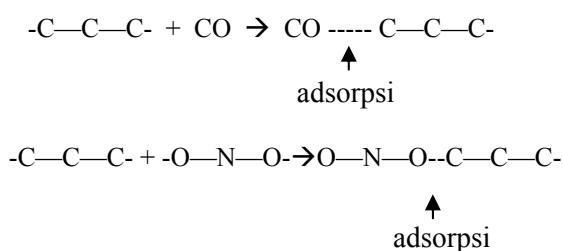
Pengambilan sampel setelah melalui media arang tempurung kelapa pada variasi panjang media tanpa penyisipan TiO₂

Tujuan dari pemberian variasi panjang media pada tabung adsorpsi adalah untuk mengetahui panjang media yang paling efisien dalam menjerap gas CO dan NO₂. Setelah diperoleh panjang media yang paling efisien, maka dilanjutkan dengan pemberian variasi konsentrasi TiO₂ pada panjang media tersebut.

Titanium dioksida yang dipakai adalah TiO₂ hasil proses pemisahan mineral ilmenit yang didapatkan dari PT Timah, dilakukan oleh Pusat Penelitian Akselerator dan Proses Bahan – BATAN Yogyakarta.

Konsentrasi CO pada saat pengambilan sampel awal 6,11 %. Konsentrasi ini melebihi SK Gubernur Jawa Tengah No. 5 Tahun 2004. Berdasarkan SK tersebut, konsentrasi CO yang diemisikan oleh kendaraan bermotor dengan bahan bakar bensin ≤ 4,5 %. Setelah melewati media arang tempurung kelapa dengan panjang media 5 cm, konsentrasi CO turun menjadi 1,37 %, pada panjang media 10 cm terjadi penurunan kembali yaitu 1,20 % dan setelah melewati media arang tempurung kelapa pada panjang media 15 cm konsentrasi CO menjadi 1,04 %. Dengan demikian konsentrasi CO ini telah memenuhi standar regional Propinsi Jawa Tengah.

Hasil pengambilan sampel NO₂ sebagai kontrol yaitu 4961,20 µg/m³. Berdasarkan SK Gubernur Jawa Tengah No. 5 Tahun 2004, konsentrasi ini masih di bawah baku mutu. Baku mutu emisi NO₂ ke udara ≤ 100 mg/m³. Setelah melewati media arang tempurung kelapa dengan panjang media 5 cm, konsentrasi NO₂ turun menjadi 873,20 µg/m³, pada panjang media 10 cm terjadi penurunan menjadi 615,20 µg/m³. Konsentrasi NO₂ turun kembali pada panjang media 15 cm menjadi 322,50 µg/m³. Fenomena adsorpsi gas pada media arang tempurung kelapa:



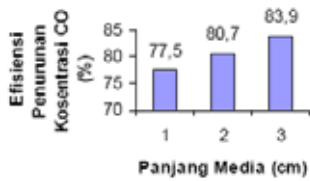
Berdasarkan hasil pengukuran terlihat bahwa terjadi penurunan konsentrasi CO dan NO₂ pada tabung adsorpsi setelah melewati media arang tempurung kelapa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi emisi gas CO dan NO₂ sebanding dengan penambahan panjang media arang tempurung kelapa pada tabung adsorpsi. Hal ini berarti bahwa semakin luas zone adsorpsi, maka semakin besar kemampuan adsorpsi media arang tempurung kelapa terhadap gas CO dan NO₂.

Dari ketiga variasi panjang media karbon aktif yaitu 5 cm, 10 cm dan 15 cm, efisiensi penurunan terbesar terhadap konsentrasi CO dan NO₂ dengan media arang tempurung kelapa tanpa penyisipan TiO₂ adalah pada panjang media 15 cm, yaitu sebesar 83,90 % dan 93,50 %. Hal ini sesuai dengan teori adsorpsi dari Reynold (1982), yang mengatakan bahwa adsorpsi sangat tergantung pada luas permukaan adsorben, semakin luas permukaan adsorben maka semakin besar daya adsorpsinya, dan makin besar pula tingkat efisiensi adsorpsinya.

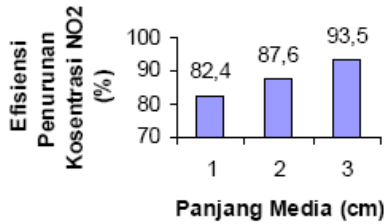
Hasil pengambilan sampel menunjukkan adanya penurunan konsentrasi gas CO dan NO₂. Hal ini disebabkan karbon arang tempurung kelapa dengan karakteristik pori yang lebih terbuka mampu menyerap molekul gas CO dan NO₂ (Tjokrokusumo, 1998). Proses adsorpsi ini sering disebut sebagai proses adsorpsi gas oleh zat padat.

Pada proses adsorpsi gas oleh media arang tempurung kelapa menunjukkan bahwa semakin kecil kecepatan aliran gas yang mengandung zat kontaminan maka waktu tinggal gas dalam tabung adsorpsi akan semakin lama sehingga semakin tinggi tingkat efisiensinya. Pada pengambilan sampel sepeda motor dioperasikan pada putaran mesin stasioner dan laju aliran gas yang diukur adalah 0,5 l/menit, sehingga efisiensi penurunan konsentrasi CO dan NO₂ lebih optimal.

Grafik efisiensi penurunan konsentrasi CO dan NO₂ yang dilakukan pada tabung adsorpsi yang disambung dengan knalpot asli sepeda motor setelah melalui media arang tempurung kelapa tanpa penyisipan TiO₂ dengan variasi panjang media 5 cm, 10 cm, dan 15 cm, adalah sebagai berikut :



Gambar 5. Grafik Efisiensi Penurunan Konsentrasi Gas CO Setelah Melalui Media Arang Tempurung Kelapa Tanpa Penyisipan TiO₂ Pada Variasi Panjang Media 5 cm, 10 cm, dan 15 cm



Gambar 5. Grafik Efisiensi Penurunan Konsentrasi Gas NO₂ Setelah Melalui Media Arang Tempurung Kelapa Tanpa Penyisipan TiO₂ Pada Variasi Panjang Media 5 cm, 10 cm, dan 15 cm

Pengambilan sampel setelah melalui media arang tempurung kelapa yang disisipi TiO₂ dengan variasi konsentrasi TiO₂

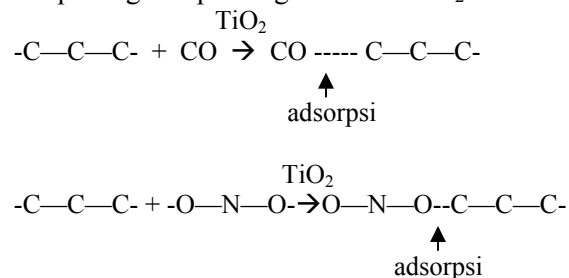
Pengambilan sampel gas CO dan NO₂ dengan memvariasikan konsentrasi TiO₂ dilakukan pada panjang media terbaik. Tujuannya adalah untuk mengetahui besarnya konsentrasi TiO₂ yang paling efektif yang akan disisipkan pada media arang tempurung kelapa dalam meningkatkan kemampuan adsorpsi terhadap gas CO dan NO₂.

Pengambilan sampel gas CO dan NO₂ dengan variasi konsentrasi TiO₂ digunakan panjang media 15 cm. Hal ini dilakukan karena konsentrasi kedua gas setelah melewati media arang tempurung kelapa tanpa penyisipan TiO₂ menunjukkan bahwa panjang media terbaik untuk penurunan konsentrasi CO dan NO₂ paling optimal adalah 15 cm. Sehingga dengan panjang media terbaik akan menghasilkan efisiensi penurunan konsentrasi gas yang lebih tinggi pula.

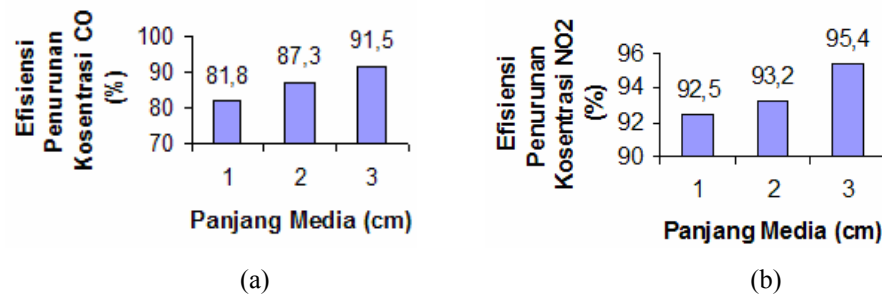
Hasil pengambilan sampel menunjukkan bahwa dengan panjang media yang sama yaitu 15 cm, terjadi penurunan konsentrasi CO pada konsentrasi 1,20 % pada konsentrasi TiO₂ 0 %

menjadi 1,10 % pada konsentrasi TiO₂ 5 %. Pada konsentrasi TiO₂ 10 % terjadi penurunan konsentrasi CO menjadi 0,77 %, dan pada konsentrasi TiO₂ 15 % konsentrasi CO menurun kembali menjadi 0,52 %. Begitu pula dengan penurunan konsentrasi NO₂, dimana pada panjang media 15 cm dengan konsentrasi TiO₂ 0 %, konsentrasi NO₂ mencapai 615,20 µg/m³. Kemudian setelah melewati media arang tempurung kelapa dengan panjang media yang sama tetapi dengan penambahan konsentrasi TiO₂ 5 %, terjadi penurunan konsentrasi menjadi 372,09 µg/m³. Pada konsentrasi TiO₂ 10 % juga terjadi penurunan konsentrasi NO₂ menjadi 337,36 µg/m³, dan pada konsentrasi TiO₂ 15 % konsentrasi NO₂ menurun kembali menjadi 228,22 µg/m³.

Konsentrasi gas CO dan NO₂ setelah melewati media arang tempurung kelapa yang disisipi TiO₂ lebih kecil dibandingkan konsentrasi gas CO dan NO₂ setelah melewati media arang tempurung kelapa tanpa penyisipan TiO₂. Penurunan ini menunjukkan bahwa media arang tempurung kelapa yang disisipi TiO₂ lebih berpengaruh terhadap adsorpsi gas CO dan NO₂, dan lebih optimal dalam menurunkan konsentrasi gas CO dan NO₂, bila dibandingkan dengan media arang tempurung kelapa tanpa penyisipan TiO₂. Fenomena adsorpsi gas pada media arang tempurung kelapa dengan katalis TiO₂ adalah :



Gambar 6 ini merupakan grafik efisiensi penurunan konsentrasi gas CO pada panjang media 5 cm dan gas NO₂ pada panjang media 15 cm pada emisi gas buang knalpot sepeda motor setelah melalui media arang tempurung kelapa yang disisipi TiO₂ dengan konsentrasi TiO₂ 5 %, 10%, dan 15 %.



Gambar 6. Grafik Efisiensi Penurunan Konsentrasi Gas CO (a) dan Gas NO₂ (b)

setelah melalui media arang tempurung kelapa yang disisipi TiO₂

pada panjang media terpilih dengan Konsentrasi TiO₂ 5 %, 10%, dan 15 %

Grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi TiO₂, maka tingkat penurunan konsentrasi gas CO dan NO₂ semakin besar. Dengan demikian tingkat efisiensi adsorpsi arang tempurung kelapa semakin tinggi pula. Namun penambahan konsentrasi TiO₂ tidak selamanya akan memperbaiki efisiensi penurunan konsentrasi. Pada suatu saat, penambahan TiO₂ justru akan menurunkan kemampuan adsorpsi media arang tempurung kelapa. Hal ini disebabkan TiO₂ hanya berfungsi sebagai katalis bukan sebagai adsorben dan tidak berpengaruh terhadap efisiensi removal gas buang. Sehingga bila penambahan TiO₂ terlalu banyak akan mengurangi jumlah arang tempurung kelapa yang berfungsi sebagai adsorben gas CO dan NO₂. Dengan berkurangnya jumlah arang tempurung kelapa, maka zone adsorpsi akan berkurang pula. Efisiensi penurunan konsentrasi gas CO dan NO₂ juga akan menurun.

Penurunan konsentrasi CO dan NO₂ setelah melewati media arang tempurung kelapa yang disisipi TiO₂ terjadi karena struktur lapisan arang tempurung sebagai media penjerap telah mengalami perubahan. Perubahan ini terjadi karena molekul TiO₂ yang menyisip kedalam struktur lapisan arang tempurung kelapa memiliki ukuran molekul yang lebih besar dari ukuran kation yang terdapat dalam struktur lapisan arang tempurung kelapa.

Menyisipnya TiO₂ dalam antarlapis arang tempurung kelapa terjadi pada saat dilakukannya pengadukan dengan homogenizer. Pengadukan ini bertujuan untuk mencampur rata padatan TiO₂ dengan padatan arang tempurung hingga keduanya homogen.

Molekul TiO₂ yang telah menyisip akan menggeser kation-kation yang ada pada ruang antarlapis arang tempurung kelapa. Kation pada antarlapis arang tempurung kelapa umumnya tidak kuat terikat sehingga sangat mudah digeser oleh molekul TiO₂.

Setelah homogen, struktur lapisan arang tempurung kelapa yang terbentuk setelah menyisipnya molekul TiO₂ masih rapuh, sehingga media perlu dipanaskan. Proses pemanasan ini selain bertujuan untuk menstabilkan struktur lapisan arang tempurung kelapa, juga untuk menghilangkan kadar air dalam arang tempurung kelapa. Pemanasan dilakukan pada suhu 120 °C selama tiga jam. Melalui pemanasan, molekul air yang juga menempati ruang antarlapis arang tempurung kelapa akan hilang. Dengan demikian volume ruang antar lapis arang tempurung kelapa setelah proses penyisipan TiO₂ akan bertambah besar sebagai akibat dari menyisipnya molekul TiO₂ dan menghilangnya molekul air.

Fenomena inilah yang menyebabkan gas CO dan NO₂ dapat terjepit dalam jumlah yang lebih besar pada media arang tempurung kelapa yang disisipi TiO₂. Gas CO dan NO₂ yang telah terjepit akan terdifusi dari lapisan terluar ke lapisan paling dalam. Kedua gas ini akan menempati ruang antarlapis pada struktur arang tempurung dengan kapasitas yang lebih besar.

Pengambilan sampel akhir
(Sebagai kontrol akhir)

Setelah semua sampel gas CO dan NO₂ diambil, kemudian dilanjutkan dengan pengambilan sampel akhir yang dilakukan tanpa menggunakan tabung adsorpsi/langsung dari knalpot sepeda motor. Pengambilan sampel akhir bertujuan untuk mengetahui konsentrasi akhir gas CO dan NO₂ yang akan dibandingkan dengan konsentrasi awal kedua gas tersebut sehingga dapat diketahui kestabilan emisi gas

yang dikeluarkan motor selama pengambilan sampel.

Hasil pengukuran sampel akhir dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengambilan Sampel Akhir CO dan NO₂

Perulangan	Konsentrasi CO (%)	Konsentrasi NO ₂ (µg/m ³)
1	6,09	4791,06
2	6,24	4944,10
3	6,15	4849,07
Rata-rata	6,16	4861,41

Hasil tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi akhir untuk gas CO sebesar 6,16 %. Dibanding dengan konsentrasi awal, nilai kontrol akhir ini lebih besar. Untuk konsentrasi akhir NO₂, konsentrasi 4861,41 µg/m³ tersebut kecil dibanding konsentrasi awal.

Dari hasil pengukuran konsentrasi awal dan konsentrasi akhir gas CO diperoleh perbedaan nilai konsentrasi dengan simpangan

baku sebesar 0,0183 %. Sedangkan untuk konsentrasi NO₂, diperoleh perbedaan nilai konsentrasi dengan simpangan baku sebesar 0,201 %. Kedua nilai tersebut masih di bawah tingkat simpangan maksimal yaitu 10 %. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa emisi kendaraan selama pengambilan sampel cukup stabil.

PERHITUNGAN WAKTU JENUH

Penentuan waktu jenuh secara teoritis dilakukan pada media karbon aktif 15 cm, 0 % TiO₂ dan 15 % TiO₂. Parameter yang diukur adalah 6 parameter polutan utama sesuai dengan SK Gubernur Jawa Tengah tahun 2004, yaitu : CO, HC, NO₂, SO₂, Pb dan partikel. Keenam parameter tersebut telah diteliti oleh Rahma (CO, NO₂), Zaenal (SO₂, HC), Aldy dan Gatot (partikel, Pb). Jumlah polutan yang terjerap dan waktu jenuh media karbon aktif pada panjang media 15 cm dengan konsentrasi TiO₂ 15 % adalah sebagai berikut. Tabel 4 menunjukkan polutan gas buang yang terjerap pada panjang media 15 cm tanpa TiO₂.

Tabel 4. Jumlah Polutan yang Terjerap Media Arang Tempurung Kelapa Pada Panjang Media 15 cm

No	Parameter	Konsentrasi (ppm)			Waktu jenuh
		Kontrol	Outlet	Terjerap	
1.	CO	6,11x10 ⁴	0,52x10 ⁴	5,59 x10 ⁴	2750,39 menit = 45,84 jam
2.	HC	663	32,40	630,60	
3.	NO ₂	2,62	0,14	2,48	
4.	SO ₂	0,36	0,04	0,32	
5.	Pb	0,0065	0,00585	0,005915	
6.	Partikel	12,06	0,84	11,22	
$\Sigma=56544,60$					

Sedangkan jumlah polutan yang terjerap dan waktu jenuh media arang tempurung kelapa pada panjang media 15 cm dengan tanpa

penyisipan TiO₂ adalah sebagai berikut . Tabel 5 menunjukkan polutan gas buang yang terjerap pada media yang disisipi TiO₂.

Tabel 5. Jumlah Polutan yang Terjerap Media Arang Tempurung Kelapa Pada Panjang Media 15 cm Dengan Konsentrasi TiO₂ 15 %

No	Parameter	Konsentrasi (ppm)			Waktu jenuh
		Kontrol	Outlet	Terjerap	
1.	CO	6,11x10 ⁴	0,24x10 ⁴	58700	2677,16 menit = 44,45 jam
2.	HC	663	22,50	640,5	
3.	NO ₂	2,62	0,16	2,46	
4.	SO ₂	0,36	0,02	0,34	
5.	Pb	0,0065	0,000475	0,006025	
6.	Partikel	12,06	0,0046	12,0554	
$\Sigma=59355,36$					

Rekapitulasi Biaya Pembuatan Media Adsorpsi

Biaya investasi dikeluarkan antara lain untuk pengadaan knalpot uji (tabung adsorpsi),

biaya modifikasi serta pembelian serat glasswool, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Anggaran Biaya Investasi

No	Nama Bahan	Kebutuhan	Harga	Total
1.	Pembelian knalpot bekas	1 buah	Rp 15.000,00/kg	Rp 15.000,00
2.	Biaya modifikasi	-	Rp 10.000,00/kg	Rp 10.000,00
3.	Pembelian serat glasswool	1 kantong	Rp 4.000,00/kg	Rp 4.000,00
Jumlah				Rp 29.000,00

Sedangkan biaya operasional yang dibutuhkan untuk pembuatan media adsorpsi dengan panjang 15 cm yang disertai dengan

penyisipan 15 % TiO₂ dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Anggaran Biaya Operasional Untuk Pembuatan Media Karbon Aktif Dengan Konsentrasi TiO₂ 15 % Pada Panjang Media 15 cm

No	Nama Bahan	Kebutuhan	Harga	Total
1.	Arang tempurung kelapa	108,675 g	Rp 1.000,00/kg	Rp 108,675
2.	TiO ₂ powder	19,40625 g	Rp 25.000,00/kg	Rp 485,156
3.	Kanji	1,29375 g	Rp 3.000,00/kg	Rp 3,881
Jumlah				Rp 597,712

Biaya di atas merupakan biaya operasional yang harus dikeluarkan setiap penggantian media penyerap apabila media telah jenuh (44,45 jam). Apabila dibandingkan dengan biaya untuk pembuatan media arang

tempurung kelapa tanpa penyisipan TiO₂ (TiO₂ 0 %) dengan panjang media 15 cm, biaya tersebut sedikit lebih mahal. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada Tabel 8

Tabel 8. Anggaran Biaya Pembuatan Media Karbon Aktif Tanpa TiO₂ Pada Panjang Media 15 cm

No	Nama Bahan	Kebutuhan	Harga	Total
1.	Arang tempurung kelapa	129,375 g	Rp 1.000,00/kg	Rp 129,375
2.	Kanji	1,29375 g	Rp 3.000,00/kg	Rp 3,881
Jumlah				Rp 133,256

Dengan selisih biaya yang tidak terlalu jauh, media arang tempurung kelapa dengan penyisipan TiO₂ 15 % pada panjang media 15 cm akan mendapatkan nilai efisiensi yang lebih baik jika dibandingkan dengan media arang tempurung kelapa tanpa penyisipan TiO₂ pada panjang media 15 cm. Sehingga penyisipan TiO₂ pada media arang tempurung kelapa relevan digunakan dalam penurunan konsentrasi gas CO dan NO₂.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Karbon aktif dapat digunakan sebagai adsorben gas untuk menurunkan konsentrasi CO dan NO₂.
2. Pada variasi panjang media, efisiensi penurunan konsentrasi CO dan NO₂ terbaik terjadi pada panjang media 15 cm yaitu sebesar 83,90 % dan 93,50 %.

3. Media arang tempurung kelapa yang disisipi TiO₂ berpengaruh terhadap adsorpsi gas CO dan NO₂, dan lebih optimal dalam menurunkan konsentrasi gas CO dan NO₂, dibandingkan media arang tempurung kelapa tanpa penyisipan TiO₂.
4. Pada variasi konsentrasi TiO₂, efisiensi penurunan konsentrasi gas CO dan NO₂ terbaik terjadi pada konsentrasi TiO₂ 15 % sebesar 91,50 % dan 95,40 %.
5. Arang tempurung kelapa tanpa penyisipan TiO₂ memiliki waktu jenuh selama 45,84 jam, sedangkan arang tempurung kelapa dengan penyisipan TiO₂ memiliki waktu jenuh selama 44,45 jam.
6. Dengan selisih biaya yang tidak terlalu jauh, media arang tempurung kelapa dengan penyisipan TiO₂ 15 % pada panjang media 15 cm akan mendapatkan nilai efisiensi yang lebih baik jika dibandingkan dengan media arang tempurung kelapa tanpa penyisipan TiO₂ pada panjang media 15 cm.
6. IBOSUKI, T, 1996, "Titanium Dioxide Catalist Break Down Pollutant", Chemical and Engineering News, Journal.
7. REINOSO, FR. R, 1986, "Preparation and Characterization of Active Carbon", Mathinus Nif Noff Publisher, NASA Series 105.
8. REYNOLD, T. D, 1982, *Unit Operations And Processes In Environmental Engineering*. Brooks, Cole Engineering Division Monterey : California.
9. ROHMAT, T. A, 2003, "Pembentukan Zat Pencemar dalam Mesin Kendaraan", Sarasehan dalam Rangka Penyusunan Baku Mutu Emisi di BAPEDALDA DIY Yogyakarta : Yogyakarta.
10. TRI TUGASWATI, 2007, "Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Dan Dampaknya Terhadap Kesehatan", www.kpbb.org/makalah_ind/Emisi_Kesehatan.pdf,

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis kepada Irna (CO, NO₂), Purwati (SO₂, HC), Aldy dan Anggi (partikel, Pb), Pieter, Retno yang telah banyak membantu dalam penyelesaian makalah ini

DAFTAR PUSTAKA

1. BAKSH, MS, KIKKIDES, E D, dan YANG RT, 1992, "Characterization By Physisorption Of a New Class of Microsporous Adsorbens Pillared Clays", Eng. Chem. Res, 31.2181.2189.
2. BASUKI KRIS TRI, 2005, "Penggunaan Karbon Aktif Dalam Bentuk Kubus Untuk Reduksi Sox Dan Nox", Jurnal Rekayasa Lingkungan, Sekolah Tinggi Teknik Lingkungan, Yogyakarta
3. BASUKI KRIS TRI, 2001, "Pemurnian Tio₂ Dengan Proses Hidrolisa", Laporan Penelitian PPNY-BATAN Yogyakarta
4. BASUKI KRIS TRI, 2005, "Pemurnian Tio₂ Darimineral Ilmenit PT Timah Bangka", Laporan Penelitian PTAPB – BATAN Yogyakarta
5. CHEREMISINOF, 1998, *Carbon Adsorption Hand Book*, Ann Arboor. Science : New Jersey.

11. LEONARD, U.I. 1995, "Materials Chemistry an Emerging Disiplne, ACS", Washington.
12. TJOKROKUSUMO, 1995, "Pengantar Enjiniring Lingkungan, Sekolah Tinggi Teknik Lingkungan "YLH"", Yogyakarta