

# PENURUNAN KONSENTRASI CO DAN NO<sub>2</sub> PADA EMISI GAS BUANG DENGAN MENGGUNAKAN MEDIA PENYISIPAN TiO<sub>2</sub> LOKAL PADA KARBON AKTIF

KRIS TRI BASUKI

*PTAPB-BATAN Jalan Babarsari PO BOX 1008 Yogyakarta 55010*

*Tlp. : 0274. 488435 (484436 , Fax. : 0274 487824*

*Email. : kristri\_basuki@lycos.com*

## Abstrak

**PENURUNAN KONSENTRASI CO DAN NO<sub>2</sub> PADA EMISI GAS BUANG DENGAN MENGGUNAKAN MEDIA PENYISIPAN TiO<sub>2</sub> LOKAL PADA KARBON AKTIF.** Penggunaan karbon aktif sebagai media adsorpsi gas CO dan NO<sub>2</sub> 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 76,316 %, 80,866 % dan 82,785 %. Pada konsentrasi TiO<sub>2</sub> 5 %, 10 % dan 15 % yang ditambahkan pada media karbon aktif dengan panjang media 15 cm memberikan penurunan konsentrasi CO sebesar 83,88 %, 87,5 % dan 92,76 %. Untuk gas NO<sub>2</sub>, karbon aktif yang dipasang sepanjang 5 cm, 10 cm dan 15 cm pada tabung adsorpsi memberikan hasil penurunan konsentrasi gas NO<sub>2</sub> sebesar 78,897 %, 88,934 % dan 90,051 %. Pada konsentrasi TiO<sub>2</sub> 5 %, 10 % dan 15 % yang ditambahkan pada media karbon aktif dengan panjang 15 cm memberikan penurunan konsentrasi NO<sub>2</sub> sebesar 92,720%, 93,081% dan 94,338 %. Dari hasil penelitian juga diketahui bahwa media karbon aktif yang dipasang pada panjang media 15 cm memiliki efisiensi penurunan konsentrasi CO dan NO<sub>2</sub> yang lebih besar dibanding media karbon aktif yang dipasang pada panjang media 5 cm dan 10 cm. Media karbon aktif yang disisipi TiO<sub>2</sub> berpengaruh terhadap adsorpsi gas CO dan NO<sub>2</sub>, dan lebih optimal dalam menurunkan konsentrasi gas CO dan NO<sub>2</sub>, dibandingkan media karbon aktif tanpa penyisipan TiO<sub>2</sub>. Media karbon aktif dengan konsentrasi TiO<sub>2</sub> 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, karbon aktif, CO, NO<sub>2</sub>, *Engine's exhaust*

## Abstract

**REDUCTION OF CO AND NO<sub>2</sub> FROM ENGINE'S EXHAUST WITH LOCAL TiO<sub>2</sub> TO INSERTED IN ACTIVE CARBONE.** The carbone active can be use to adsorbe of CO and NO<sub>2</sub> from engine's exhaust. The result of this research, the carbone active make in engine's exhaust length with 5 cm, 10 cm and 15 cm can be reduce of CO are 76,316 %, 80,866 % and 82,785 %. The inserted of TiO<sub>2</sub> 5 %, 10 % and 15 % in carbone active with 15 cm length can be reduce of CO are 83,880 %, 87,500 % and 92,760 %. The carbone active make in engine's exhaust length with 5 cm, 10 cm and 15 cm can be reduce of NO<sub>2</sub> are 78,897 %, 88,934 % and 90,051 %. The inserted of TiO<sub>2</sub> 5 %, 10 % and 15 % in carbone active with 15 cm length can be reduce of NO<sub>2</sub> are 92,720

%, 93,081 % and 94,338 %. The efficiency of CO and NO<sub>2</sub> reduction with 15 cm length more effective with 5 cm and 10 cm length. The concentration of TiO<sub>2</sub> inserted in carbone active is more effective to reduction of CO and NO<sub>2</sub> than in carbone active media. TiO<sub>2</sub> 15 % inserted in carbone active media with 15 cm length is 42,880 hours saturated, with cost of medium is Rp. 1358,437.

Keywords : Titanium oxide, carbon aktive, CO, NO<sub>2</sub>, Engine's exhaust

## PENDAHULUAN

Emisi yang dikeluarkan dari gas buang kendaraan bermotor antara lain SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, HC, dan partikulat debu. Parameter pencemaran udara untuk gas CO dan NO<sub>2</sub> dianalisis karena gas ini memiliki prosentase yang cukup besar dalam pencemaran udara. Gas tersebut cukup berbahaya bagi kesehatan manusia bahkan dapat menyebabkan kematian apabila berada di atas standar baku muku. Sumber utama CO dan NO<sub>2</sub> berasal dari asap kendaraan bermotor. Konsentrasi CO dan NO<sub>2</sub> total yang ada di dalam atmosfer menunjukkan korelasi yang positif dengan kepadatan lalu lintas. Efeknya terhadap kesehatan yaitu CO mempunyai daya ikat yang tinggi terhadap Hb dalam aliran darah sehingga dapat menghalangi masuknya O<sub>2</sub> dalam darah. Konsentrasi gas NO<sub>2</sub> yang tinggi dapat menyebabkan gangguan pada sistem saraf yang mengakibatkan kejang-kejang. Bila keracunan ini terus berlanjut akan dapat menyebabkan kelumpuhan.

Berangkat dari masalah tersebut, maka diperlukan usaha untuk menurunkan konsentrasi CO dan NO<sub>2</sub> pada emisi gas buang kendaraan bermotor melalui penyisipan TiO<sub>2</sub> pada karbon aktif. Diharapkan dengan memanfaatkan karbon aktif sebagai bahan adsorpsi CO dan NO<sub>2</sub>, konsentrasi kedua gas tersebut pada knalpot kendaraan bermotor dapat berkurang. Karbon aktif digunakan sebagai media adsorpsi karena tidak bersifat racun, mudah didapat, ekonomis, dan efektif. TiO<sub>2</sub> dipilih sebagai katalis adsorpsi karena keberadaannya melimpah di Indonesia dan selalu stabil jika bekerja pada suhu ruangan.

Penyisipan merupakan suatu proses menyisipnya atom-atom atau molekul-molekul kedalam antar lapis material berlapis dengan tidak merusak struktur lapisan tersebut (Ogawa, 1992). Atom-atom atau molekul-molekul yang akan disisipkan sering disebut sebagai interkalat. Lapisan yang merupakan tempat interkalat yang akan masuk disebut interkalan.

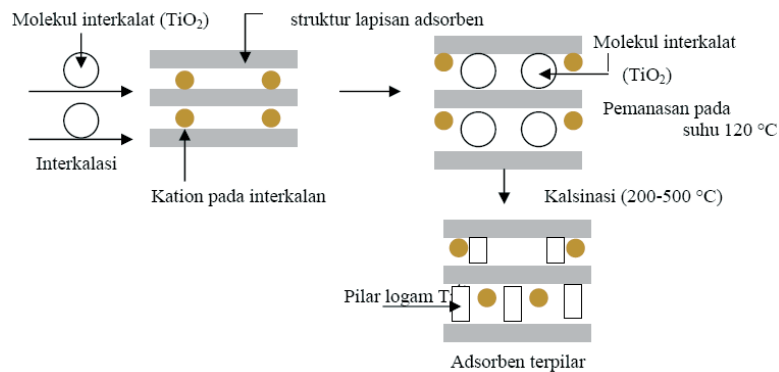
Dengan masuknya interkalat kedalam interkalan maka susunan yang dimiliki interkalan akan mengalami perubahan, karena interkalat memiliki ukuran molekul yang lebih besar dari ukuran kation interkalan aslinya.

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

Pada pemanasan lebih lanjut (di atas 200 °C), molekul interkalat akan membentuk pilar-pilar logam. Proses ini disebut dengan pilarisasi. Menurut

Sumerta (2002) pilarisasi adsorben pada dasarnya merupakan interkalasi molekul  $\text{TiO}_2$  kedalam antarlapis adsorben yang kemudian membentuk pilar logam  $\text{Ti}^{4+}$  melalui proses kalsinasi.

Namun pada adsorben jenis lain seperti zeolit yang mempunyai suhu maksimum pemanasan di atas suhu  $200\text{ }^\circ\text{C}$  (suhu pilarisasi) apabila dilakukan pemanasan pada suhu tinggi (kalsinasi), maka proses penyisipan  $\text{TiO}_2$  akan berlanjut menjadi proses pilarisasi, seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Proses Penyisipan  $\text{TiO}_2$  dan Pembentukan Pilar  $\text{Ti}^{4+}$  pada Adsorben (Leonard 1995)

Pada karbon aktif tidak dapat dilakukan proses pilarisasi karena jika dipanaskan pada suhu di atas  $150\text{ }^\circ\text{C}$ , struktur molekul karbon aktif akan rusak sebelum proses pilarisasi terjadi. Lapisan karbon aktif akan runtuh sebelum pilar  $\text{TiO}_2$  terbentuk. Pemanasan karbon aktif dilakukan pada suhu di bawah  $150\text{ }^\circ\text{C}$ . Pemanasan ini bertujuan untuk menghilangkan kadar air yang terkandung dalam karbon aktif karena dengan proses pemanasan, molekul air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) akan menguap.

Greg dan Sing (1967) menyatakan bahwa 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 :

- Terbentuk lapisan adsorpsi kedua, ketiga dan seterusnya.
- 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, dimana kecepatan adsorpsinya semakin berkurang dengan semakin banyaknya gas yang diserap.
3. Adsorpsi tergantung dari luas permukaan adsorben, semakin porus adsorben maka semakin besar daya adsorpsinya.
4. Jumlah gas yang diadsorpsi persatuan berat adsorben tergantung pada tekanan parsial (partial pressure) gas, dimana semakin besar tekanan maka semakin banyak gas diserap.

Proses adsorpsi emisi gas buang oleh media karbon aktif dapat dilakukan pada suatu kolom adsorpsi. Pada kolom adsorpsi, media karbon aktif 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 di dalam 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.

Karbon aktif adalah arang yang telah diaktifkan baik secara fisika maupun kimia, yang menghasilkan karbon dengan pori-pori lebih terbuka. Karbon aktif mempunyai permukaan yang luas dan berongga dengan struktur

yang berlapis. Hal ini menyebabkan karbon aktif dapat menyerap gas atau zat lain dalam larutan dan udara (Tjokrokusumo, 1995).

Karbon aktif digunakan sebagai adsorben karena :

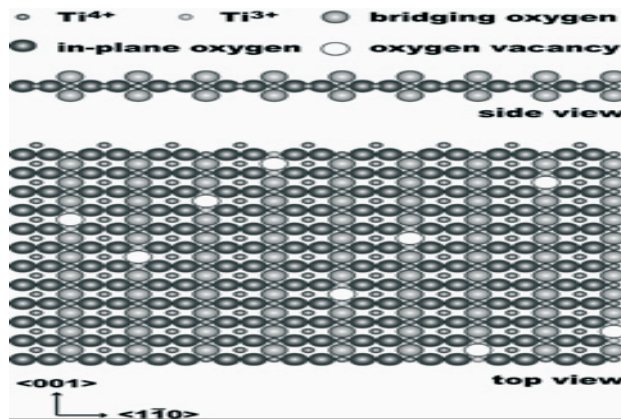
1. Mempunyai daya adsorpsi selektif.
2. Berpori, sehingga luas permukaan persatuan massa besar.
3. Mempunyai daya ikat yang kuat terhadap zat yang hendak dipisahkan secara fisik atau kimiawi.

Pori-pori karbon aktif mempunyai bentuk dan ukuran yang bervariasi dan tidak teratur, ukurannya 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 karbon aktif tidak akan berfungsi lagi. Karbon aktif yang telah jenuh dapat direaktifasi kembali, meskipun demikian tidak jarang yang disarankan untuk sekali pakai.

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

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

Titan dioksida merupakan padatan berwarna putih, tidak larut dalam HCl, HNO<sub>3</sub> dan aquaregia tetapi larut dalam asam sulfat pekat membentuk titaniumsulfat, Ti(SO<sub>4</sub>). Titanium (Ti) adalah unsur logam transisi, dapat membentuk ion titanium (III), Ti<sup>3+</sup> dan titanium (IV), Ti<sup>4+</sup>. Kation Ti<sup>3+</sup> dicirikan dengan warna lembayung, sedangkan Ti<sup>4+</sup> tidak berwarna. Kation Ti<sup>3+</sup> dalam air bersifat kurang stabil dan mudah mengalami oksidasi menjadi Ti<sup>4+</sup> (Cotton, 1999).



Gambar 2. Susunan Molekul Titanium Dioksida ( Frazer, 2001 )

Tabel 1. Sifat Fisik dan Mekanik TiO<sub>2</sub> Yang Khas ( Cotton, *et al*, 1999)

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

Titanium dioksida yang disisipkan pada karbon aktif hanya berfungsi sebagai katalis untuk mempercepat terjadinya proses penyerapan gas CO dan NO<sub>2</sub> oleh karbon aktif. 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 TiO<sub>2</sub> dapat mengoksidasi NO<sub>2</sub> dan mampu memecah berbagai senyawa organik, antara lain molekul merkaptan, asetaldehid, dan hidrogen sulfida. TiO<sub>2</sub> dapat diregenerasi dengan mudah pada suhu ruangan. Dimata para ahli kimia, TiO<sub>2</sub> 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 cm<sup>3</sup>
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. Karbon aktif     | 9. Gula                      |
| 2. TiO <sub>2</sub> | 10. Gelatin                  |
| 3. Semen            | 11. Kanji                    |
| 4. Gula             | 12. Lem                      |
| 5. Gelatin          | 13. AKuades                  |
| 6. Karbon aktif     | 14. Parafin                  |
| 7. TiO <sub>2</sub> | 15. <i>Glasswool</i>         |
| 8. Semen            | 16. Penyerap NO <sub>2</sub> |

### Cara Kerja

#### Tahap persiapan

Adapun langkah kerja pada tahap persiapan ini adalah sebagai berikut :

1. Uji bahan perekat  
Mencampur karbon aktif, akuades dan berbagai jenis perekat hingga rata dan terbentuk adonan kemudian adonan dicetak dalam bentuk kubus dengan panjang 1 cm, lebar 1 cm, dan tinggi 1cm. Mengeluarkan media dari cetakan, kemudian dipanaskan dalam oven selama tiga jam dengan suhu 120 °C. Kemudian mengeluarkan media dari oven. Selanjutnya menguji media karbon aktif 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.
2. Pembuatan media penyerap

Mencampur karbon aktif dan  $\text{TiO}_2$  hingga homogen selama  $\pm$  tiga jam dengan menggunakan alat homogenizer. Kemudian mencampur larutan perekat terpilih dalam campuran karbon aktif dan  $\text{TiO}_2$  hingga rata dan terbentuk adonan. Selanjutnya mengeluarkan media dari cetakan, kemudian dipanaskan dalam oven selama tiga jam dengan suhu  $120^\circ\text{C}$ . Mengeluarkan media dari oven dan menyimpan dalam wadah kedap udara. Media siap digunakan pada pengambilan sampel gas.

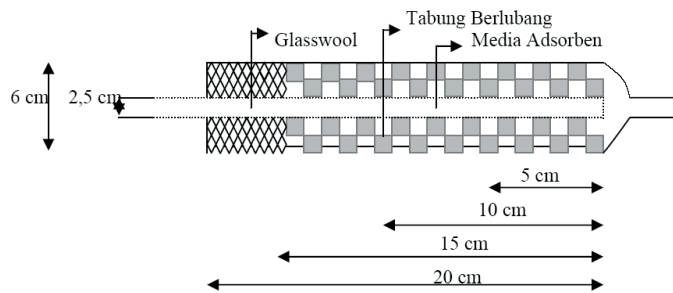
### 3. Membuat tabung adsorpsi

Tabung adsorpsi/knalpot uji digunakan untuk menempatkan media karbon aktif. 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

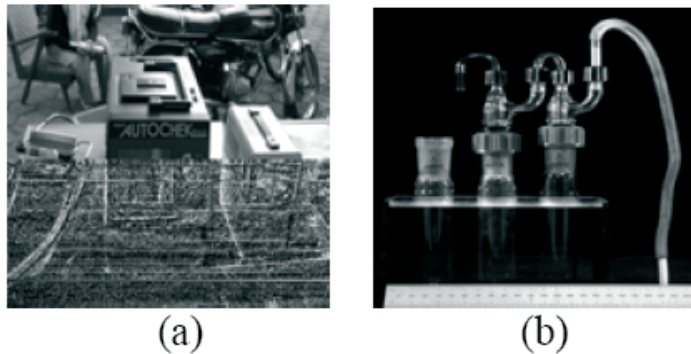


Gambar 3. Dimensi tabung adsorpsi

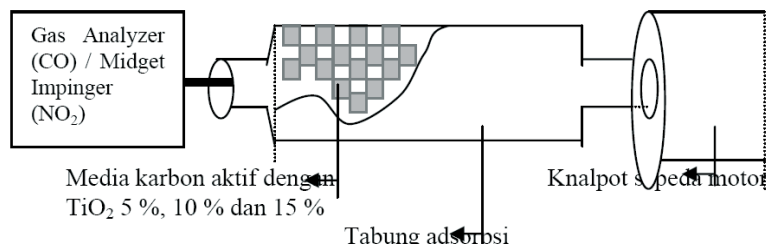
### Tahap pelaksanaan

Pengambilan sampel gas CO dilakukan dengan menggunakan peralatan digital, yaitu autochek 974/5. Untuk setiap pengukuran konsentrasi sampel gas CO dibutuhkan waktu yang relatif singkat, yaitu selama 8 detik. Untuk gas  $\text{NO}_2$  pengambilan sampel gas dilakukan dengan menggunakan midget impinger. Tabung impinger berfungsi sebagai tempat larutan penyerap gas  $\text{NO}_2$  (pereaksi saltzman). Adapun waktu yang diperlukan untuk setiap pengambilan sampel gas  $\text{NO}_2$  didasarkan pada perubahan warna pereaksi saltzman (dari tidak berwarna menjadi merah, yaitu selama  $\pm$  10 menit).





Gambar 4. Autochek SPTC 974/5 (a) dan Tabung Impinger (b)



Gambar 5. Pemasangan Media Adsorpsi pada Tabung Adsorpsi

### Tahap Analisis Sampel

Gas CO yang ditangkap dengan gas analyzer, dapat dianalisis secara langsung dengan melihat hasil penurunan konsentrasi yang ditampilkan pada layar monitor gas analyzer. Sampel NO<sub>2</sub> yang telah diambil, kemudian diukur volumenya dan dibaca adsorbansinya pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 550 nm, selanjutnya ditentukan nilai konsentrasinya.

## HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS

### **Uji Bahan Perekat**

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

Sifat fisik yang dihasilkan dari pencampuran karbon aktif dengan kanji lebih keras dengan pori-pori yang lebih homogen. Hal ini disebabkan ikatan antara molekul karbon aktif dan molekul kanji lebih kuat bila dibandingkan ikatan antara molekul karbon aktif dengan molekul jenis perekat lain. Sehingga memungkinkan kualitas hasil pencampuran antara karbon aktif dengan kanji tanpa TiO<sub>2</sub> maupun dengan TiO<sub>2</sub> menjadi lebih baik dan menghasilkan media karbon aktif yang dapat menyerap gas dengan optimal. Dengan demikian jenis bahan perekat yang dipilih dan yang akan digunakan pada pembuatan media karbon aktif 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 NO<sub>2</sub> pada kontrol awal ini akan digunakan sebagai standar/acuan terhadap penurunan konsentrasi CO dan NO<sub>2</sub>. Pengambilan sampel awal dilakukan dengan menggunakan tabung adsorpsi yang berisi glasswool tetapi tanpa media adsorpsi.

Hasil pengambilan sampel CO dan NO<sub>2</sub> awal ditunjukkan dalam Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil Pengambilan Sampel Awal CO dan NO<sub>2</sub>

Perulangan	Konsentrasi CO (%)	Konsentrasi NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
1	6,03	4675,35
2	6,10	4821,78
3	6,12	5044,26
Rata-rata	6,08	4847,13

Pada tabel tersebut menunjukkan bahwa jumlah emisi gas CO yang diukur pada pengambilan sampel awal lebih besar daripada gas NO<sub>2</sub>. Hal ini disebabkan karena gas CO 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.

Gas NO<sub>2</sub> merupakan emisi samping dari pembakaran bensin yang secara alami mengandung unsur nitrogen (seperti piridin, qinolin, pirol, indol, dan karbasol). Konsentrasi NO<sub>2</sub> dalam gas buang pada saat kendaraan bermotor dalam kondisi stasioner adalah relatif kecil. Konsentrasi NO<sub>2</sub> akan meningkat secara signifikan seiring dengan penambahan RPM dan peningkatan suhu mesin.

### **Pengambilan sampel setelah melalui media karbon aktif pada variasi panjang media tanpa penyisipan TiO<sub>2</sub>**

Tujuan dari pemberian variasi panjang media pada tabung adsorpsi adalah untuk mengetahui panjang media yang paling efisien dalam menyerap gas CO dan NO<sub>2</sub>.

Setelah diperoleh panjang media yang paling efisien, maka dilanjutkan dengan pemberian variasi konsentrasi  $\text{TiO}_2$  pada panjang media tersebut.

Titanium dioksida yang dipakai adalah  $\text{TiO}_2$  hasil proses pemisahan dari mineral ilmenit yang didapatkan dari PT Timah, dilakukan oleh Pusat Penelitian Akselerator dan Proses Bahan – BATAN Yogyakarta.

Konsentrasi CO pada saat pengambilan sampel awal 6,08 %. 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  $\leq 4,5$  %. Kemudian setelah melewati media karbon aktif dengan panjang media 5 cm, konsentrasi CO turun menjadi 1,44 %, pada panjang media 10 cm terjadi penurunan kembali yaitu 1,163 % dan setelah melewati media karbon aktif pada panjang media 15 cm konsentrasi CO menjadi 1,05 %. Dengan demikian konsentrasi CO ini telah memenuhi standar regional Propinsi Jawa Tengah.

Hasil pengambilan sampel  $\text{NO}_2$  sebagai kontrol yaitu 4847,13  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Berdasarkan SK Gubernur Jawa Tengah No. 5 Tahun 2004, konsentrasi ini masih di bawah baku mutu. Baku mutu emisi  $\text{NO}_2$  ke udara  $\leq 100 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Setelah melewati media karbon aktif dengan panjang media 5 cm, konsentrasi  $\text{NO}_2$  turun menjadi 1022,883  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , pada panjang media 10 cm terjadi penurunan menjadi 536,393  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Konsentrasi  $\text{NO}_2$  turun kembali pada panjang media 15 cm menjadi 482,260  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

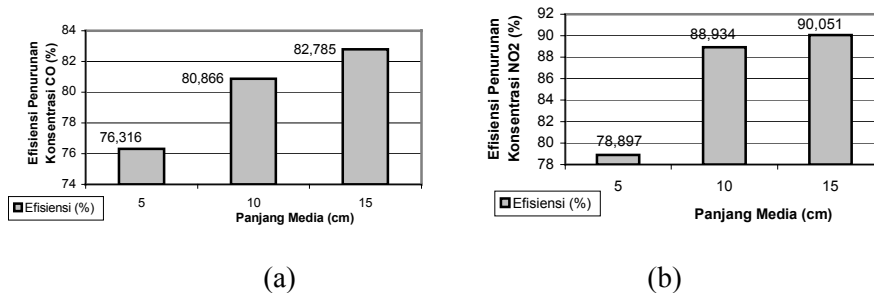
Berdasarkan hasil pengukuran terlihat bahwa terjadi penurunan konsentrasi CO dan  $\text{NO}_2$  pada tabung adsorpsi setelah melewati media karbon aktif. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi emisi gas CO dan  $\text{NO}_2$  sebanding dengan penambahan panjang media karbon aktif pada tabung adsorpsi. Hal ini berarti bahwa semakin luas zone adsorpsi, maka semakin besar kemampuan adsorpsi media karbon aktif terhadap gas CO dan  $\text{NO}_2$ .

Dari ketiga variasi panjang media karbon aktif yaitu 5 cm, 10 cm dan 15 cm, efisiensi penurunan terbesar terhadap konsentrasi CO dan  $\text{NO}_2$  dengan media karbon aktif tanpa penyisipan  $\text{TiO}_2$  adalah pada panjang media 15 cm, yaitu sebesar 82,785 % dan 90,051 %. Hal ini sesuai dengan teori adsorpsi dari Reynold (1982), yang mengatakan bahwa adsorpsi sangat tergantung dari 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  $\text{NO}_2$ . Hal ini disebabkan karbon aktif dengan karakteristik pori yang lebih terbuka mampu menyerap molekul gas CO dan  $\text{NO}_2$  (Tjokrokusumo, 1998). Proses adsorpsi ini sering disebut sebagai proses adsorpsi gas oleh zat padat.

Pada proses adsorpsi gas oleh media karbon aktif 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. Karena pada pengambilan sampel sepeda motor dioperasikan pada putaran mesin stasioner dan laju aliran gas yang diukur adalah 0,5 l/menit, maka efisiensi penurunan konsentrasi CO dan NO<sub>2</sub> lebih optimal. Grafik efisiensi penurunan konsentrasi CO dan NO<sub>2</sub> yang dilakukan pada tabung adsorpsi yang disambung dengan knalpot asli sepeda motor setelah melalui media karbon aktif tanpa penyisipan TiO<sub>2</sub> dengan variasi panjang media 5 cm, 10 cm, dan 15 cm, adalah sebagai berikut :



(a) (b)  
Gambar 6. Grafik Efisiensi Penurunan Konsentrasi Gas CO (a) dan Gas NO<sub>2</sub> (b) Setelah Melalui Media Karbon Aktif Tanpa Penyisipan TiO<sub>2</sub> pada Variasi Panjang Media 5 cm, 10 cm dan 15 cm

### Pengambilan sampel setelah melalui media karbon aktif yang disisipi TiO<sub>2</sub> dengan variasi konsentrasi TiO<sub>2</sub>

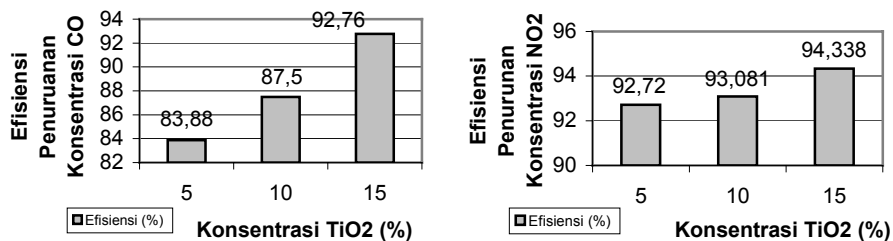
Pengambilan sampel gas CO dan NO<sub>2</sub> dengan memvariasikan konsentrasi TiO<sub>2</sub> dilakukan pada panjang media terbaik. Tujuannya adalah untuk mengetahui konsentrasi TiO<sub>2</sub> yang paling efektif yang akan disisipkan pada media karbon aktif dalam meningkatkan kemampuan adsorpsi terhadap gas CO dan NO<sub>2</sub>.

Pengambilan sampel gas CO dan NO<sub>2</sub> dengan variasi konsentrasi TiO<sub>2</sub> digunakan panjang media 15 cm. Hal ini dilakukan karena konsentrasi kedua gas setelah melewati media karbon aktif tanpa penyisipan TiO<sub>2</sub> menunjukkan bahwa panjang media terbaik untuk penurunan konsentrasi CO dan NO<sub>2</sub> 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 dari 1,05 % pada konsentrasi TiO<sub>2</sub> 0 % menjadi 0,98 % pada konsentrasi TiO<sub>2</sub> 5 %. Pada konsentrasi TiO<sub>2</sub> 10 % terjadi penurunan konsentrasi CO menjadi 0,76 %, dan pada konsentrasi TiO<sub>2</sub> 15 % konsentrasi CO menurun kembali menjadi 0,44 %. Begitu pula dengan penurunan konsentrasi NO<sub>2</sub>, dimana pada panjang media 15 cm dengan konsentrasi TiO<sub>2</sub> 0 %, konsentrasi NO<sub>2</sub> mencapai 482,260 µg/m<sup>3</sup>. Kemudian setelah melewati media karbon aktif dengan panjang media yang sama tetapi dengan penambahan konsentrasi TiO<sub>2</sub> 5 %, terjadi penurunan konsentrasi menjadi 352,890 µg/m<sup>3</sup>. Pada konsentrasi TiO<sub>2</sub> 10 % juga terjadi penurunan

konsentrasi  $\text{NO}_2$  menjadi  $335,383 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , dan pada konsentrasi  $\text{TiO}_2$  15 % konsentrasi  $\text{NO}_2$  menurun kembali menjadi  $274,430 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Konsentrasi gas CO dan  $\text{NO}_2$  setelah melewati media karbon aktif yang disisipi  $\text{TiO}_2$  lebih kecil dibandingkan konsentrasi gas CO dan  $\text{NO}_2$  setelah melewati media karbon aktif tanpa penyisipan  $\text{TiO}_2$ . Penurunan ini menunjukkan bahwa media karbon aktif yang disisipi  $\text{TiO}_2$  lebih berpengaruh terhadap adsorpsi gas CO dan  $\text{NO}_2$ , dan lebih optimal dalam menurunkan konsentrasi gas CO dan  $\text{NO}_2$ , bila dibandingkan dengan media karbon aktif tanpa penyisipan  $\text{TiO}_2$ . Berikut ini merupakan grafik efisiensi penurunan konsentrasi gas CO pada panjang media 5 cm dan gas  $\text{NO}_2$  pada panjang media 15 cm pada emisi gas buang knalpot sepeda motor setelah melalui media karbon aktif yang disisipi  $\text{TiO}_2$  dengan konsentrasi  $\text{TiO}_2$  5 %, 10%, dan 15%.



Gambar 7. Grafik Efisiensi Penurunan Konsentrasi Gas CO (a) dan Gas  $\text{NO}_2$  (b) Setelah Melalui Media Karbon Aktif yang Disisipi  $\text{TiO}_2$  pada Panjang Media Terpilih dengan Konsentrasi  $\text{TiO}_2$  5 %, 10%, dan 15 %

Grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi  $\text{TiO}_2$ , maka tingkat penurunan konsentrasi gas CO dan  $\text{NO}_2$  semakin besar. Dengan demikian tingkat efisiensi adsorpsi karbon aktif semakin tinggi pula. Namun penambahan konsentrasi  $\text{TiO}_2$  tidak selamanya akan memperbaiki efisiensi penurunan konsentrasi. Pada suatu saat, penambahan  $\text{TiO}_2$  justru akan menurunkan kemampuan adsorpsi media karbon aktif. Hal ini disebabkan  $\text{TiO}_2$  hanya berfungsi sebagai katalis bukan sebagai adsorben dan tidak berpengaruh terhadap efisiensi removal gas buang. Sehingga bila penambahan  $\text{TiO}_2$  terlalu banyak akan mengurangi jumlah karbon aktif yang berfungsi sebagai adsorben gas CO dan  $\text{NO}_2$ . Dengan berkurangnya jumlah karbon aktif, maka zone adsorpsi akan berkurang pula. Efisiensi penurunan konsentrasi gas CO dan  $\text{NO}_2$  juga akan menurun.

Penurunan konsentrasi CO dan  $\text{NO}_2$  setelah melewati media karbon aktif yang disisipi  $\text{TiO}_2$  terjadi karena struktur lapisan karbon aktif sebagai media penjerap telah mengalami perubahan. Perubahan ini terjadi karena molekul  $\text{TiO}_2$  yang menyisip kedalam struktur lapisan karbon aktif memiliki ukuran molekul yang lebih besar dari ukuran kation yang terdapat dalam struktur lapisan karbon aktif.

Menyisipnya  $\text{TiO}_2$  dalam antarlapis karbon aktif terjadi pada saat dilakukannya pengadukan dengan homogenizer. Pengadukan ini bertujuan untuk mencampur rata padatan  $\text{TiO}_2$  dengan padatan karbon aktif hingga keduanya homogen. Molekul  $\text{TiO}_2$  yang telah menyisip akan menggeser kation-kation yang ada pada ruang antarlapis karbon aktif. Kation pada antarlapis karbon aktif umumnya tidak kuat terikat sehingga sangat mudah digeser oleh molekul  $\text{TiO}_2$ .

Setelah homogen, struktur lapisan karbon aktif yang terbentuk setelah menyisipnya molekul  $\text{TiO}_2$  masih rapuh, sehingga media perlu dipanaskan. Proses pemanasan ini selain bertujuan untuk menstabilkan struktur lapisan karbon aktif, juga untuk penghilangan kadar air dalam karbon aktif. Pemanasan dilakukan pada suhu  $120\text{ }^\circ\text{C}$  selama tiga jam. Melalui pemanasan, molekul air yang juga menempati ruang antarlapis karbon aktif akan hilang. Dengan demikian volume ruang antarlapis karbon aktif setelah proses penyisipan  $\text{TiO}_2$  akan bertambah besar sebagai akibat dari menyisipnya molekul  $\text{TiO}_2$  dan hilangnya molekul air.

Fenomena inilah yang menyebabkan gas CO dan  $\text{NO}_2$  dapat terperap dalam jumlah yang lebih besar pada media karbon aktif yang disisipi  $\text{TiO}_2$ . Gas CO dan  $\text{NO}_2$  yang telah terperap akan terdifusi dari lapisan terluar ke lapisan paling dalam. Kedua gas ini akan menempati ruang antarlapis pada struktur karbon aktif dengan kapasitas yang lebih besar.

### **Pengambilan Sampel Akhir (Sebagai Kontrol Akhir)**

Setelah semua sampel gas CO dan  $\text{NO}_2$  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  $\text{NO}_2$  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  $\text{NO}_2$

Perulangan	Konsentrasi CO (%)	Konsentrasi $\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
1	6,13	4391,99
2	6,17	4644,10
3	6,31	4857,78
Rata-rata	6,20	4631,29

Hasil tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi akhir untuk gas CO sebesar 6,20 %. Dibanding dengan konsentrasi awal, nilai kontrol akhir ini lebih besar. Untuk konsentrasi akhir  $\text{NO}_2$ , konsentrasi 4631,29  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  tersebut kecil dibanding konsentrasi awal.

Dari hasil pengukuran konsentrasi awal dan konsentrasi akhir gas CO diperoleh perbedaan nilai konsentrasi dengan simpangan baku sebesar 1,38 %. Untuk konsentrasi NO<sub>2</sub>, diperoleh perbedaan nilai konsentrasi dengan simpangan baku sebesar 3,22 %. 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 % TiO<sub>2</sub> dan 15 % TiO<sub>2</sub>. Parameter yang diukur adalah 6 parameter polutan utama sesuai dengan SK Gubernur Jawa Tengah tahun 2004, yaitu : CO, HC, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, Pb dan partikel. Keenam parameter tersebut telah diteliti oleh Rahma (CO, NO<sub>2</sub>), Zaenal (SO<sub>2</sub>, HC), Aldy dan Gatot (partikel, Pb). Jumlah polutan yang terjerap dan waktu jenuh media karbon aktif pada panjang media 15 cm dengan konsentrasi TiO<sub>2</sub> 15 % ditampilkan pada Tabel 4. :

Tabel 4. Jumlah Polutan yang Terjerap Media Karbon Aktif pada Panjang Media 15 cm dengan Konsentrasi TiO<sub>2</sub> 15 %

No	Parameter	Konsentrasi (ppm)			Waktu jenuh
		Kontrol	Outlet	Terjerap	
1.	CO	6,08x10 <sup>4</sup>	0,44x10 <sup>4</sup>	5,64 x10 <sup>4</sup>	2572,87 menit = 42,88 jam
2.	HC	663	33,67	629,33	
3.	NO <sub>2</sub>	2,62	0,1386	2,4814	
4.	SO <sub>2</sub>	0,358	0,0443	0,3137	
5.	Pb	0,0065	0,00585	0,005915	
6.	Partikel	12,05	0,8435	11,2065	
				Σ=570439,34	

Jumlah polutan yang terjerap dan waktu jenuh media karbon aktif pada panjang media 15 cm dengan tanpa penyisipan TiO<sub>2</sub> ditampilkan pada Tabel 5

Tabel 5. Jumlah Polutan tang Terjerap Media Karbon Aktif pada Panjang Media 15 Cm Ddengan Konsentrasi TiO<sub>2</sub> 15 %

No	Parameter	Konsentrasi (ppm)			Waktu jenuh
		Kontrol	Outlet	Terjerap	
1.	CO	6,08x10 <sup>4</sup>	0,846x10 <sup>4</sup>	52340	3266,59 menit = 54,44 jam
2.	HC	663	90,67	573,33	
3.	NO <sub>2</sub>	2,62	0,26	2,36	
4.	SO <sub>2</sub>	0,358	0,083	0,275	
5.	Pb	0,0065	0,000975	0,005525	
6.	Partikel	12,05	1,7775	10,2725	
				Σ=52925,25	

### Rekapitulasi Biaya Pembuatan Media Adsorpsi

Biaya investasi dikeluarkan antara lain untuk pengadaan knalpot uji (tabung adsorpsi), biaya modifikasi serta pembelian serat glasswool, seperti pada Tabel 6.

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

Biaya operasional yang dibutuhkan untuk pembuatan media adsorpsi dengan panjang 15 cm yang disertai dengan penyisipan 15 %  $\text{TiO}_2$  ditampilkan pada Tabel 7.:

Tabel 7.. Anggaran biaya operasional untuk pembuatan media karbon aktif dengan konsentrasi  $\text{TiO}_2$  15 % pada panjang media 15 cm

No	Nama Bahan	Kebutuhan	Harga	Total
1.	Karbon aktif	108,675 g	Rp 8.000,00/kg	Rp 869,400
2.	powder $\text{TiO}_2$	19,40625 g	Rp 25.000,00/kg	Rp 485,156
3.	powder Kanji	1,29375 g	Rp 3.000,00/kg	Rp 3,881
Jumlah				Rp 1358,437

Biaya di atas merupakan biaya operasional yang harus dikeluarkan setiap penggantian media penyerap apabila media telah jenuh (42,88 jam). Apabila dibandingkan dengan biaya untuk pembuatan media karbon aktif tanpa penyisipan  $\text{TiO}_2$  ( $\text{TiO}_2$  0 %) dengan panjang media 15 cm, biaya tersebut sedikit lebih mahal. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada Tabel 7.



Tabel 7.. Anggaran Biaya Pembuatan Media Karbon Aktif Tanpa TiO<sub>2</sub> pada Panjang Media 15 cm

No	Nama Bahan	Kebutuhan	Harga	Total
1.	Karbon aktif powder	129,375 g 1,29375 g	Rp 8.000,00/kg Rp 3.000,00/kg	Rp 1035,000 Rp 3,881
2.	Kanji			
	Jumlah			Rp 1038,881

Dengan selisih biaya yang tidak terlalu jauh, media karbon aktif dengan penyisipan TiO<sub>2</sub> 15 % pada panjang media 15 cm akan mendapatkan nilai efisiensi yang lebih baik jika dibandingkan dengan media karbon aktif tanpa penyisipan TiO<sub>2</sub> pada panjang media 15 cm. Sehingga penyisipan TiO<sub>2</sub> pada media karbon aktif relevan digunakan dalam penurunan konsentrasi gas CO dan NO<sub>2</sub>

## 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 NO<sub>2</sub>.
2. Pada variasi panjang media, efisiensi penurunan konsentrasi CO dan NO<sub>2</sub> terbaik terjadi pada panjang media 15 cm yaitu sebesar 82,785 % dan 90,051 %.
3. Media karbon aktif yang disisipi TiO<sub>2</sub> berpengaruh terhadap adsorpsi gas CO dan NO<sub>2</sub>, dan lebih optimal dalam menurunkan konsentrasi gas CO dan NO<sub>2</sub>, dibandingkan media karbon aktif tanpa penyisipan TiO<sub>2</sub>.
4. Pada variasi konsentrasi TiO<sub>2</sub>, efisiensi penurunan konsentrasi gas CO dan NO<sub>2</sub> terbaik terjadi pada konsentrasi TiO<sub>2</sub> 15 %, yaitu sebesar 86,020 % dan 94,338 %.
5. Karbon aktif tanpa penyisipan TiO<sub>2</sub> memiliki waktu jenuh selama 54,44 jam, sedangkan karbon aktif dengan penyisipan TiO<sub>2</sub> memiliki waktu jenuh selama 42,88 jam.
6. Dengan selisih biaya yang tidak terlalu jauh, media karbon aktif dengan penyisipan TiO<sub>2</sub> 15 % pada panjang media 15 cm akan mendapatkan nilai efisiensi yang lebih baik jika dibandingkan dengan media karbon aktif tanpa penyisipan TiO<sub>2</sub> pada panjang media 15 cm.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis kepada Rahma (CO, NO<sub>2</sub>), Zaenal (SO<sub>2</sub>, HC), Aldy dan Gatot (partikel, Pb), Budi Setiawan Pieter, Retno yang telah banyak membantu dalam penyelesaian makalah ini

## DAFTAR PUSTAKA

1. AHMAD, J. 1996. *Pencemaran Alam Sekitar*, Siri Pencemaran Alam. Eddiplex Sdn. Bhd : Jakarta.
2. AHMAD, J. & IDRIS, R. S. 1996. *Pencemaran Udara dan Bunyi*, Siri Utamakan Alam Sekitar Anda. Mikamas : Jakarta.
3. 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.
4. BASUKI KRIS TRI, 2005. Penggunaan karbon aktif dalam bentuk kubus untuk reduksi Sox dan NOx. Jurnal Rekayasa Lingkungan, Sekolah Tinggi Teknik Lingkungan, Yogyakarta
5. BASUKI KRIS TRI, 2005, Pemurnian TiO<sub>2</sub> darimineral Ilmenit PT Timah Bangka. Laporan Penelitian PTAPB – BATAN Yogyakarta
6. CHEREMISINOFF. 1998. Carbon Adsorption Hand Book. Ann Arboor. Science : New Jersey.
7. FARDIAZ, S. 1992. Polusi Air dan Udara. Kanisius : Yogyakarta.
8. FRAZER, L. 2001. Titanium Dioxide : Environmental White Knight? Environmental Health Perspectives Volume 109.
9. IBOSUKI, T. 1996. Titanium Dioxide Catalist Break Down Pollutant. Chemical and Engineering News, Journal.
10. Kementerian Lingkungan Hidup. 1999. Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 tentang Pencemaran Udara.
11. Keputusan Gubernur Jawa Tengah No. 8 Tahun 2001 Tanggal 23 April 2001 tentang Baku Mutu Udara Ambien di Propinsi Jawa Tengah.
12. OBERT, F. E. 1982. Internal Combustion Engines Third Edition. International Textbook Company Scranton : California.
13. PARLAN, H. 2004. Advokasi Pencemaran Udara. Wahana Lingkungan Hidup : Jakarta.
14. PERTAMINA. 1994. Komposisi Minyak Bumi : Jakarta.
15. PIRNGADIE, H. B. 2001. Strategi Penanggulangan Pencemaran Udara Dari Sektor Transportasi. Universitas Pasundan : Bandung.
16. REINOSO, FR. R. 1986. Preparation and Characterization of Active Carbon. Mathinus Nif Noff Publisher, NASA Series 105.

17. REYNOLD, T. D. 1982. Unit Operations And Processes In Environmental Engineering. Brooks/Cole Engineering Division Monterey : California.
18. ROHMAT, T. A. 2003. Pembentukan Zat Pencemar dalam Mesin Kendaraan. Sarasehan dalam Rangka Penyusunan Baku Mutu Emisi di BAPEDALDA DIY Yogyakarta : Yogyakarta.
19. RYADI, S. A. L. 1986. Pengantar Kesehatan Lingkungan Dimensi dan Tinjauan Konseptual. Usaha Nasional : Surabaya.
20. SANTOSO, S. 2002. Buku Latihan SPSS Statistika Multivariat. PT Elex Media Komputindo : Jakarta.
21. SASTRAWIJAYA, T. A. 1991. Pencemaran Lingkungan. Rineka Cipta : Jakarta.
22. SARDAT, D. N. dkk. 2003. *Udara Bersih Hak Kita Bersama*. Yayasan Pelangi : Jakarta.
23. SLAMET, S. J. 1994. *Kesehatan Lingkungan*. Gajah Mada University Press : Yogyakarta.
24. SUGIYONO, 2001. *Statistika Penelitian dan Aplikasinya dengan SPSS 10.0 for Windows*. Alfabeta : Bandung.
25. SUNDSTROM, D. W and KLEI, H. E. 1979. *Waste Water Treatment*. Prentice-Hall. Inc. Engelwool Cliffs : New Jersey.
26. WARDHANA, W. A. 1995. Dampak Pencemaran Lingkungan. Andi Offset : Yogyakarta.
27. XIANZHI, F, YANG, R.T. and IBOSUKI, T. 1995. The Gas-Phase Photocatalytic Mineralization of Benzene on Porous Titania Based Applied Catalysis B. Environmental.

