

TA/TL/2005/0030

PERPUSTAKAAN FTSP UII	
HARJASRI/DESA	
TGL. TERIMA :	_____
NO. JUDUL :	_____
NO. INV. :	_____
NO. INDUK :	_____

## TUGAS AKHIR

### REDUKSI NO<sub>x</sub> DAN Pb DALAM GAS BUANG DENGAN METODE SENTRIFUGAL ADSORBEN TiO<sub>2</sub> TERPILARISASI DALAM ZEOLIT

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia  
untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh  
derajat Sarjana Teknik Lingkungan



Oleh:

Nama : Aldy Harry Kurniawan

No. Mahasiswa: 00 513 023

Program Studi : Teknik Lingkungan

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
JOGJAKARTA  
2005**

## LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

### REDUKSI NO<sub>x</sub> DAN Pb DALAM GAS BUANG DENGAN METODE SENTRIFUGAL ADSORBEN TiO<sub>2</sub> TERPILARISASI DALAM ZEOLIT

Nama : Aldy Harry Kurniawan

No. Mahasiswa : 00.513.023

Program Studi : Teknik Lingkungan

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

**Dosen Pembimbing I**  
Dr.Drs.Ir. Kris Tri Basuki Msc, APU

  
Tanggal : 25/8-05

**Dosen Pembimbing II**  
Eko Siswoyo, ST

  
Tanggal : 25-8-05

## ABSTRAKSI

Kendaraan bermotor roda dua 4 tak yang semakin lama mengalami peningkatan jumlah yang pesat sangat berpotensi untuk menimbulkan pencemaran udara bersih di atmosfer. Dampak yang dimaksud adalah pencemaran udara yang berasal dari emisi gas buang hasil pembakaran kendaraan bermotor terutama Nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ) dan Timah Hitam (Pb), yang berbahaya bagi makhluk hidup terutama bagi manusia.

REDUKSI  $\text{NO}_x$  DAN Pb DALAM GAS BUANG DENGAN METODE SENTRIFUGAL ADSORBEN  $\text{TiO}_2$  TERPILARISASI DALAM ZEOLIT merupakan salah satu teknologi dalam mereduksi pencemar-pencemar udara sebagai upaya preventif dalam meminimalisasi terjadinya pencemaran udara yang memanfaatkan zeolit sebagai adsorben menggunakan gaya sentrifugal. Diharapkan pencemar ini dapat direduksi dengan cara dipusingkan hingga penyerapan pada adsorben lebih merata. Konsentrasi campuran  $\text{TiO}_2$  dalam adsorben yang paling efektif pada konsentrasi 10 %. Efisiensi Pb cukup baik dengan nilai rata-rata besar dari 50 % dan dibawah baku mutu yang ditetapkan sebesar 10 ppb. Berbeda dengan  $\text{NO}_x$  yang sangat tidak stabil dengan efisiensi rata-rata kurang dari 50 % dengan baku mutu 700 ppm. Pemilihan metode berdasarkan acuan nilai ekonomis serta kemampuan teknis dari zeolit yang mudah didapatkan.

Kata kunci :  $\text{NO}_x$ , Pb, Adsorben, Pilarisasi, Gaya sentrifugal, Titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ), Zeolit

## ABSTRACT

Two wheel 4 tack motor cycle which longer experience increase on the amount fastly, have a potentiality to evoke pollution of fresh air in the atmosphere. Such impact is air pollution coming from gas emission as a result of motor vehicle combustion especially Nitrogen Oxide ( $\text{NO}_x$ ) and Lead (Pb) that are dangerous to mortal especially human being.

REDUCTION OF  $\text{NO}_x$  AND Pb IN GAS EMISSION WITH CENTRIFUGAL ADSORBENT METHOD OF  $\text{TiO}_2$  ARE POLARIZATION IN ZEOLIT represent one technology in reducing air emissions as preventive effort in minimalist the occurrence of air pollution that exploiting zeolit as the adsorbent using a centrifugal forms. Expected that this pollutant earn to be reduction by rotated till absorption in the adsorbent are more flatten. There is concentration mixture of  $\text{TiO}_2$  in most effective mixture adsorbent at 10% concentration. Efficiency of Pb is good enough with average value equal to 50% and under standard quality that is specified equal to 10 ppb, differing from very unstable  $\text{NO}_x$  with mean efficiency less than 50% standard quality of 700 ppm. Election of method pursuant to economic value reference and also technical ability of zeolit that is easy to be got.

Key words:  $\text{NO}_x$ , Pb, Adsorbent, Polarization, Centrifugal form, Titanium dioxide ( $\text{TiO}_2$ ), Zeolit.

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Perwujudan dari penantian selama duduk di bangku kuliah*

*P.A.T.U yang telah menciptakan*

*P.A.T.U yang telah mengirimkan*

*P.A.T.U yang telah memberi nafas*

*P.A.T.U yang telah memberi kehidupan di muka bumi*

*Tiada alasan untuk tiada tunduk kepadaNya*

*salu yang telah mengorbankan nyawa*

*menerima titipan dengan tangan terbuka*

*dengan perjuangan hidup yang berlaku hingga sekarang*

*apa yang dapat diperbuat selain berbakti padanya*

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir dengan judul **“REDUKSI NO<sub>x</sub> DAN Pb DALAM GAS BUANG DENGAN METODE SENTRIFUGAL ADSORBEN TiO<sub>2</sub> TERPILARISASI DALAM ZEOLIT”**.

Penyusunan tugas akhir ini dapat terselesaikan berkat dorongan dan motivasi, bantuan, bimbingan dan arahan, serta adanya kerja sama dari berbagai pihak. Untuk itu perkenankanlah penulis mengucapkan banyak terima kasih dan penghargaan yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Ummiku tercinta dan tersayang, alm. ayah yang kubanggakan, yang memberikan dorongan materiil dan spiritual yang sungguh sulit ananda untuk membalasnya serta kasih sayangnya hingga penulis dapat mewujudkan salah satu cita-citanya ini.
2. Bapak Ir. H. Kasam, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Drs. Sudjatmoko, SU, APU, selaku Kepala P3TM – BATAN Jogjakarta.
4. Bapak . Dr. Ir. Kris Tri Basuki, Msc, APU, selaku Dosen Pembimbing Utama dan Kepala Bidang TeknoFisikoKimia BATAN Yogyakarta yang telah memberikan ijin penelitian serta banyak memberikan masukan.

5. Bapak Eko siswoyo, ST, selaku Dosen Pembimbing Pendamping, yang banyak memberikan arahan dan bimbingan.
6. Bapak Budi Setiawan, ST, yang tak bosan-bosan menemani serta memberi kritik dan saran yang sangat berguna.
7. Bapak Andik Yulianto, ST, selaku Koordinator Tugas Akhir.
8. Bapak Hudori, ST, selaku Dosen Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.
9. Bapak Luqman Hakim, ST, Msi, selaku Dosen Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.
10. Seluruh staf dan karyawan di Laboratorium Teknofisika Kimia P3TM BATAN (pak Tugiyono, pak Andri, dkk) terima kasih banyak atas bimbingannya selama penelitian.
11. Mas Agus, yang banyak membantu dalam pengurusan surat-surat.
12. Saudara-saudariku (Bang Aat “bontet” gaweannya gimana??, “pak pol” Bambang, Rakhmawati si “calon dokter”, “pisat” yang nakal Arief), sepupu-sepupu (S) semoga mendapatkan wanita yang tepat (punya moral!), kak Tom (met wisuda) terima kasih atas dorongan dan motivasinya.
13. Sepupu-sepupu kecil-ku (Relo, Rizky) sekolah yang pintar supaya cita-citamu tergapai.
14. Teman-teman seperjuangan (Mas Mey, Om Gatot), akhirnya selesai juga perjuangan kita selama ini.
15. Anak-anak kontrakan ; Adi + Layla (*thanks* atas komputer dan printernya), Jay (tetap semangat garap TA-nya..), Kudel, Mahmud, dan Yoga (yang akur kalau bersaudara), M (kontrakan jangan mahal-mahal donk, heee.....).
16. Teman-teman *molukse*, Am’e (bisnisnya gimana??), Abu’e (cepat sembuh!!).

17. Kompatriot SMUN 2 (Aan “apek“, Wahyu “broer“, Pak Rahmat “lelek“, Waidy “rabun“, Novel “kantung“, Zul “ Pak Pol”) *thanks for your's support friends.*
18. Teman-teman sesama Lab. Kimia Analitik Bahan (Nana, Chika, Mba' Fitri, Ira) tak akan terlupakan kenangan semasa mencetak.
19. Teman-teman KKN SL – 35 angkatan 28 (Iche, Eko, Eno, Fajar, Feri, Endi, Pipit, Uning, Sahara, Diah) woi pada kemana niee....
20. Seluruh mahasiswa/i Teknik Lingkungan UII, *especially* angkatan 2000.

Akhir kata semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca yang berkaitan dengan keilmuan maupun dapat menjadi studi literatur bagi penelitian yang berhubungan.

وَالسَّلَامُ عَلَيْكُمْ وَرَحْمَةُ اللَّهِ وَبَرَكَاتُهُ

Yogyakarta, Juli 2005

Penyusun

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN I .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN II .....	iii
ABSTRAKSI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Pencemaran Udara.....	5
2.2. Nitrogen Oksida (NO <sub>x</sub> ).....	8

2.2.1. Reaksi Pembentukan Nitrogen Oksida (NO <sub>x</sub> ).....	8
2.2.2. Mekanisme Pembentukan NO <sub>x</sub> Dari Kendaraan Bermotor.....	10
2.2.3. Kandungan Nitrogen Dalam Minyak Bumi.....	10
2.2.4. Pengaruh Nitrogen Oksida Bagi Lingkungan.....	12
2.2.5. Siklus Fotolitik Nitrogen Oksida.....	13
2.3. Timbal (Pb).....	15
2.4. Adsorpsi.....	19
2.4.1. Definisi.....	19
2.4.2. Adsorpsi Gas Oleh Zat Padat.....	20
2.5. Titanium dioksida (TiO <sub>2</sub> ).....	23
2.6. Katalis.....	25
2.7. Gaya Sentrifugal.....	26
2.8. Zeolit.....	27
2.8.1. Definisi.....	27
2.8.2. Struktur Zeolit.....	27
2.8.3. Sifat Fisik Zeolit.....	30
2.8.4. Konsep Pilarisasi.....	33
2.9. Penyerapan NO <sub>x</sub> dan Pb Pada TiO <sub>2</sub> Terpillarisasi Di Zeolit.....	35
2.10. Hipotesa.....	37

### **BAB III. METODE PENELITIAN**

3.1. Jenis Penelitian.....	38
3.2. Objek Penelitian.....	38

3.3. Lokasi Penelitian.....	38
3.4. Variabel Penelitian.....	38
3.5. Bahan dan Alat Penelitian.....	39
3.6. Langkah Penelitian.....	39
3.6.1 Tahapan Persiapan.....	39
3.6.1.1. Rancangan Reaktor.....	39
3.6.1.2. Uji Perekat (Uji Tekan).....	40
3.6.1.3. Rancangan Adsorben Sentrifugal.....	41
3.7. Analisa Data Kuantitatif.....	42
3.7.1. Tahap Pelaksanaan Percobaan.....	42
3.7.1.1. Parameter NOx.....	42
3.7.1.2. Parameter Pb.....	44
3.8. Diagram Alir Penelitian.....	44
3.8.1. Diagram Alir Tahap Persiapan.....	44
3.8.2. Tahapan Pembuatan Media Penyerap (Adsorben).....	45
3.9. Tahap Pelaksanaan Analisa.....	45
3.9.1. Nitrogen Oksida (NOx).....	45
3.9.1.1. Pengecekan Parameter NOx Dalam Gas Buang.....	45
3.9.2. Timbal (Pb).....	51
3.9.2.1. Pengecekan Parameter Pb Dalam Gas Buang.....	51
3.10. Diagram Alir Pelaksanaan Percobaan.....	54
3.11. Analisa Data.....	55

## BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian.....	56
4.2. Tahapan Persiapan Penelitian.....	57
4.2.1. Perencanaan Perekat.....	57
4.2.2. Perancangan Adsorben Sentrifugal.....	59
4.2.2.1. Perancangan Cetakan.....	59
4.2.2.2. Pencetakan Adsorben.....	60
4.2.2.3. Mekanisme Gaya Sentrifugal.....	61
4.3. Analisa Data Kualitatif.....	61
4.3.1. Analisa NOx.....	62
4.3.1.1. Adsorben Sentrifugal Pada Suhu Pemanasan 200 °C.....	62
4.3.1.2. Adsorben Sentrifugal Pada Suhu Pemanasan 300 °C.....	65
4.3.1.3. Adsorben Sentrifugal Pada Suhu Pemanasan 400 °C.....	67
4.3.1.4. Pengaruh (Dampak) Oksida-Oksida Nitrogen Terhadap Lingkungan.....	70
4.3.2. Analisa Pb.....	71
4.3.2.1. Adsorben Sentrifugal Pada Suhu Pemanasan 200 °C.....	71
4.3.2.2. Adsorben Sentrifugal Pada Suhu Pemanasan 300 °C.....	74
4.3.2.3. Adsorben Sentrifugal Pada Suhu Pemanasan 400 °C.....	76
4.3.2.4. Dampak (Pengaruh) Timah Hitam (Pb) Terhadap Lingkungan.....	78
4.4. Uji Hipotesa.....	80

## **BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1. Kesimpulan.....	82
5.2. Saran.....	84

## **LAMPIRAN**

## **DAFTAR PUSTAKA**



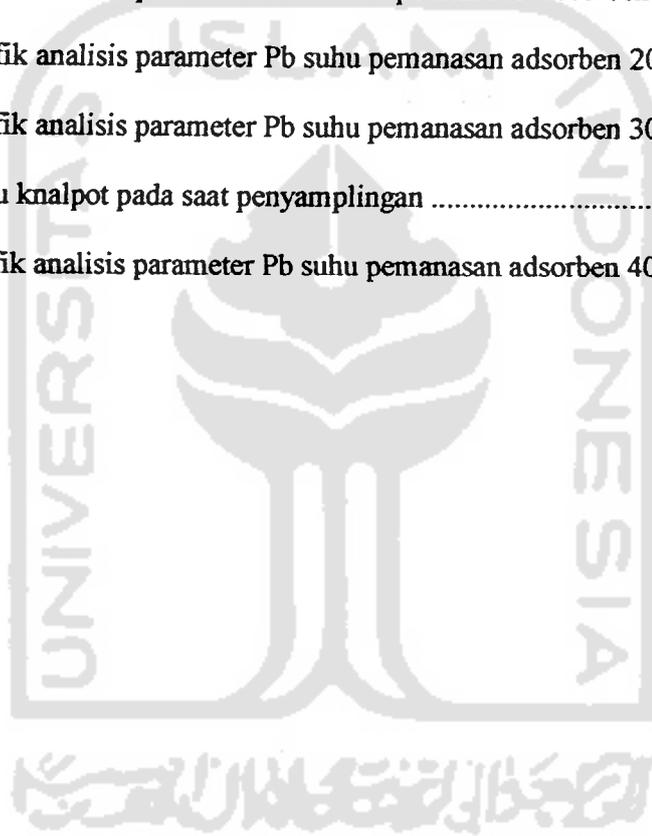
## DAFTAR TABEL

<u>Nomor</u>	<u>Judul Tabel</u>	<u>Halaman</u>
Tabel 2.1	Nilai oktan bensin di Indonesia.....	18
Tabel 2.2	Sifat fisik dan mekanik TiO <sub>2</sub> yang khas.....	24
Tabel 2.3	Perbedaan zeolit alam dan zeolit sintetis (buatan).....	32
Tabel 4.1	Hasil uji perekat secara hidrolis manual.....	58
Tabel 4.2	Uji visual.....	58
Tabel 4.3	Hasil analisis parameter NO <sub>x</sub> suhu pemanasan adsorben 200 °C.....	63
Tabel 4.4	Hasil analisis parameter NO <sub>x</sub> suhu pemanasan adsorben 300 °C.....	66
Tabel 4.5	Hasil analisis parameter NO <sub>x</sub> suhu pemanasan adsorben 400 °C.....	68
Tabel 4.6	Efisiensi penurunan emisi Nitrogen Oksida (NO <sub>x</sub> ).....	69
Tabel 4.7	Hasil analisis parameter Pb suhu pemanasan adsorben 200 °C.....	72
Tabel 4.8	Hasil analisis parameter Pb suhu pemanasan adsorben 300 °C.....	74
Tabel 4.9	Hasil analisis parameter Pb suhu pemanasan adsorben 400 °C.....	76
Tabel 4.10	Efisiensi penurunan pencemar Pb.....	78

## DAFTAR GAMBAR

<u>Nomor</u>	<u>Judul Gambar</u>	<u>Halaman</u>
Gambar 2.1	Senyawa Nitrogen yang terdapat dalam minyak bumi dan produknya.....	11
Gambar 2.2	Siklus fotolitik Nitrogen di udara bebas.....	15
Gambar 2.3	Ikatan antara $\text{SiO}_4$ dan $\text{AlO}_4$ dalam pembentukan primer.....	28
Gambar 2.4	Ikatan antara $\text{SiO}_4$ dan $\text{AlO}_4$ dalam pembentukan sekunder.....	28
Gambar 2.5	Skema pembentukan pilar zeolit.....	34
Gambar 2.6	Pemiliran antar lapis silikat lempung $\text{TiO}_2$ .....	35
Gambar 2.7	Pemiliran atom NO dan Pb di zeolit dan $\text{TiO}_2$ terpillar.....	36
Gambar 3.1	Reaktor analisa gas buang.....	40
Gambar 3.2	Proses uji tekan (kuat) pada beberapa jenis perekat.....	40
Gambar 3.3	Model cetakan adsorben ; (a) bagian sisi cetakan ; (b) model cetakan tampak atas.....	41
Gambar 3.4	Tahapan pengambilan sampel $\text{NO}_x$ .....	42
Gambar 3.5	Tahapan pengambilan sampel Pb.....	44
Gambar 3.6	Diagram alir tahap persiapan.....	44
Gambar 3.7	Diagram alir tahap pembuatan adsorben.....	45
Gambar 3.8	Kertas saring (filter) sebelum dan sesudah sampling.....	52
Gambar 3.9	Diagram alir analisa Pb.....	53
Gambar 3.10	Diagram alir pelaksanaan percobaan.....	54

Gambar 4.1	Cetakan adsorben serta kawat sebagai tulangan.....	60
Gambar 4.2	Model adsorben menyerupai baling-baling kipas ; tiga lekukan dengan tiga lubang (a) ; enam lekukan dengan lubang-lubang kecil pada sisi (b); enam lekukan dengan belahan sirip pada sisi (c) .....	60
Gambar 4.3	Grafik analisis parameter NOx suhu pemanasan adsorben 200 °C .....	64
Gambar 4.4	Grafik analisis parameter NOx suhu pemanasan adsorben 300 °C .....	66
Gambar 4.5	Grafik analisis parameter NOx suhu pemanasan adsorben 400 °C .....	68
Gambar 4.6	Grafik analisis parameter Pb suhu pemanasan adsorben 200 °C .....	72
Gambar 4.7	Grafik analisis parameter Pb suhu pemanasan adsorben 300 °C .....	75
Gambar 4.8	Suhu knalpot pada saat penyamplingan .....	75
Gambar 4.9	Grafik analisis parameter Pb suhu pemanasan adsorben 400 °C .....	77



## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. KEPUTUSAN GUBERNUR DIY NO.167 TENTANG BAKU MUTU  
SUMBER EMISI BERGERAK

LAMPIRAN 2. ALAT-ALAT PENELITIAN

LAMPIRAN 3. HASIL KEGIATAN PENELITIAN

LAMPIRAN 4. PERHITUNGAN TITIK JENUH TEORITIS



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam kehidupan manusia, udara merupakan salah satu kebutuhan primer. Makhluk hidup yang ada di bumi membutuhkan udara untuk bernafas. Tentunya udara yang dibutuhkan tersebut adalah udara yang bersih, tidak mengandung senyawa kimia yang berbahaya bagi makhluk hidup itu sendiri. Senyawa yang ada di udara melebihi ambang batas atau melebihi kadar yang ada di alam dikatakan sebagai polutan. Yang termasuk kedalam polutan udara diantaranya SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, HC, Pb dan Partikel.

Pencemaran atmosfer bumi semakin meningkat selaras dengan peningkatan aktifitas industri dan bertambahnya jumlah kendaraan bermotor. Salah satu emisi yang cukup berbahaya dari kendaraan bermotor adalah gas NO<sub>x</sub> atau nitrogen oksida. Gas tersebut dapat mengoksidasi sel darah merah sehingga membentuk dinding pada hemoglobin dan mengurangi efisiensi transportasi oksigen dalam darah, mengganggu sistem enzim sel, jika terpapar dalam konsentrasi tinggi dalam waktu lama menyebabkan fibrosis. Kegagalan fungsi paru-paru dan menyebabkan kematian. Penyebab tingginya gas NO<sub>x</sub> dari knalpot kendaraan bermotor adalah karena tidak sempurnanya pembakaran BBM di ruang bakar mesin, dimana pembentukan NO<sub>x</sub> dipengaruhi oleh suhu pembakaran yang tinggi dan kelebihan udara yang tersedia. Salah satu faktor yang menyebabkan pembakaran yang tidak sempurna adalah ketidakmurnian dari bahan bakar yang digunakan.

Jumlah Pb di udara meningkat drastis sejak dimulainya revolusi industri di Benua Eropa. Asap yang berasal dari cerobong pabrik sampai pada knalpot kendaraan telah melepaskan Pb ke udara. Hal ini berlangsung terus-menerus sepanjang hari, sehingga kandungan Pb di udara mengalami kenaikan yang sangat mencolok. Emisi tersebut merupakan hasil samping dari pembakaran yang terjadi dalam mesin-mesin kendaraan. Pb yang merupakan hasil samping dari pembakaran ini berasal dari senyawa tetrametil-Pb dan tetraetil-Pb yang selalu ditambahkan dalam bahan bakar kendaraan bermotor dan berfungsi sebagai anti ketuk (*anti-knock*) pada mesin-mesin kendaraan. Konsentrasi timbal (Pb) di udara di daerah perkotaan kemungkinan mencapai 5 sampai 50 kali daripada di daerah-daerah pedesaan. Semakin jauh dari daerah perkotaan, semakin rendah konsentrasi Pb di udara. Timbal yang mencemari udara terdapat dalam dua bentuk, yaitu berbentuk gas dan partikel-partikel. Gas timbal terutama berasal dari pembakaran bahan additif bensin dari kendaraan bermotor yang terdiri dari tetraetil Pb (Tetra Ethyl Lead) dan tetrametil Pb (Tetra Methyl Lead). Partikel-partikel Pb di udara berasal dari sumber-sumber lain seperti pabrik-pabrik alkil Pb dan Pb-okside, pembakaran arang dan sebagainya. Polusi Pb yang terbesar berasal dari pembakaran bensin, dimana dihasilkan berbagai komponen Pb, terutama  $PbBrCl$  dan  $PbBrCl \cdot 2PbO$ .

Dalam upaya pencegahan terhadap pencemaran udara (*air pollution*) dalam hal ini gas buang kendaraan bermotor, salah satu cara yang dapat digunakan adalah mereduksi komponen zat-zat pencemar tersebut yang dalam penelitian ini adalah parameter  $NO_x$  dan Pb. Cara yang dimaksud adalah penyerapan (adsorpsi)

dengan menggunakan media  $\text{TiO}_2$  terpillarisasi dalam zeolit yang dipasang di dalam knalpot modifikasi (rekayasa). Variabel bebas yang digunakan yaitu suhu pemanasan adsorben ( $200\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $300\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $400\text{ }^\circ\text{C}$ ) dan konsentrasi  $\text{TiO}_2$  pembentuk adsorben (5%, 10%, 15%). Selain karena bentuknya yang sederhana, teknologi adsorpsi ini tidak membutuhkan biaya yang cukup besar dalam pembuatannya.

### 1.2. Rumusan Masalah

- a. Apakah adsorben  $\text{TiO}_2$  terpillarisasi dalam zeolit secara sentrifugal mampu menurunkan kadar konsentrasi  $\text{NO}_x$  dan logam berat Pb pada emisi kendaraan bermotor.
- b. Sejauh mana peranan adsorben tersebut terhadap penurunan konsentrasi gas buang  $\text{NO}_x$  dan logam berat Pb pada emisi kendaraan bermotor.
- c. Seberapa besar efisiensi penurunan konsentrasi gas buang  $\text{NO}_x$  dan logam berat Pb dalam emisi kendaraan bermotor.

### 1.3. Batasan Masalah

- a. Penentuan jenis adsorben yang digunakan yaitu campuran katalis  $\text{TiO}_2$  dan zeolit.
- b. Metode yang digunakan adalah adsorben secara sentrifugal.
- c. Sumber gas buang berasal dari emisi kendaraan bermotor dalam hal ini roda dua 4 tak Honda Supra X tahun 2003.
- d. Konsentrasi parameter yang diuji adalah  $\text{NO}_x$  dan Pb.

#### 1.4. Tujuan Penelitian

- a. Untuk mengetahui penurunan konsentrasi NO<sub>x</sub> dan logam berat Pb pada emisi kendaraan bermotor.
- b. Untuk mengetahui kemampuan adsorben TiO<sub>2</sub> dalam zeolit terhadap penurunan konsentrasi NO<sub>x</sub> dan logam berat Pb dalam gas buang kendaraan bermotor dengan ketentuan sebagai berikut :
  1. Konsentrasi TiO<sub>2</sub> (5 %, 10 %, 15 %).
  2. Suhu pemanasan (200 °C, 300 °C, 400 °C).
  3. Jumlah adsorben sentrifugal yang digunakan.

#### 1.5. Manfaat Penelitian

1. Memberikan salah satu alternatif teknologi dalam menurunkan pencemaran udara yang timbul.
2. Meminimalisasi terjadinya pencemaran di udara, akibat pembentukan gas buang NO<sub>x</sub> beserta kandungan logam berat Pb.
3. Digunakan sebagai bahan kajian lebih lanjut, apakah hasil *treatment* dapat digunakan secara langsung untuk mereduksi konsentrasi gas buang dan logam berat.
4. Sebagai masukan terhadap pemerintah khususnya terhadap kebijakan pengelolaan kualitas lingkungan hidup terutama masalah pencemaran udara.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Pencemaran udara

Pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Pencemaran udara diartikan sebagai adanya bahan-bahan atau zat-zat asing di dalam udara yang dapat menyebabkan perubahan susunan (komposisi) udara dalam keadaan normal (Wisnu, 1984).

Udara merupakan faktor yang penting dalam kehidupan manusia, namun dengan meningkatnya pembangunan fisik kota dan pusat-pusat industri, kualitas udara telah mengalami perubahan. Udara yang dulunya segar, kini kering dan kotor. Perubahan lingkungan udara pada umumnya disebabkan pencemaran udara, yaitu masuknya zat pencemar (berbentuk gas-gas dan partikel kecil/aerosol) ke dalam udara. Masuknya zat pencemar ke dalam udara dapat secara alamiah, misalnya asap kebakaran hutan, akibat gunung berapi, debu meteorit dan pancaran garam dari laut; juga sebagian besar disebabkan oleh kegiatan manusia, misalnya akibat aktivitas transportasi, industri, pembuangan sampah, baik akibat proses dekomposisi ataupun pembakaran serta kegiatan rumah tangga.

Pembangunan fisik kota dan berdirinya pusat-pusat industri disertai dengan melonjaknya produksi kendaraan bermotor, mengakibatkan peningkatan kepadatan lalu lintas dan hasil produksi sampingan, yang merupakan salah satu

sumber pencemaran udara. Konsentrasi pencemaran udara di beberapa kota besar dan daerah industri Indonesia menyebabkan adanya gangguan pernafasan, iritasi pada mata dan telinga, serta timbulnya penyakit tertentu. Selain itu juga mengakibatkan gangguan jarak pandang (*visibilitas*) yang sering menimbulkan kecelakaan lalulintas (terutama lalulintas di udara dan laut).

Dilihat secara kimiawi, banyak sekali macam bahan pencemar (puluhan ribu bahkan tak terbatas), sebagai contoh dari asap rokok telah diidentifikasi lebih dari 200 macam bahan pencemar. Namun biasanya yang menjadi perhatian adalah pencemar utama (*major air pollutants*) yaitu golongan oksida karbon ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ), oksida belerang ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ), oksida nitrogen ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_3$ ), senyawa hasil reaksi fotokimia, partikel (asap, debu, timah hitam, metal, minyak, garam sulfat), senyawa inorganik (asbestos,  $\text{HF}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ), hidrokarbon ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ), unsur radio aktif (Tritium, Radon), energi panas (suhu) dan kebisingan. Gas di udara dengan reaksi fotokimia dapat membentuk bahan pencemar sekunder, misalnya, *peroxyl* radikal dengan oksigen akan membentuk ozon dan nitrogen dioksida berubah menjadi nitrogen monoksida dengan oksigen dan sebagainya. Pemaparan dari gas terhadap manusia pada umumnya melalui pernafasan dan cara penanggulangannya terutama dengan mengurangi pembebasan bahan pencemar secara langsung ke udara, misalnya dengan menggunakan alat tambahan pada knalpot, *gas scrubber* dan sebagainya. Partikel dengan ukuran antara  $0,01\text{-}5\mu\text{m}$  merupakan sumber pencemar udara yang utama karena keadaannya tidak terlihat secara nyata dan terus berada di atmosfer dalam waktu yang cukup lama dan kemungkinan besar dengan proses kimia dapat

berubah menjadi pencemar sekunder. Dampak negatif dari bahan-bahan pencemar ini biasanya berupa gangguan pada bahan-bahan bangunan, tanaman dan hewan serta manusia. (Moestikahadi Soedomo,2001).

Pencemaran udara dapat juga diartikan sebagai suatu kondisi yang telah berubah dari bentuk asal pada keadaan yang lebih buruk. Pergeseran bentuk tatanan dari kondisi asal pada kondisi yang buruk ini terjadi sebagai akibat masukan dari bahan-bahan pencemar atau polutan (Palar,1994).

Penyebab pencemaran udara yang dikemukakan oleh Palar (1994) ada dua macam, yaitu :

1. Faktor internal (alamiah), contoh :
  - Debu yang beterbangan akibat tertiup angin.
  - Abu (debu) yang dikeluarkan dari letusan gunung berapi berikut gas-gas vulkanik.
  - Proses pembusukan sampah organik.
2. Faktor eksternal (ulah manusia), contoh :
  - Hasil pembakaran bahan bakar fosil.
  - Debu / serbuk dari kegiatan industri.
  - Pemakaian zat-zat kimia yang disemprotkan ke udara.

Zat-zat yang dikeluarkan oleh sumber pencemar ke udara dan dapat mempengaruhi kualitas udara antara lain adalah gas Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>) dan kandungan Timah Hitam (Pb). Pencemaran udara dalam suatu tingkat tertentu dapat merupakan campuran dari satu atau lebih bahan pencemar, baik berupa padatan, cairan maupun gas yang masuk dan terdispersi ke udara dan kemudian

menyebar ke lingkungan sekitar. Kecepatan penyebaran ini sudah barang tentu akan bergantung pada keadaan geografi dan meteorologi setempat (Wisnu,1994).

## 2.2. Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>)

### 2.2.1. Reaksi Pembentukan Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>)

Nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) adalah kelompok gas yang terdapat di atmosfer yang terdiri dari gas nitrogen oksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>). Walaupun bentuk nitrogen oksida lainnya ada, tetapi kedua gas ini yang paling banyak ditemui sebagai polutan udara. Nitrogen oksida merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau, sebaliknya nitrogen dioksida mempunyai warna coklat kemerahan dan berbau tajam. Pembentukan NO dan NO<sub>2</sub> mencakup reaksi antara nitrogen dan oksigen di udara sehingga membentuk NO, kemudian reaksi antara NO dengan lebih banyak oksigen membentuk NO<sub>2</sub>. Persamaan reaksinya adalah sebagai berikut :



Udara terdiri dari sekitar 80 % volume nitrogen dan 20 % volume oksigen. Pada suhu kamar kedua gas ini hanya sedikit mempunyai kecenderungan untuk bereaksi satu sama lain. Pada suhu yang lebih tinggi (diatas 1210 °C) keduanya dapat bereaksi membentuk nitrogen oksida dalam jumlah tinggi sehingga mengakibatkan polusi udara. Dalam proses pembakaran, suhu yang digunakan

biasanya mencapai 1210 – 1765 °C dengan adanya udara, oleh karena itu reaksi ini merupakan sumber NO yang penting. Jadi reaksi pembentukan NO merupakan hasil samping dalam proses pembakaran.

Dari seluruh jumlah NO<sub>x</sub> yang dibebaskan ke atmosfer, jumlah yang terbanyak adalah dalam bentuk NO yang diproduksi oleh aktivitas bakteri. Akan tetapi polusi NO dari sumber alami ini tidak merupakan masalah karena tersebar secara merata sehingga jumlahnya menjadi kecil. Yang menjadi masalah adalah polusi NO yang diproduksi oleh kegiatan manusia karena jumlahnya akan meningkat hanya pada tempat-tempat tertentu. Konsentrasi NO<sub>x</sub> di udara di daerah perkotaan biasanya 10 – 100 kali lebih tinggi daripada di udara pedesaan. Konsentrasi NO<sub>x</sub> di udara daerah perkotaan dapat mencapai 0,5 ppm (500 ppb). Seperti halnya CO, emisi nitrogen oksida dipengaruhi oleh kepadatan penduduk karena sumber utama NO<sub>x</sub> yang diproduksi manusia adalah dari pembakaran, dan kebanyakan pembakaran disebabkan oleh kendaraan, produksi energi dan pembuangan sampah. Sebagian besar emisi NO<sub>x</sub> yang dibuat manusia berasal dari pembakaran arang, minyak, gas alam dan bensin.

Gas nitrogen terjadi pada semua proses pembakaran yang kemudian akan bereaksi dengan oksigen pada suhu tinggi sehingga terbentuk NO<sub>2</sub>, dan oksida nitrogen lainnya seperti N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, dan lainnya yang tidak stabil. Dari semua bentuk oksida nitrogen di alam maka yang paling stabil adalah NO dan NO<sub>2</sub>.

### **2.2.2. Mekanisme Pembentukan NO<sub>x</sub> Dari Kendaraan Bermotor**

Dibandingkan dengan SO<sub>x</sub> mekanisme pembentukan gas NO<sub>x</sub> lebih kompleks. Gas NO<sub>x</sub> dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu, NO<sub>x</sub> termal yang terbentuk dari nitrogen yang terdapat dalam udara, dan NO<sub>x</sub> bahan bakar yang terbentuk dari senyawa nitrogen yang terkandung dari bahan bakar. Pembentukan dan sifat NO<sub>x</sub> termal yang terbentuk dalam silinder mesin kendaraan sangat bergantung kepada kondisi campuran sehingga mekanisme pembentukan NO<sub>x</sub> dalam kondisi udara berlebih dan kondisi udara kering sangat berbeda. Diketahui produksi NO sangat bergantung kepada temperatur, dimana produksi NO dibawah temperatur 1500°C bisa ditekan.

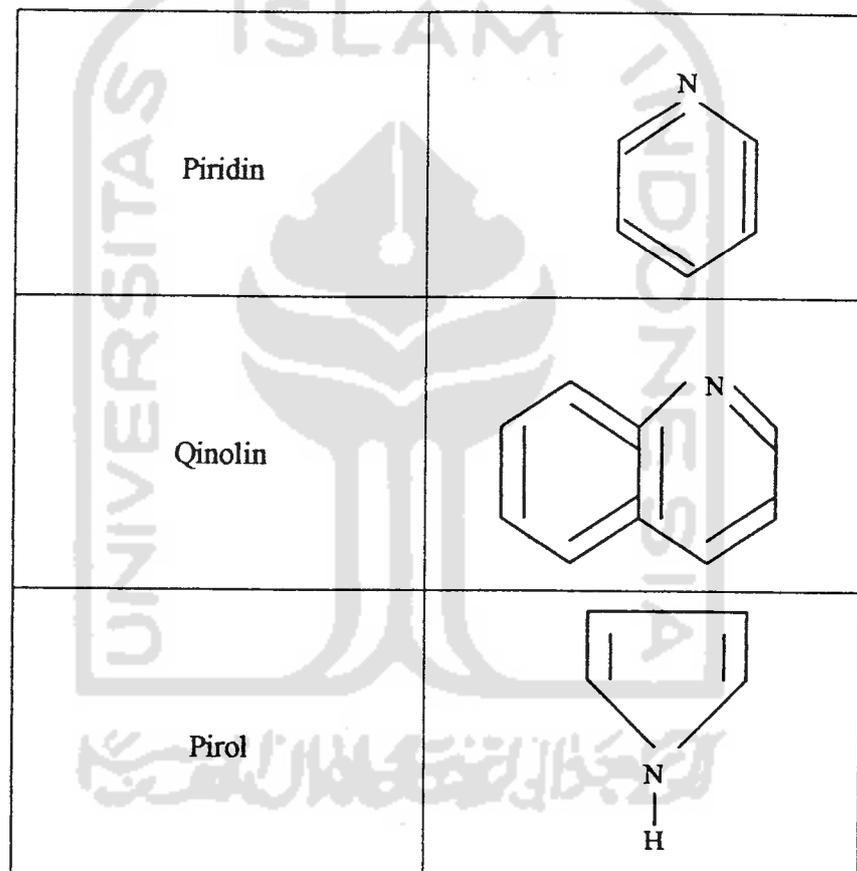
### **2.2.3. Kandungan Nitrogen Dalam Minyak Bumi**

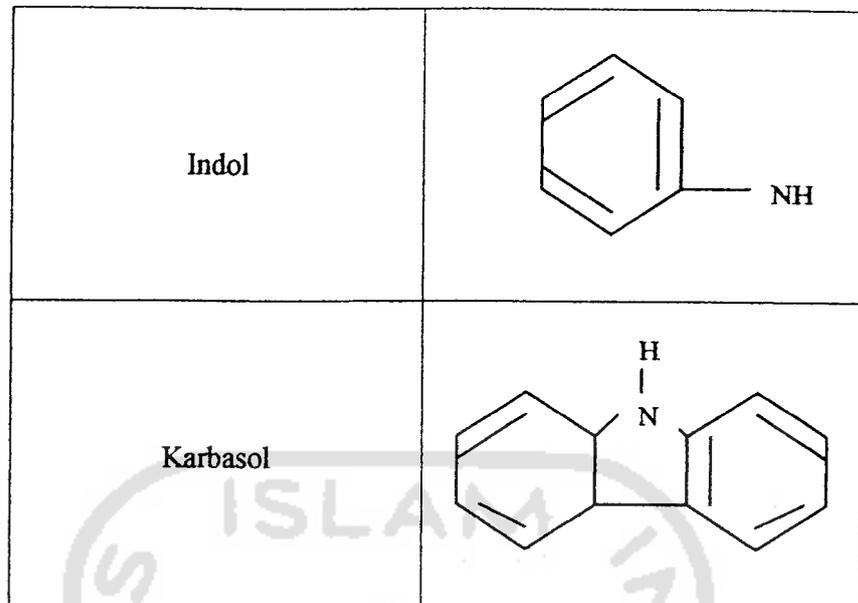
Kadar nitrogen dalam minyak bumi umumnya berkisar antara 0,1 % sampai 2 % berat. Minyak yang mempunyai kadar belerang dan aspal tinggi juga mempunyai kadar nitrogen tinggi. Senyawa nitrogen terdapat pada semua fraksi-fraksi minyak bumi, tetapi konsentrasinya semakin tinggi dalam fraksi-fraksi yang mempunyai titik didih yang lebih tinggi. Semua senyawa nitrogen ini mempunyai bau yang tidak enak dan menyengat.

Kerugian-kerugian yang diakibatkan oleh adanya senyawa nitrogen dalam minyak bumi dan produknya adalah :

1. Menurunkan aktifitas katalis yang digunakan dalam proses perengkahan, reforming, polimerisasi dan isomerisasi.

2. Kerosin yang jernih pada waktu distilasi, warnanya akan berubah kemerahan jika terkena sinar matahari karena didalamnya terdapat senyawa nitrogen.
3. Nitrogen dalam bensin juga akan mempercepat pembentukan damar pada karburator.
4. Menghasilkan gas nitrogen oksida pada setiap hasil pembakaran BBM.
5. Menyebabkan terjadinya endapan pada minyak bakar dalam penyimpanan.





**Gambar 2.1.** Senyawa Nitrogen Yang Terdapat dalam Minyak Bumi dan Produknya

#### 2.2.4. Pengaruh Nitrogen Oksida Bagi Lingkungan

##### a. Terhadap tanaman

Adanya NO<sub>x</sub> di atmosfer akan mengakibatkan kerusakan tanaman, tetapi sukar ditentukan apakah kerusakan tersebut disebabkan langsung oleh NO<sub>x</sub> atau karena polutan sekunder yang diproduksi dalam siklus fotolitik NO<sub>2</sub>. Percobaan dengan cara fumigasi tanam-tanaman dengan NO<sub>2</sub> menunjukkan terjadinya bintik-bintik pada daun jika digunakan konsentrasi 1,0 ppm, sedangkan dengan konsentrasi lebih tinggi (3,5 ppm atau lebih) terjadi nekrosis atau kerusakan tenunan daun.

##### b. Terhadap manusia

Kedua bentuk nitrogen oksida, yaitu NO dan NO<sub>2</sub> sangat berbahaya bagi manusia. Penelitian aktivitas mortalitas kedua komponen tersebut menunjukkan

bahwa  $\text{NO}_2$  empat kali lebih beracun dari  $\text{NO}$ . Pemberian sebanyak 5 ppm  $\text{NO}_2$  selama 10 menit terhadap manusia mengakibatkan sedikit kesukaran dalam bernafas.

c. Terhadap estetika dan kenyamanan

Pencemaran udara oleh gas  $\text{NO}_x$  juga dapat menyebabkan timbulnya *Peroxy Acetyl Nitrates* atau disingkat PAN. Hal ini dapat menyebabkan iritasi pada mata yang menyebabkan mata terasa pedih dan berair. Campuran PAN bersama senyawa kimia lain di udara dapat menyebabkan terjadinya kabut fotokimia atau *Photo Chemistry Smog* yang sangat mengganggu lingkungan (Wardhana, 1995).

#### 2.2.5. Siklus Fotolitik Nitrogen Oksida

Berbagai pengaruh merugikan yang ditimbulkan karena polusi  $\text{NO}_x$  bukan disebabkan karena oksida tersebut, tetapi karena peranannya dalam pembentukan oksidan fotokimia yang merupakan komponen berbahaya di dalam asap. Produksi oksidan tersebut terjadi jika terdapat polutan-polutan yang mengakibatkan reaksi-reaksi yang melibatkan  $\text{NO}$  dan  $\text{NO}_2$ . Reaksi-reaksi tersebut disebut siklus fotolitik  $\text{NO}_2$  dan merupakan akibat langsung dari interaksi antara sinar matahari dengan  $\text{NO}_2$ .

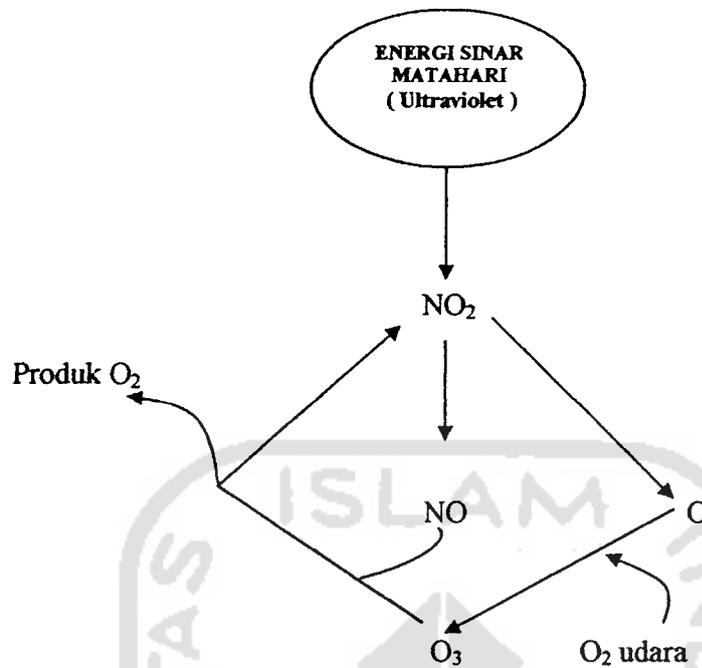
Adapun tahap-tahap reaksinya sebagai berikut :

1.  $\text{NO}_2$  mengabsorpsi energi dalam bentuk sinar ultraviolet dari matahari.

2. Energi yang diabsorpsi tersebut memecah molekul-molekul  $\text{NO}_2$  menjadi molekul-molekul  $\text{NO}$  dan atom-atom Oksigen ( $\text{O}$ ). Atom oksigen yang terbentuk bersifat sangat reaktif.
3. Atom-atom oksigen akan bereaksi dengan oksigen atmosfer ( $\text{O}_2$ ) membentuk ozon ( $\text{O}_3$ ) yang merupakan polutan sekunder.
4. Ozon akan bereaksi dengan  $\text{NO}$  membentuk  $\text{NO}_2$  dan  $\text{O}_2$  sehingga reaksi menjadi lengkap.

Daur reaksi fotolitik nitrogen oksida tersebut dapat pula digambarkan sebagai berikut :

Daur reaksi fotolitik tersebut diatas dapat terganggu apabila dalam udara terdapat HC (Hidrokarbon), karena hidrokarbon akan bereaksi dengan  $\text{O}$  maupun  $\text{O}_2$ . Reaksi HC dengan  $\text{O}$  akan menghasilkan radikal bebas HC yang sangat reaktif. Radikal bebas HC akan menyerang  $\text{NO}$  menjadi  $\text{NO}_2$  sehingga jumlah  $\text{NO}$  akan berkurang. Radikal bebas HC juga akan dapat bereaksi dengan HC lainnya dan menghasilkan senyawa-senyawa organik. Disamping itu radikal bebas HC akan bereaksi dengan  $\text{O}_2$  dan  $\text{NO}_2$  yang akan menghasilkan *Peroxyl Acetil Nitrates* atau PAN. Pengaruh dari siklus tersebut diatas adalah terjadinya siklus  $\text{NO}_2$  secara cepat, dan jika tidak terdapat reaktan lainnya di atmosfer, siklus tersebut tidak akan berpengaruh apapun. Konsentrasi  $\text{NO}$  dan  $\text{NO}_2$  di udara tidak akan berubah karena  $\text{O}_3$  dan  $\text{NO}$  akan terbentuk dan hilang dalam jumlah yang seimbang.



**Gambar 2.2.** Siklus fotolitik nitrogen di udara bebas

### 2.3. Timbal (Pb)

Selain daripada kandungan NO<sub>x</sub> dalam gas buang, salah satu parameter yang perlu mendapat perhatian khusus adalah kandungan logam berat yang terbentuk dari hasil pembakaran kendaraan bermotor dalam hal ini seperti Pb (timbal). Logam ini termasuk dalam kelompok logam-logam golongan IV-A pada tabel periodik unsur-unsur kimia. Mempunyai nomor atom (NA) 82 dengan bobot atau berat atom (BA) 207,2. Penyebaran logam timbal di bumi sangatlah sedikit. Jumlah timbal yang terdapat di seluruh lapisan bumi hanyalah 0,0002 % dari jumlah seluruh kerak bumi.

Timbal dalam persenyawaan banyak digunakan dalam berbagai bidang industri. Dalam industri baterai, timbal digunakan sebagai grid yang merupakan

*alloy* (suatu persenyawaan) dengan logam Bismuth (Pb-Bi) dengan perbandingan 93:7 (Palar,1994). Meskipun bersifat penghantar listrik yang baik, dalam bentuk Timbal Oksida ( $PbO_4$ ) dan logam timbal dalam industri baterai digunakan sebagai bahan yang aktif dalam pengaliran arus elektron. Kemampuan timbal dalam membentuk *alloy* dengan banyak logam lain telah dimanfaatkan untuk meningkatkan sifat metalurgi dai logam ini dalam penerapan yang sangat luas. *Alloy* Pb yang mengandung 1 % Stibium (Sb), banyak digunakan sebagai bahan kabel telepon. *Alloy* Pb dengan 0,15 % As, 0,1 % Sn dan 0,1 % Bi banyak digunakan untuk kabel listrik.

Logam timbal atau Pb mempunyai sifat-sifat khusus seperti berikut :

1. Merupakan logam yang lunak, sehingga dapat dipotong dengan menggunakan pisau atau dengan tangan dan dapat dibentuk dengan mudah.
2. Merupakan logam yang tahan terhadap korosi atau karat, sehingga logam Timbal sering digunakan sebagai bahan coating.
3. Mempunyai titik lebur rendah hanya  $327,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
4. Mempunyai kerapatan yang lebih besar dibandingkan dengan logam-logam biasa, kecuali emas dan merkuri.
5. Merupakan penghantar listrik yang baik.

Timbal memiliki sifat yang sangat beracun yang pada dasarnya tidak dapat dimusnahkan serta tidak dapat diuraikan menjadi zat lain, sehingga apabila timbal

terlepas ke lingkungan akan menjadi ancaman bagi makhluk hidup. Pada kendaraan bermotor, untuk mendapatkan komposisi bensin dengan bilangan angka oktan tinggi, maka bensin diberi senyawa TEL (Timbal Tetra Etil) dan TML (Timbal Tetra Metil). Proses pembakaran yang terjadi pada kendaraan bermotor, dicirikan dengan angka oktan bensin yang dipergunakan. Angka oktan merupakan ukuran kecenderungan bensin untuk mengalami pembakaran tidak normal yang timbul sebagai ketukan mesin (*knock*). Semakin tinggi angka oktan suatu bahan bakar, semakin kecil pula kecenderungannya untuk mengalami ketukan dan semakin tinggi kemampuannya untuk digunakan pada rasio kompresi tinggi tanpa mengalami ketukan. Angka oktan diukur dengan menggunakan mesin baku, yaitu mesin CFR (*Cooperative Fuel Research*) yang dioperasikan pada kondisi tertentu, dimana bahan bakar dibandingkan dengan bahan bakar rujukan yang terbuat dari n-heptana (angka oktan 0) dan isooktana (angka oktan 100). Angka oktan bensin yang diukur didefinisikan sebagai presentasi isooktana dalam bahan bakar rujukan yang memberikan intensitas ketukan yang sama pada mesin uji. Ada dua macam angka oktan, yaitu angka oktan riset (RON) yang memberikan gambaran mengenai unjuk kerja pada kondisi kendaraan biasa dan angka oktan motor (MON) yang memberikan gambaran mengenai unjuk kerja dalam kondisi pengendaraan lebih berat. Kecenderungan bahan bakar untuk mengalami ketukan bergantung pada struktur kimia hidrokarbon yang menjadi penyusun bensin.

**Tabel 2.1.** Nilai oktan bensin di Indonesia

No	Jenis Bensin	Angka Oktan Minimum	Kandungan Timbal
1	Premium 88	88 RON	0,3 g/l
2	Premix 94	94 RON	0,3 g/l
3	Super TT	95 RON	0,005 g/l
4	Prima TT	98 RON	0,005 g/l

Keracunan yang ditimbulkan oleh persenyawaan logam timbal (Pb) dapat terjadi karena masuknya persenyawaan logam tersebut ke dalam tubuh. Proses masuknya timbal (Pb) ke dalam tubuh tersebut dapat melalui beberapa jalur, yaitu melalui makanan dan minuman, udara dan perembesan atau penetrasi pada selaput lapisan kulit. Sekitar 5 – 10 % dari jumlah Pb yang masuk melalui makanan dan minuman atau sebesar 30 % dari jumlah Pb yang terhirup yang akan terserap oleh tubuh. Dari jumlah yang terserap itu hanya 15 % yang akan mengendap pada jaringan tubuh, sisanya akan turut terbuang bersama bahan sisa metabolisme seperti feces dan urine. Pb adalah racun sistematis, keracunan Pb akan menimbulkan gejala : rasa logam di mulut, garis hitam pada gusi,, muntah-muntah, *irritable*, perubahan kepribadian, kelumpuhan dan kebutaan. Keracunan yang disebabkan oleh keberadaan logam Pb dalam tubuh mempengaruhi banyak jaringan dan organ tubuh. Yang menjadi sasaran dari peristiwa keracunan logam Pb ialah sistem syaraf, sistem ginjal, sistem reproduksi, sistem endoktrin, jantung dan juga pada sintesa hemoglobin.

## 2.4. Adsorpsi

### 2.4.1. Definisi

Gregg dan Sing (1967) yang dikutip Guntoro dkk, menyatakan bahwa adsorpsi adalah suatu akibat dari medan gaya pada permukaan padatan (adsorben) yang menarik molekul-molekul gas atau cair (adsorbat). Sedangkan menurut Bear (1958), adsorpsi adalah suatu perubahan konsentrasi komponen antara batas lapisan dan bagian dalam dari fasa yang berdekatan. Bahan penyerap merupakan suatu padatan yang mempunyai sifat mengikat molekul pada permukaannya. Sifat ini sangat menonjol pada padatan berpori, semakin halus serbuk – serbuk penyerap semakin luas permukaannya dan daya serapnya semakin besar. Persyaratan yang harus dipenuhi oleh zat penyerap adalah (Ronodirdjo, 1982):

- a. Mempunyai permukaan yang luas
- b. Berpori – pori
- c. Aktif
- d. Tidak bereaksi dengan zat yang diserap.

(kutipan oleh, Yulisa 2004)

Fasa yang mengadsorpsi disebut adsorben, dan fasa yang teradsorpsi disebut adsorbat. Terjadinya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan padatan yang tidak seimbang akan mengakibatkan terjadinya proses adsorpsi. Peristiwa ini cenderung menarik molekul-molekul yang bersentuhan dengan permukaan padatan, baik fasa gas maupun fasa larutan kedalam permukaan padatan. Sebagai

efeknya, konsentrasi molekul pada permukaan menjadi lebih besar dibanding dalam fasa gas atau zat terlarut.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi :

1. Karakteristik fisik dan kimia zat penyerap termasuk didalamnya adalah luas permukaan, ukuran pori dan komposisi kimia.
2. Karakteristik fisik dan kimia zat terserap yang meliputi komposisi kimia, ukuran molekul, polaritas molekul, pH dan temperatur.
3. Konsentrasi zat terserap, semakin tinggi konsentrasi kontaminan semakin mudah untuk diserap karena semakin banyak molekul zat terserap.
4. Kecepatan aliran dan waktu kontak, semakin kecil kecepatan aliran larutan dengan kandungan zat terserap maka waktu tinggal semakin lama sehingga semakin tinggi tingkat efisiensinya.
5. Diameter dan tinggi kolom, semakin kecil dan tinggi diameter kolom semakin besar tingkat efisiensinya (Reynolds, 1982) dikutip oleh Fitria Yulisa, 2004.

#### **2.4.2. Adsorpsi Gas Oleh Zat Padat**

Adsorben padat yang baik ialah yang porositasnya tinggi seperti Pt hitam, arang, silika gel hingga zeolit. Permukaan zat ini sangat luas hingga adsorpsi terjadi pada banyak tempat. Namun demikian adsorpsi dapat terjadi pada permukaan yang halus seperti gelas atau platina.

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

1. Adsorpsi bersifat selektif, artinya suatu adsorben dapat menyerap suatu gas dalam jumlah banyak, tetapi tidak menyerap gas-gas tertentu.
2. Adsorpsi terjadi sangat cepat, hanya kecepatan adsorpsinya makin berkurang dengan makin banyaknya gas yang diserap.
3. Jumlah gas yang diserap tergantung pada temperatur, makin jauh jarak temperatur penyerapan dari temperatur kritis makin sedikit jumlah gas yang diserap.
4. Adsorpsi tergantung dari luas permukaan adsorben, makin porous adsorben makin besar daya adsorpsinya.
5. Adsorpsi tergantung jenis adsorben dan pembuatan adsorben. Arang dari sesuatu bahan yang dapat dibuat dengan berbagai cara mempunyai daya serap berbeda pula.
6. Jumlah gas yang diadsorpsi per satuan berat adsorben tergantung tekanan parsial (*partial pressure*) gas, makin besar tekanan makin banyak gas diserap. Namun demikian bila penyerapan telah jenuh tekanan tidak berpengaruh.

Adsorpsi merupakan proses yang dapat berbalik (*reversible*). Bila tidak terjadi reaksi kimia. Penambahan tekanan menyebabkan penambahan adsorpsi dan pengurangan tekanan menyebabkan pelepasan gas yang diserap.

Secara umum adsorpsi dapat dibagi menjadi 2 jenis :

1. Adsorpsi fisik adalah adsorpsi yang melibatkan gaya antar molekul yang lemah, seperti gaya Van der Waals atau ikatan-ikatan hidrogen. Proses ini sepenuhnya bersifat *reversible*, sehingga memungkinkan terjadinya desorpsi pada temperatur yang sama. Ikatan antara molekul-molekul yang teradsorpsi lemah pada permukaan adsorben dan panas adsorpsinya rendah. Entalpi pada adsorpsi fisika tidak cukup untuk memutuskan ikatan, energi adsorpsinya kecil yaitu kurang dari 20,92 kJ/mol (Adamson, 1990).
2. Adsorpsi kimia adalah adsorpsi yang terjadi apabila terdapat ikatan kimia antar molekul zat yang teradsorpsi dengan molekul adsorben. Pada peristiwa ini terjadi ikatan kovalen, sebagai hasil elektron yang disumbangkan secara bersama-sama oleh adsorben dan adsorbat. Harga panas adsorpsi kimia pada adsorpsi kimia ini memiliki nilai yang sama dengan energi untuk reaksi kimia. Hal ini disebabkan karena terjadinya pemutusan dan pembentukan ikatan. Oleh sebab itu, energi adsorpsinya besar yaitu lebih besar dari 20,92 kJ/mol (Adamson, 1990). Oscik (1982) menyatakan bahwa energi adsorpsi kimia berkisar antara 80-650 kJ/mol. Sedangkan menurut Lynan dkk (1995) energi adsorpsi kimia berkisar antara 42-420 kJ/mol.

Jumlah molekul pendatang yang dapat teradsorb oleh zeolit tergantung pada beberapa faktor sebagai berikut :

1. Ukuran dan bentuk saluran masuk kapiler dalam kristal zeolit.

2. Ukuran dan bentuk molekul pendatang.
3. Jumlah, lokasi dan ukuran kation yang dapat dipertukarkan.
4. Ada tidaknya penghambat saluran kapiler dalam kristal zeolit.
5. Ada tidaknya kerusakan kristal pada saluran di dalam pori-pori zeolit.
6. Ada tidaknya molekul pendatang lain yang tertahan pada saluran pori.

(Fatimah, 1997)

### 2.5. Titanium Dioksida ( $\text{TiO}_2$ )

Oksida  $\text{TiO}_2$  merupakan padatan berwarna putih, tidak larut dalam HCl,  $\text{HNO}_3$  dan aquaregia tetapi dapat larut dalam asam sulfat pekat membentuk titanium sulfat,  $\text{Ti}(\text{SO}_4)$ . Titanium (Ti) adalah unsur logam transisi, dapat membentuk ion titanium (III),  $\text{Ti}^{3+}$  dan titanium (IV),  $\text{Ti}^{4+}$ . Titanium (III) yang dicirikan dengan warna lembayung, sedangkan titanium (IV) tidak berwarna. Ion titanium (III) dalam air bersifat kurang stabil dan mudah mengalami oksidasi menjadi titanium (IV).

Titanium mempunyai struktur elektron  $(\text{Ar}) 3d^2 4s^2$  energi untuk mengeluarkan 4 elektron terlalu besar sehingga ion  $\text{Ti}^{4+}$  terbentuk dan senyawa Titanium (IV) adalah kovalen. Titanium dapat dibuat melalui oksidasi  $\text{TiCl}_4$  dalam fase uap dengan oksigen atau dengan menghidrolisis  $\text{TiCl}_4$ . Cairan ini tidak berwarna dan tidak berbau menusuk, berasap kuat dalam udara basah mempunyai titik didih.



$\text{TiCl}_4$  yang bereaksi dengan senyawa yang mengandung hidrogen aktif, seperti methanol akan melepas HCl.



Melalui pelarut HCl 0,1 N akan terbentuk senyawa  $\text{TiOCl}_2$  dengan penambahan  $\text{NH}_3$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  akan terbentuk senyawa Titanium Oksida Hidrat.



Dalam suasana basa, Titanium Oksida hidrat dapat digunakan sebagai adsorben dan penukaran ion. (Supriyantomo, 1996).

**Tabel 2.2.** Sifat fisik dan mekanik  $\text{TiO}_2$  yang khas

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)	9x10 <sup>-6</sup>
Konduktivitas thermal (25°C)	11,7 WmK <sup>-1</sup>
Titik lebur	1830-1850 °C
Titik didih	2500-3000 °C

## 2.6. Katalis

Sejumlah zat atau materi bila ditambahkan pada suatu reaksi kimia serta dapat mempercepat reaksi itu sendiri disebut katalis. Ada dua perbedaan sistem reaksi katalistik yang menggunakan katalis, sistem homogen dan heterogen. Pada sistem homogen, reaktan dan katalis berada pada fase yang sama dan reaksi terjadi pada seluruh fase. Sistem heterogen merupakan kebalikan dari sistem homogen, dimana reaktan dan katalis berada pada sistem yang berbeda yaitu reaktan dan produk berada pada fase gas dan cair, sedangkan katalis berada pada fase padat. Pemakaian katalis heterogen lebih menguntungkan karena jenis katalisnya padat, mudah dimodifikasi dan dapat diregensi dengan mudah pada suhu ruangan. Terdapat lima tahapan reaksi yang terjadi pada katalis heterogen. Ke-lima tahapan tersebut adalah : difusi molekul reaktan kepermukaan katalis, adsorpsi reaktan oleh permukaan katalis, reaksi katalis pada permukaan, pelepasan produk reaksi dari permukaan katalis dan difusi produk kembali ke sistem reaksi.

Kemampuan katalis bergantung pada permukaan zat padat berpori yang biasanya dikenal sebagai penopang katalis. Beberapa contoh katalis penopang

yang biasa digunakan antara lain : silika gel, alumina, karbon serta titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ). Kemampuan katalis titanium dioksida adalah mampu memecah berbagai senyawa organik , antara lain molekul merkaptan, asetaldehid, hidrogen sulfida dan mengoksidasi  $\text{NO}_x$ . Dimata para ahli kimia,  $\text{TiO}_2$  merupakan bagian yang cocok untuk digunakan karena mempunyai keuntungan diantaranya tidak bersifat beracun, selalu stabil dan bekerja pada suhu ruangan serta murah harganya.

## 2.7. Gaya Sentrifugal

Gaya yang arahnya cenderung ke luar terhadap pusat lingkaran, yang besarnya sama dengan gaya sentripetal dan berlawanan arahnya dinamakan gaya sentrifugal. Gaya sentripetal dan gaya sentrifugal selalu merupakan pasangan gaya aksi-reaksi : yang pertama berupa gaya resultan ke dalam terhadap benda yang berputar, sedangkan yang kedua berupa reaksi terhadap gaya ini. Sentrifugal berarti "meninggalkan pusat" disini bukan gaya untuk menahan benda pada satu titik atau menjaga benda dalam keadaan setimbang. Hal ini karena setimbang berkenaan dengan keadaan diam atau gerak sepanjang garis lurus dengan laju tetap. Disini benda tidak bergerak pada garis lurus, tetapi sebuah lingkaran. Yang berarti benda tidak dalam keadaan setimbang tetapi mempunyai percepatan meninggalkan pusat lingkaran dan haruslah mendapat resultan gaya untuk menghasilkan percepatan ini (Sears, Francis W, dkk, 1987).

## 2.8. Zeolit

### 2.8.1. Definisi

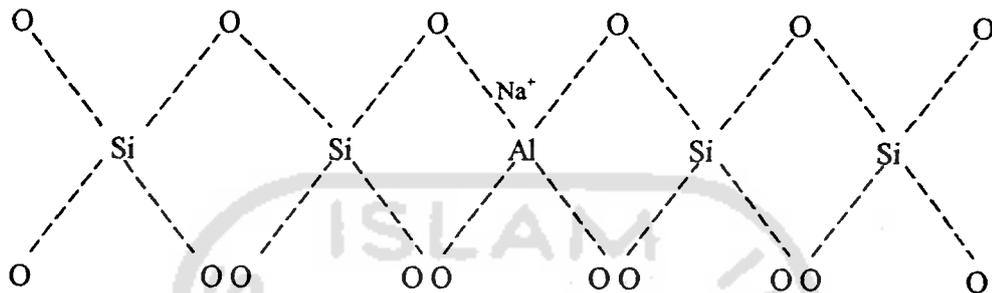
Zeolit sebagai mineral alam dan dipersiapkan untuk mengolah limbah industri dan limbah radioaktif. Istilah zeolit berasal dari kata “*zein*” (bahasa Yunani) yang berarti membuih dan “*lithos*” berarti batu membuih yang bila dipanaskan pada suhu 100 °C. Mineral zeolit merupakan komoditi mineral industri multiguna, karena memiliki sifat kimia dan fisika yang unik yaitu sebagai penukar ion, penyaring dan penyerap molekul serta katalis. Mineral alam atau zeolit tersebut terdiri dari kristal aluminium silikat terdehidrasi yang mengandung kation alkali-alkali tanah (terutama Ca dan Na) dalam rangka tiga dimensi yang terbatas dengan rongga-rongga.

### 2.8.2. Struktur Zeolit

Kerangka dasar struktur zeolit terdiri dari unit-unit tetrahedral  $\text{AlO}_4$  dan  $\text{SiO}_4$  yang saling berhubungan melalui atom O dan di alam struktur terbentuk  $\text{Si}^{4+}$  dapat diganti dengan  $\text{Al}^{3+}$ . Unit pembentuk utama yang membangun struktur mineral zeolit adalah  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang mempunyai bentuk tetrahedral. Unit pembentuk saling mengikat membentuk anionik dalam tiga dimensi. Komponen unit pembentuk yang paling stabil adalah zeolit dengan perbandingan atom Si dan Al adalah 1 : 1. Struktur zeolit terbuka dengan mengandung rongga berisi ion-ion logam dan molekul-molekul air, rongga tersebut saling berhubungan membentuk sistem saluran ke segala arah. Setiap atom oksigen yang akan terbagi diantara atom silikat dan aluminat, menjadi perbandingan  $(\text{Al} + \text{Si}) : \text{O} = 1 : 2$

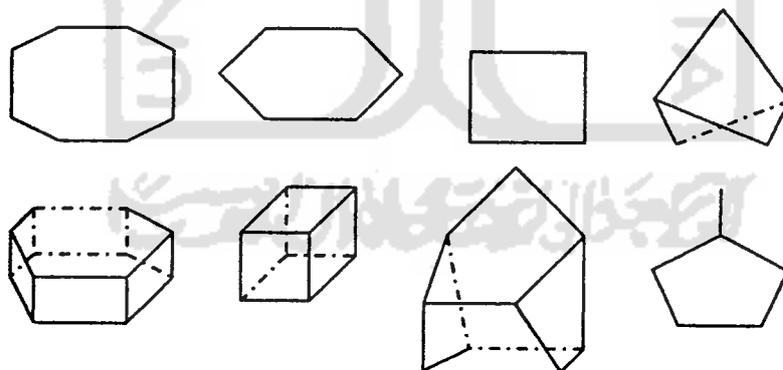
Unit-unit pembentuk struktur zeolit secara garis besar dibagi dalam dua bagian yaitu :

- a. Unit pembentukan primer adalah ( $\text{SiO}_4$ ) dan ( $\text{AlO}_4^{2+}$ ) yang terbentuk secara tetrahedral. Strukturnya dapat dilihat pada gambar berikut ini.



**Gambar 2.3.** Ikatan antara  $\text{SiO}_4$  dan  $\text{AlO}_4$  dalam pembentukan primer

- b. Unit pembentukan sekunder, yaitu gabungan unit-unit pembentukan primer yang dapat membentuk berbagai cincin diantaranya adalah jenis lingkaran 4, 6, 8 atau berbentuk kubus dan cincin ganda lingkaran 4, prisma heksagonal atau gabungan gabungan dari dua cincin lingkaran 4.



**Gambar 2.4.** Ikatan antara  $\text{SiO}_4$  dan  $\text{AlO}_4$  dalam pembentukan sekunder

Adapun sifat dari zeolit adalah :

1. Dehidrasi

Sifat dehidrasi dari zeolit akan berpengaruh pada sifat adsorbsinya. Zeolit dapat melepaskan molekul air dari rongga permukaan yang menyebabkan medan listrik meluas ke rongga utama dan akan efektif terinteraksi dengan molekul yang akan teradsorpsi. Jumlah molekul air sesuai dengan jumlah pori-pori atau volume ruang hampa yang akan terbentuk bila kristal zeolit dipanaskan.

2. Adsorpsi

Dalam keadaan normal ruang hampa kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang berada disekitar kation. Bila kristal zeolit dipanaskan pada suhu 300– 400 °C maka air tersebut akan keluar sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan. Beberapa jenis mineral zeolit mampu menyerap gas sebanyak 30 % dari beratnya dalam keadaan kering.

3. Penukar ion

Ion-ion pada rongga atau kerangka elektrolit berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion ini dapat bergerak bebas sehingga pertukaran ion menjadi tergantung dari ukuran dan muatan maupun jenis zeolitnya.

4. Katalis

Sejumlah zat atau materi bila ditambahkan pada suatu reaksi kimia serta dapat mempercepat reaksi itu sendiri disebut katalis.

### 2.8.3. Sifat Fisik Zeolit

Bahan galian zeolit pada umumnya mengandung beberapa mineral pengotor antara lain kwarsa, plagioklas, monorilorit, pirit, kaolin, dan lain-lain. Sehingga diperlukan adanya perlakuan terhadap zeolit. Bahan galian ini menunjukkan warna segar hijau muda, warna lapuk coklat kehijauan, struktur berlapis/laminasi, agak keras dan agak kompak (Anonim,1999).

Menurut proses pembentukannya zeolit dapat digolongkan menjadi dua kelompok :

#### 1. Zeolit alam.

Mineral zeolit ini telah diketahui sejak tahun 1766 oleh mineralogi bangsa Swedia yang bernama F.A.F. Cronstedt. Di alam banyak ditemukan pada batuan lava, dalam batuan terutama sedimen proklasik berbutir halus (*tuf*).

Jenis zeolit alam ada dua macam, yaitu :

- a. Zeolit yang terdapat diantaranya di celah-celah batuan atau diantara lapisan batuan. Pada umumnya zeolit yang terdiri dari mineral zeolit yang bersama-sama dengan mineral lainnya seperti kwarsa, renit, flourit, mineral silfide, dan lain-lain.

- b. Zeolit yang berupa batuan.

Jenis zeolit yang berbentuk batuan antara lain klinoptilolit, laumontit, mordenit, erionit, kabsit, dan heulandit.

Batuan zeolit dalam proses pembentukannya dapat dibedakan menjadi tujuh kelompok, yaitu :

- a. Mineral zeolit yang terbentuk di alam dari endapan gunung berapi di dalam danau asin.
- b. Mineral zeolit yang terbentuk di dalam danau air tawar atau lingkungan air tawar terbuka.
- c. Mineral zeolit yang terbentuk di lingkungan laut.
- d. Mineral zeolit yang terbentuk karena proses metamorfosis berderajat rendah karena pengaruh timbunan.
- e. Mineral zeolit yang terbentuk oleh aktivitas hidrotermal atau air panas.
- f. Mineral zeolit yang terbentuk dari endapan gunung berapi di dalam tanah yang bersifat alkali.
- g. Mineral zeolit yang terbentuk dari batuan/mineral lain dan tidak ada hubungan langsung dengan kegiatan vulkanik.

## 2. Zeolit sintetis

Merupakan zeolit yang direkayasa oleh manusia secara kimia. Pembuatan zeolit ini dari gel amino silikat semacam gel yang dibuat dari larutan natrium aluminat, natrium silikat dan natrium hidroksida. Zeolit sintetis dapat dikelompokkan menjadi empat sesuai dengan perbandingan komposisi Al dan Si, yaitu zeolit kadar Si rendah, zeolit kadar Si sedang, zeolit kadar Si tinggi.

Adapun perbedaan mineral zeolit alam dan buatan dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel.2.3.** Perbedaan zeolit alam dan zeolit sintetis (buatan)

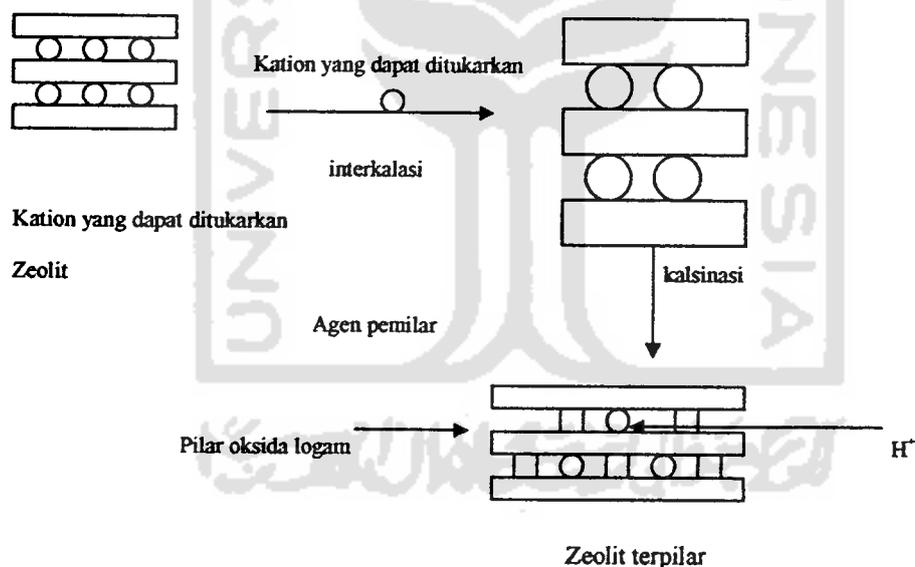
Macam Perbedaan	Mineral Zeolit Alam	Mineral Zeolit Buatan
Jenis mineral	Terbatas pada mineral tertentu	Semua jenis mineral zeolit dapat dibuat sintetis
Kemurnian	Umumnya mengandung bahan pengotor Fe	Dapat dibuat dengan kemurnian yang tinggi
Garis tengah ruang kosong	Terbatas pada mineral terbesar hanya mineral khabasit dan erionit	Dapat dibuat garis tengah ruang kosong 3-8 Å
Daya serap	Terbatas hanya pada mineral khabasit dan erionit	Daya serap hingga 50 % dari volume
Daya katalis	Terbatas karena ukuran ruang kosong yang sangat kecil dan kandungan ion-ion pengotor yang besar	

#### 2.8.4. Konsep pilarisasi

Pilarisasi zeolit adalah penyisipan atom-atom atau molekul-molekul ke dalam antar lapis struktur *clay* (lempung) tanpa merusak struktur lapisan tersebut atau disebut sebagai interkalasi. Agen pemilar harus merupakan senyawa-senyawa yang bersifat kokoh sehingga mencegah keruntuhan antar lapis jika terjadi dehidrasi serta menghasilkan pilar dengan jarak teratur satu sama lainnya. Dengan interkalasi, luas permukaan dan kristalinitas lempung zeolit akan meningkat. Berdasarkan perubahan strukturnya setelah terjadinya pilarisasi, lempung zeolit terpilar memiliki potensial sebagai adsorben, katalis dan penyaring molekuler (*molecular sieving*). Pilarisasi merupakan interkalasi agen pemilar ke dalam struktur material berlapis. Interkalasi merupakan suatu proses penyisipan atom-atom atau molekul-molekul secara dapat balik (*reversible*) ke dalam antar lapisan material berlapis dengan tidak merusak struktur lapisan tersebut. Atom-atom atau molekul-molekul yang biasa disisipkan disebut dengan interkalat (*intercalate*). Sedangkan lapisan yang merupakan tempat interkalat yang akan masuk disebut interkalan (*interkalan*). Dengan masuknya interkalat ke dalam interkalan maka susunan yang dimiliki interkalan mengalami perubahan. Perubahan tersebut terjadi karena disebabkan lapisan terdekat terhalangi oleh interkalat karena memiliki ukuran molekul asalnya.

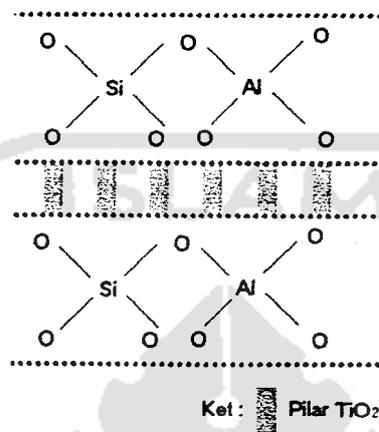
Interkalasi terjadi karena interkalat yang masuk berupa kation menggantikan kation-kation yang ada pada antar lapis silikat lempung. Kation tersebut umumnya tidak kuat terikat sehingga sangat mudah digeser atau ditukarkan oleh kation-kation interkalat. Kation logam polihidroksi yang masuk

ke dalam antar lapis silikat lempung selanjutnya dikalsinasi untuk membentuk pilar-pilar oksida logam yang stabil. Pilar-pilar oksida logam yang terbentuk berfungsi sebagai pengikat antar lapis silikat lempung sehingga struktur yang dimiliki lempung menjadi lebih kuat dan relatif lebih kuat terhadap perlakuan panas dibandingkan dengan lempung tanpa terpillar yang dapat mengalami kerusakan struktur diatas temperatur 200 °C. Pemiliran antar lapis silikat lempung zeolit dengan titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) pada dasarnya merupakan interkalasi agen pemilar senyawa kompleks Ti (kation TI-polihidroksi) kedalam antar lapis silikat lempung melalui mekanisme pertukaran kation antara kation TI-polihidroksi dengan kation-kation  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  dan  $\text{Ca}^+$  yang ada pada lempung zeolit.



**Gambar 2.5.** Skema pembentukan pilar zeolit

Terbentuknya pilar atau tiang oleh molekul  $\text{TiO}_2$  menjadikan antar lapis silikat akan tereksansi atau terhalangi oleh adanya molekul tersebut karena molekul yang terbentuk memiliki ukuran relatif lebih besar dari molekul asalnya. Pemiliran antar lapis silikat lempung  $\text{TiO}_2$  ditunjukkan pada gambar berikut.



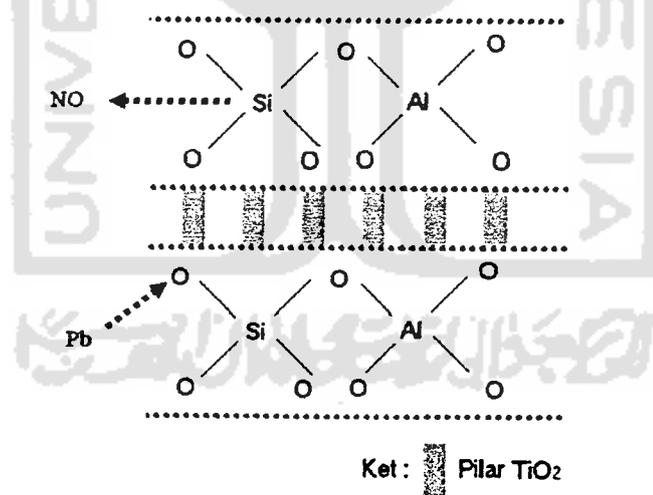
**Gambar.2.6.** Pemiliran antar lapis silikat lempung  $\text{TiO}_2$

### 2.9. Penyerapan $\text{NO}_x$ dan Pb Pada $\text{TiO}_2$ Terpilarisasi Di Zeolit

Dalam pembentukan pilar  $\text{NO}_x$  maupun Pb akan terjadi ikatan-ikatan kimia pada proses penyerapannya. Salah satu contoh dimana terbentuk ikatan kimia antara atom N dan atom O pada struktur zeolit (Si) dan atom Pb dengan atom O juga pada struktur zeolit tersebut (gambar 2.6). Hal ini dipengaruhi oleh sifat keelektronegatifitas unsur non logam ( $> 2$ ) yang memberikan gambaran bahwa elektronegatifitas berkaitan dengan energi ionisasi ( $I$ ) dan afinitas elektron (AE), karena kedua besaran ini mencerminkan kemampuan atom untuk melepaskan atau memperoleh sebuah elektron. Ikatan ion timbul akibat dari gaya tarik menarik yang semata-mata elektrostatis antara partikel muatannya berlawanan dan karena

sifatnya tak berarah (Petrucci,1992). Gaya tarik menarik antar molekul ini dinamakan gaya *Van der Waals*.

Bila dua atom identik bergabung, seperti misal  $H_2$ , keduanya mempunyai elektronegatifitas yang sama pula. Karena tiap atom mempunyai kemampuan sama dalam menarik pasangan elektron dalam ikatan itu pasangan tersebut akan terdistribusi secara sama disekitar kedua atom tersebut. Jika elektronegatifitas dua atom yang digabungkan oleh suatu ikatan berbeda, pasangan elektron akan ditarik lebih ke arah atom dengan elektronegatifitas yang lebih tinggi. Dalam hal ini atom N ( $E = 3,1$ ) akan melepaskan elektron ke atom O ( $E = 3,5$ ) yang lebih besar nilai elektronegatifitasnya. Begitu pula dengan atom Pb ( $E = 1,6$ ) akan melepaskan elektron ke atom O.



**Gambar 2.7.** Pemiliran atom NO dan Pb Di Zeolit Dan  $TiO_2$  Terpillar

### 2.10. Hipotesa

1. Kandungan NO<sub>x</sub> dan Pb dalam gas buang semakin meningkat seiring dengan semakin cepatnya putaran mesin dan pengaruh kandungan premium yang digunakan ( angka oktan > ).
2. Kandungan NO<sub>x</sub> dan Pb dalam gas buang semakin meningkat seiring dengan semakin tinggi suhu (T) pada mesin.
3. Semakin besar konsentrasi adsorben (% konsentrasi TiO<sub>2</sub>) maka semakin baik daya adsorpsinya.



## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1. Jenis Penelitian**

Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian lapangan (field experiment), yang dilakukan dengan percobaan dalam batasan waktu tertentu terhadap emisi gas buang NO<sub>x</sub> dan Pb kendaraan bermotor roda dua dengan zeolit terpilarisasi TiO<sub>2</sub> yang digunakan.

#### **3.2. Objek Penelitian**

Sebagai objek penelitian ini adalah emisi gas buang NO<sub>x</sub> dan Pb dari kendaraan bermotor roda dua 4 tak honda Supra X tahun 2003.

#### **3.3. Lokasi Penelitian**

Penelitian bertempat di BATAN (Badan Tenaga Nuklir Nasional), BTKL dan Laboratorium Lingkungan UII kampus terpadu sebagai tempat analisa sampel yang beralamatkan di Jogjakarta.

#### **3.4. Variabel Penelitian**

##### **1. Variabel bebas (*Independent Variable*)**

Komposisi TiO<sub>2</sub> dalam zeolit divariasikan 5%, 10%, 15%, temperatur pilarisasi 200 °C, 300 °C dan 400 °C.

## 2. Variabel terikat (*Dependent Variable*)

Parameter yang diteliti adalah gas NO<sub>x</sub> dan Pb.

### 3.5. Bahan dan Alat Penelitian

#### 1. Bahan :

- a. TiO<sub>2</sub>
- b. Zeolit
- c. Gula halus ( sukrosa ) sebagai perekat

#### 2. Alat :

- a. Motor 4 tak
- b. Timbangan
- c. Tabung Impinger
- d. Reaktor untuk menempatkan adsorben ( knalpot )
- e. Ice box
- f. Cetakan

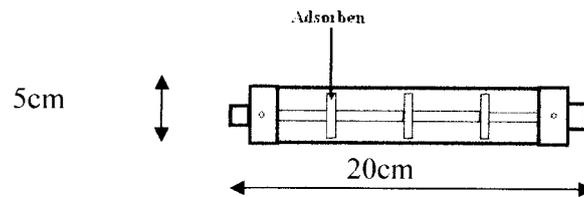
### 3.6. Langkah Penelitian

#### 3.6.1. Tahapan Persiapan

##### 3.6.1.1 Rancangan Reaktor

Reaktor (knalpot) didesain dengan ukuran yang sama dengan diameter knalpot kendaraan bermotor yang diuji. Reaktor tersebut dimodifikasi dengan cara diberi baut pada bagian ujung sehingga adsorben

dapat dengan mudah dipasang maupun dilepas. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



**Gambar 3.1.** Reaktor analisa gas buang

### 3.6.1.2 Uji Perekat (Uji Tekan)

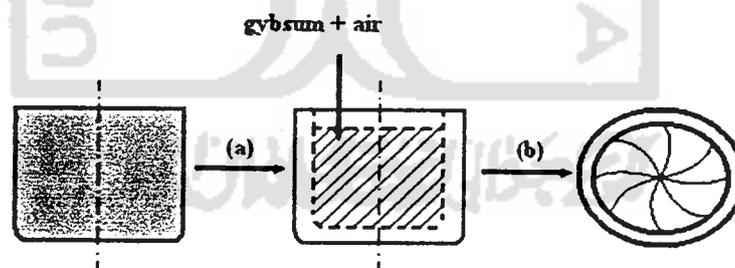
Adsorben yang nantinya dipakai dalam penelitian kali ini, merupakan komposisi antara zeolit,  $\text{TiO}_2$  dan perekat. Perekat yang dimaksud adalah tepung kanji, gula halus, gelatin, semen yang setelah melewati proses pengujian tekan akan ditentukan mana yang akan dipakai. Uji yang dilakukan merupakan uji kerapuhan secara visual dengan menggunakan alat uji tekan hidrolik. Pada akhirnya bahwa perekat gula halus (sukrosa) ternyata memiliki daya rekat yang paling baik.



**Gambar 3.2.** Proses uji tekan (kuat) pada beberapa jenis perekat

### 3.6.1.3 Rancangan Adsorben Sentrifugal

Membuat media berbentuk bulat bersirip (menyerupai baling-baling kipas) dengan maksud agar gas buang yang melewati adsorben tersebut dapat direduksi secara dipusingkan dan terjadi gaya sentrifugal. Penetapan model dari media adsorben dilakukan percobaan secara *trial and error*. Dimulai dari pembentukan adsorben jumlah sirip tiga dengan memberi lubang-lubang kecil pada sisi siripnya. Percobaan ini gagal karena adsorben tidak berputar. Selanjutnya adsorben dengan jumlah sirip yang enam, namun pada siripnya (lekukan) dilubangi. Percobaan ini kembali gagal karena adsorben hanya bergoyang tanpa berotasi. Baru setelah digunakan adsorben dengan jumlah sirip enam (6) dan siripnya dibelah hingga menyerupai sirip kipas (baling), media dapat berputar. Adsorben terbuat dari campuran zeolit, titanium oksida (variasi konsentrasi), perekat gula halus, dan aquadest. Cetakan terbuat dari gypsum dalam wadah pipa (knop).



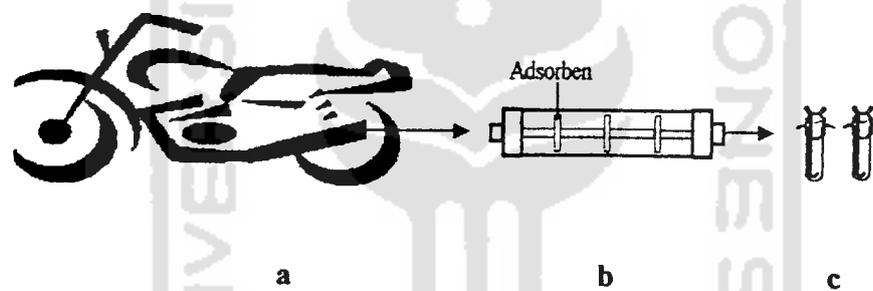
**Gambar 3.3.** Model cetakan adsorben ; (a) bagian sisi cetakan ; (b) model cetakan tampak atas

### 3.7. Analisa Data Kuantitatif

Yang termasuk analisa data kuantitatif adalah menyangkut tentang jumlah dari perencanaan uji kuat/tekan dengan beberapa contoh perekat seperti kanji, gula halus, semen, dan gelatin; adsorben (termasuk perencanaan, pembuatan, pencetakan hingga pemanasan) pada jumlah tertentu; dan jumlah sampel yang akan diuji termasuk perulangannya sebanyak 3 kali (triplo).

#### 3.7.1. Tahap Pelaksanaan Percobaan

##### 3.7.1.1. Parameter NOx



Gambar 3.4. Tahapan pengambilan sampel

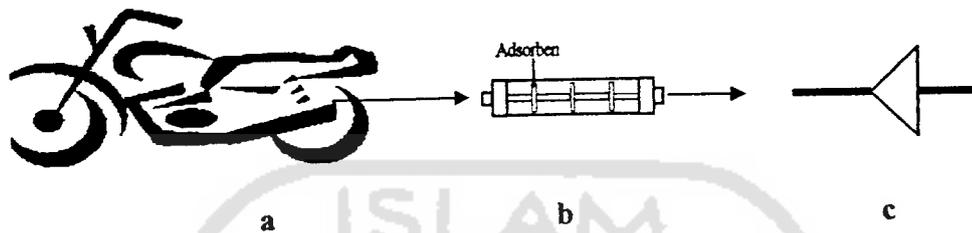
Keterangan gambar :

- a. Knalpot motor
- b. Reaktor
- c. Alat uji kualitas udara ( Tabung *Impinger*)

1. Pengambilan sampel awal
  - a. Kendaraan (motor) dipanaskan selama  $\pm 5$  menit untuk mengkondisikan ruang bakar mesin.
  - b. Dinyalakan alat pengukur kualitas udara.
  - c. Untuk setiap pengambilan sampel kendaraan (motor) dioperasikan selama 5 menit pada putaran mesin *stationer*.
  - d. Gas buang disalurkan dengan selang terhubung dari knalpot motor ke tabung impinger.
  - e. Diambil tabung impinger yang telah terisi gas buang kendaraan bermotor.
  - f. Tabung impinger ditutup rapat dan dimasukkan dalam ice box.
  - g. Kendaraan didinginkan selama  $\pm 3$  menit.
  - h. Dilakukan pengulangan sebanyak 2 kali.
  - i. Sampel dianalisa di laboratorium.
2. Pengambilan sampel dengan impregnasi
  - a. Disiapkan reaktor dengan jarak antar media penyerap zeolit  $\pm 3$  cm dengan komposisi 5%, 10% dan 15%. Setiap pengambilan sampel jumlah adsorben sebanyak 3 buah dengan konsentrasi sama. Dimulai dari konsentrasi 0 %  $\text{TiO}_2$ , 5 %, 10 %, dan 15 %.
  - b. Reaktor dengan impregnasi dipasang secara bergantian pada knalpot motor dengan perulangan tiga kali (triplo).

- c. Pengambilan sampel dengan impregnasi sama dilakukan seperti tahap pada pengambilan sampel awal.

### 3.7.1.2. Parameter Pb



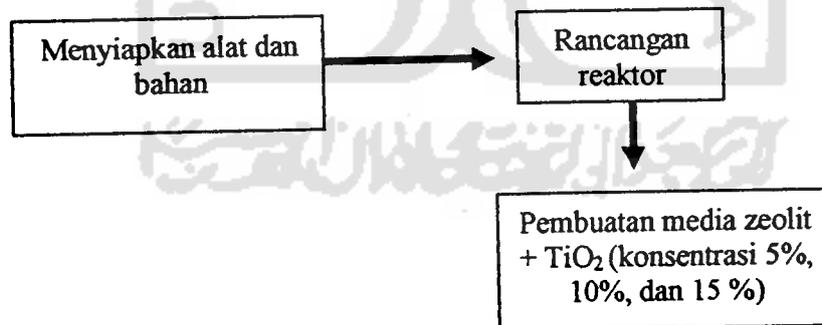
Gambar 3.5. Tahapan pengambilan sampel

Keterangan gambar :

- a. Knalpot motor
- b. Reaktor
- c. Alat uji kualitas udara (HVS/ High Volume Sampler)

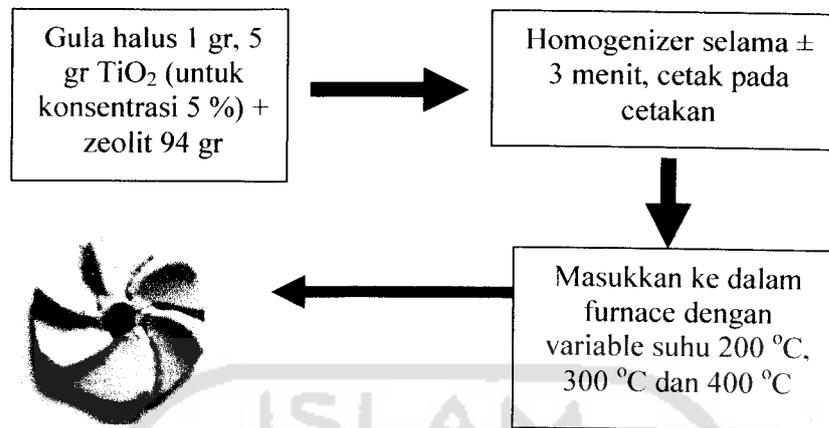
## 3.8. Diagram Alir Penelitian

### 3.8.1. Diagram Alir Tahap Persiapan



Gambar 3.6. Diagram Alir Tahap Persiapan

### 3.8.2. Tahapan Pembuatan Media Penyerap ( Adsorben )



Gambar 3.7. Diagram air tahap pembuatan adsorben

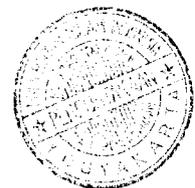
## 3.9. Tahap Pelaksanaan Analisa

### 3.9.1. Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>)

#### 3.9.1.1. Pengecekan Parameter NO<sub>x</sub> Dalam Gas Buang

Penelitian ini dilakukan dengan proses pengaliran gas buang kendaraan bermotor dari knalpot langsung dengan menggunakan alat ukur kualitas udara, gas tersebut akan teroksidasi dengan *reagent* yang digunakan hingga menunjukkan indikasi warna merah muda dan ditampung dalam tabung impinger untuk dianalisa di laboratorium. Tabung impinger tersebut kemudian dianalisa di laboratorium dengan tahapan sebagai berikut :

#### 1. Pembuatan kurva kalibrasi



Alat dan bahan :

- a. Labu takar 25 ml 8 buah
- b. Pipet ukur
- c. Karet hisap
- d. Spectrofotometer
- e. Aquadest
- f. Larutan baku sulfit
- g. Larutan penyerap (TCM)
- h. Asam sulfanilat 0,06 %
- i. Formaldehide
- j. Larutan sediaan pararosanilin (PRA)
- k. Wadah roll film (*halic*) bekas

2. Pereaksi

- a. Larutan penyerap NO<sub>x</sub>

5 gr asam sulfanilat anhidrid atau 5,5 gr asam sulfanilat monohidrat dilarutkan ke dalam aquadest 150 ml yang mengandung 140 ml asam asetat glacial. Tambahkan 20 ml larutan NEDA 0,1 % (N - (1-

naphthyl)-ethylene diamine dihydrochloride), selanjutnya diencerkan menjadi 1 lt dengan aquadest, tutup segera.

b. Larutan sediaan 0,1 % NEDA

0,1 gr NEDA dilarutkan dengan aquadest hingga 100 ml.

c. Larutan pengoksidasi  $\text{KMnO}_4$

2,5 gr  $\text{KMnO}_4$  dimasukkan kedalam 100 ml larutan campuran (59 ml  $\text{H}_3\text{PO}_4$  dan 1 ml aquadest +  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

d. Larutan standar nitrit  $\text{NaNO}_2$

2,03 gr  $\text{NaNO}_2$  dilarutkan dengan aquadest menjadi 1 lt.

e. Pereaksi larutan sisipan nitrit

10 ml larutan standar nitrit diencerkan menjadi 100 ml dengan aquadest.

3. Cara pembuatan kurva kalibrasi

- a. Menyiapkan labu takar 25 ml sebanyak 8 buah. Masukkan larutan sisipan nitrit ke masing-masing labu takar dengan volume secara bertingkat di mulai dari 0.
- b. Dimampatkan dengan larutan penyerap sampai tanda batas.

- c. Diamkan selama 15 menit.
- d. Mengukur serapan (sebagai Y)
- e. Membuat regresi linier

Persamaan Regresi Linier  $Y = a + bx$

Y = absorbansi

X = konsentrasi NOx

$$a = \frac{(\sum x^2)(\sum y) - (\sum x)(\sum xy)}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \dots\dots\dots 3.1$$

$$b = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \dots\dots\dots 3.2$$

#### 4. Pengambilan contoh udara

- a. 10 ml penyerap dimasukkan kedalam tabung impinger sebanyak 2 buah (I dan III).
- b. Pada tabung II diisi dengan larutan pengoksidasi ( $\text{KMnO}_4$  4 N) sebanyak 10 ml.
- c. Tabung impinger dipasang pada peralatan pengukur kualitas udara sesuai dengan tabung impingernya, pastikan tidak ada kebocoran.

- d. Hubungkan selang penghubung antara pipa dengan tabung impingernya, pastikan tidak ada kebocoran.
  - e. Masukkan rangkaian kedalam kotak pompa penghisap dan hubungkan selang dengan knalpot.
  - f. Pompa penghisap dihidupkan dan dibiarkan selama 5 menit.
  - g. Setelah selesai pompa dimatikan, ambil tabung impinger, tutup dengan penutup yang tersedia roll film (*halic*), kemudian analisa di laboratorium.
5. Tahapan analisa NO<sub>x</sub>
- a. Spectrofotometer yang telah dipanaskan selama 15 menit.
  - b. Memilih panjang gelombang 550 nm.
  - c. Memindahkan larutan contoh ke tabung kuvet.
  - d. Memasukkan kuvet ke kompartemen.
  - e. Skala ini sebagai absorben (Y).

Perhitungan :

$$V_{udara} = C.t \left[ \frac{P}{760} \times \frac{298}{(T + 273)} \right] \dots\dots\dots 3.3$$

Dimana :

$V_{\text{udara}}$  = volume udara, lt/mnt

$C$  = kecepatan aliran udara, menit

$P$  = tekanan udara, mm Hg

760 = tekanan udara standar, mm Hg

$T$  = temperatur udara, °C

273 = konversi dari °C menjadi °K

298 = suhu udara baku

#### 6. Kadar NOx impinger

$Y = a + bx$        $X = \text{kadar NOx dari impinger } \mu\text{g/ml}$

$Y = \text{Serapan contoh udara}$

#### 7. Kadar NOx udara

$$K = \frac{(X \cdot \text{impinger})}{V_{\text{udara}}} \times 1000 \dots\dots\dots 3.4$$

Dimana :

K = kadar NO<sub>x</sub> udara, µg/ml

X = kadar NO<sub>x</sub> impinger, µg/ml

V<sub>impinger</sub> = volume penyerap dari impinger, ml

V<sub>udara</sub> = volume udara, lt

1000 = faktor konversi dari lt ke m<sup>3</sup>

1 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>x</sub> = 0,53 · 10<sup>-3</sup> ppm.

### 3.9.2. Timbal (Pb)

#### 3.9.2.1. Pengecekan Parameter Pb Dalam Gas Buang

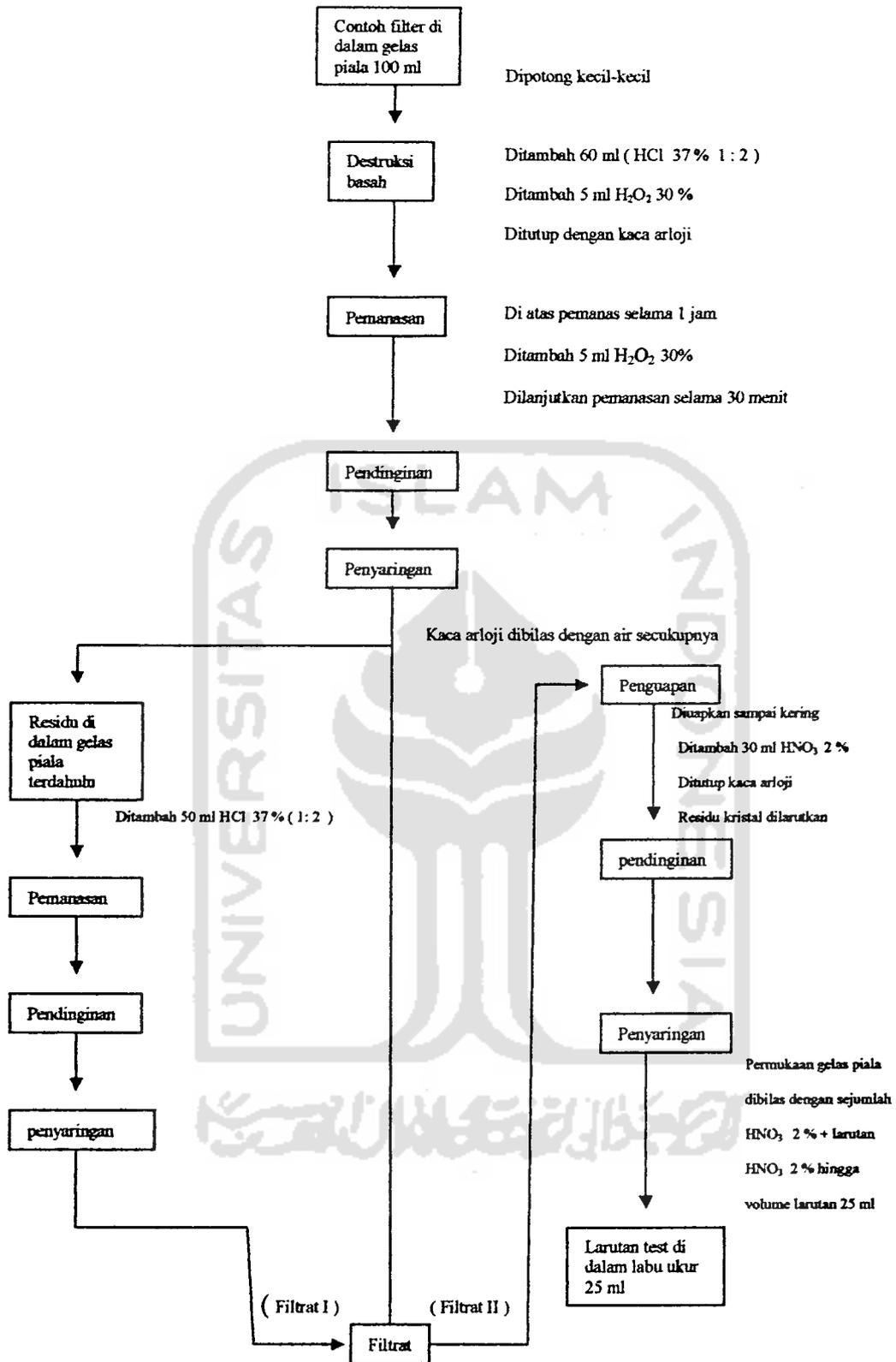
Uji emisi parameter Pb ini dilaksanakan di BTKL (Balai Teknik Kesehatan Lingkungan) dengan menggunakan alat uji emisi seperti :

1. Pompa hisap
2. Kertas saring
3. Alat ukur kualitas udara/ HVS (*High Volume Sampler*)
4. Stopwatch

Pengambilan sampel dilaksanakan selama 2 menit dalam keadaan gas *stationer* dengan langkah sama seperti pada pengecekan parameter nitrogen oksida (NOx) yaitu kontrol awal dan dilanjutkan variasi konsentrasi (impregnasi), yang berbeda adalah alat yang digunakan yaitu berupa pompa hisap yang dilengkapi corong serta penampungan gas buang (didalamnya terdapat kertas saring/filter) terbuat dari besi menyerupai limas kerucut. Dalam pengujian ini tidak menggunakan bahan kimia bersifat larutan, karena analisis Pb merupakan analisis lanjutan dari parameter partikel. Setelah itu kertas saring (filter) yang telah menyerap emisi tersebut dibawa ke laboratorium untuk dianalisa dengan langkah-langkah yang tertera pada halaman berikut.

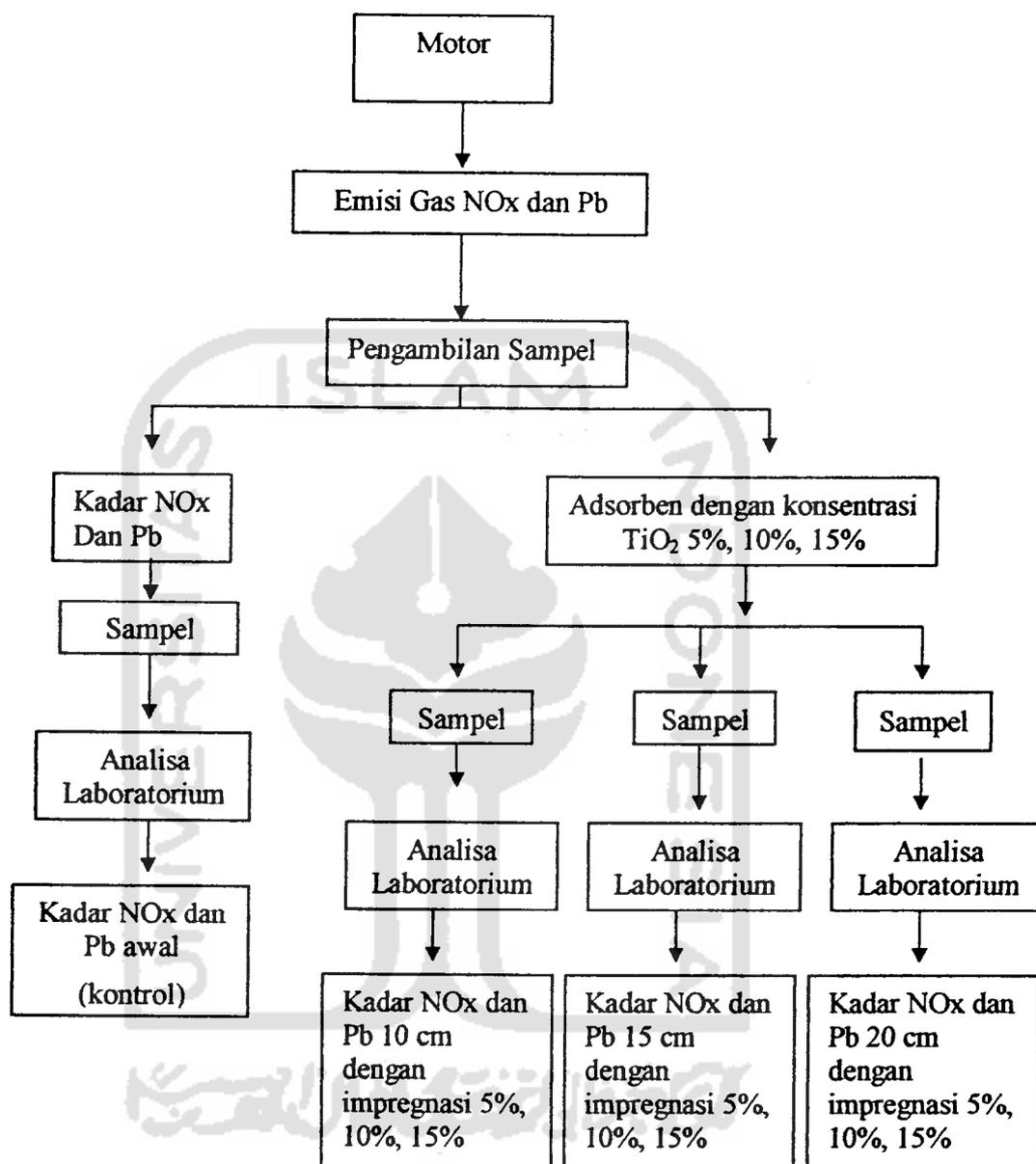


**Gambar 3.8.** Kertas saring (filter) sebelum (kiri) dan sesudah sampling (kanan)



Gambar 3.9. Diagram alir analisa Pb

### 3.10. Diagram Alir Pelaksanaan Percobaan



Gambar 3.10. Diagram Alir Pelaksanaan percobaan

### 3.11. Analisa Data

Tabung impinger yang telah terkontaminasi oleh gas buang (NO<sub>x</sub> dan Pb) dianalisa di laboratorium dengan alur kerja seperti yang disebutkan dalam tahapan analisa dengan menggunakan spektrofotometer, analisa terhadap grafik hubungan yang menunjukkan besaran efisiensi serta menguji hipotesa dalam penelitian ini.



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Hasil Penelitian

Berdasarkan dari hasil penelitian yang dilakukan, yang dimulai dari proses pembentukan adsorben, pencetakan, hingga penggunaannya dalam mereduksi kandungan zat pencemar yang dalam hal ini khusus pencemar NO<sub>x</sub> dan Pb maka dapat diketahui bahwa konsentrasi gas buang (emisi) dari kendaraan bermotor merupakan sesuatu yang sangat fluktuatif, beragam dan tidak dapat dideteksi serta diperkirakan besarnya. Hal ini dapat terjadi disebabkan beberapa faktor yang berperan besar dalam pembentukan parameter gas buang (NO<sub>x</sub> dan Pb) diantaranya kandungan bahan bakar premium yang digunakan, suhu pembakaran (T pada mesin). Tidak menutup kemungkinan bahwa pengaruh kemampuan adsorben itu sendiri (tingkat kejenuhan).

Uji emisi gas buang parameter NO<sub>x</sub> dan Pb dilaksanakan dalam 2 (dua) tahap, dikarenakan jumlah sampel yang akan diambil tidak mencukupi untuk diselesaikan dalam satu hari serta alat yang digunakan berbeda. Pengambilan sampel NO<sub>x</sub> dilaksanakan dalam satu waktu karena menggunakan alat yang sama yaitu tabung impinger. Alat ini dikalibrasi dengan alat STTL yang mempunyai debit udara 0,2 L/menit. Sedangkan pada alat ini debit udara sebesar 0,02 L/menit. Penyamplingan NO<sub>x</sub> dilakukan ditempat yang teduh karena reagent (penyerap) tidak boleh terkena sinar matahari secara langsung. Hal ini tidak berlaku bagi Pb karena tidak menggunakan bahan kimia melainkan kertas saring (filter).

## 4.2 Tahapan Persiapan Penelitian

### 4.2.1 Perencanaan Perekat

Perekat yang akan digunakan terlebih dahulu diseleksi dengan menggunakan metode uji tekan memakai alat hidrolik manual. Bahan zeolit murni serta yang telah dicampur dengan perekat dipanaskan pada suhu 200 °C dan 400 °C yang dicetak dalam bentuk silinder setinggi  $\pm 2$  cm,  $\emptyset 2$  cm. Proses dimulai dengan pencampuran zeolit murni dengan kanji. Sebelum dicampur, kanji terlebih dahulu dipanaskan hingga menjadi larutan homogen dalam aquadest. Hal yang sama juga dilakukan terhadap gula yang diaduk hingga gula halus ini sudah benar-benar homogen. Gelatin yang menyerupai jel lengket berbentuk silinder panjang kurang lebih  $\pm 0,5$  cm diaduk hingga mencair dan menyatu dengan aquadest. Tetapi pada semen cukup diaduk merata hingga homogen. Campuran zeolit murni dengan masing-masing perekat siap diaduk secara merata (adon) dan dicetak pada cetakan yang telah disediakan. Setelah di oven, dalam keadaan dingin di uji dengan alat tersebut. Hasil pengujian ternyata tidak terbaca pada indikator alat yang berupa penunjukkan nilai dalam satuan kN (*range* 0-250). Dikarenakan tidak terdapat alat uji dengan range yang kecil ( $< 1$  kN) maka alternatifnya dilakukan pengujian secara manual (visual). Pada suhu pemanasan adsorben murni 200 °C dari semua perekat tidak ada yang dapat terbaca pada alat. Begitu juga dengan suhu pemanasan adsorben 400 °C. Pada pemanasan adsorben terpillar dengan campuran TiO<sub>2</sub>, baik pada suhu 200 °C dan 400 °C juga tidak dapat terbaca semua. Berikut disajikan tabel hasil pengujian secara manual :

Tabel 4.1. Hasil uji perekat secara hidrolis manual

No	Jenis Media	Keterangan (5-250 KN)
1.	Zeolit murni 200° C	0
	- gula	0
	- semen	0
	- glatin	0
	- kanji	0
2.	Zeolit murni 400° C	0
	- gula	0
	- semen	0
	- gelatin	0
	- kanji	0
3.	Zeolit terpillar 200° C	0
	- gula	0
	- semen	0
	- glatin	0
	- kanji	0
4.	Zeolit terpillar 400° C	0
	- gula	0
	- semen	0
	- glatin	0
	- kanji	0

Ket: nilai 0, menunjukkan besaran dibawah 5 KN

Sumber: Data primer 2005

Tabel 4.2. Uji Visual

No	Jenis Media	Keterangan			
		Sangat kurang baik	Kurang baik	Baik	Baik sekali
1.	Zeolit murni 200° C			√	
	- gula				√
	- semen	√			
	- glatin	√			
	- kanji		√		
2.	Zeolit murni 400° C			√	
	- gula				√
	- semen	√			
	- glatin	√			
	- kanji		√		
3.	Zeolit terpillar 200° C			√	

	- gula - semen - glatin - kanji	√ √	√		√
4.	Zeolit terpillar 400° C - gula - semen - glatin - kanji	√ √	√	√	√

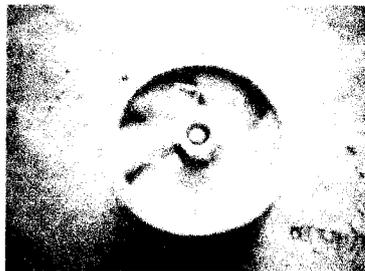
Sumber: Data primer 2005

Dari hasil pengujian diatas terlihat bahwa perekat yang paling baik dalam penelitian ini adalah gula halus (sukrosa). Penentuan gula sebagai perekat ini didasarkan kepada sistem *trial and error* sehingga tidak menutup kemungkinan bahwa pada penelitian emisi gas buang lainnya penentuan bahan perekat akan berbeda. Gula ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) merupakan campuran yang digunakan sebagai perekat yang dapat mengikat zat padat dengan zat padat lainnya agar terjadi pencampuran secara sempurna.

#### 4.2.2 Perancangan Adsorben Sentrifugal

##### 4.2.2.1 Perancangan Cetakan

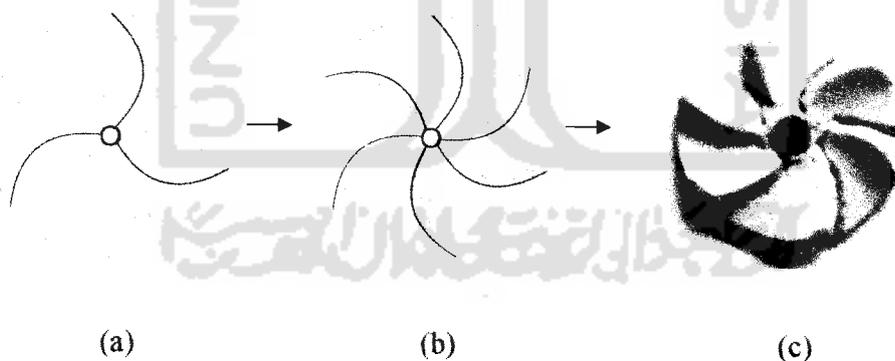
Cetakan terbuat dari gypsum yang dicetak dalam pipa knop dan dibentuk sedemikian rupa menyerupai baling-baling kipas. Ternyata cetakan adsorben tanpa adanya struktur penahan/rangka berpengaruh besar terhadap kekuatan dari adsorben itu sendiri. Maka dari itu, untuk memberi rangka yang kuat pada adsorben diperlukan tulangan sehingga alternatifnya dipilih kawat sebagai tulangan yang letaknya persis ditengah cetakan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut:



**Gambar 4.1.** Cetakan adsorben serta kawat sebagai tulangan

#### 4.2.2.2 Pencetakan Adsorben

Ada beberapa tahap dalam menyempurnakan sistem sentrifugal ini, pertama pembentukan adsorben dengan tiga lekungan yang masing-masing sisinya diberi 3 lubang. Kedua, dengan sirip berjumlah enam kemudian pada sisi lekukannya diberi lubang-lubang kecil merata dari ujung hingga ke pusat lingkaran ketiga, dengan jumlah sirip yang sama tetapi bagian lubang kecil-kecil dibelah hingga menyerupai baling-baling kipas. Inilah yang nantinya akan dipakai untuk menyerap gas-gas emisi langsung dari knalpot modifikasi.



**Gambar 4.2.** Model adsorben menyerupai baling-baling kipas; tiga lekukan dengan tiga lubang (a) ; enam lekukan dengan lubang-lubang kecil pada sisi (b) ; enam lekukan dengan belahan sirip pada sisi (c)

#### 4.2.2.3 Mekanisme Gaya Sentrifugal

Dengan adanya gaya sentrifugal pada mekanisme kerja adsorben yang berbentuk baling-baling kipas, diharapkan partikel-partikel (termasuk Pb) akan terjadi kontak yang lebih lama dengan media adsorben dan partikel akan terlempar ke dinding knalpot dan seterusnya jatuh ke dasar knalpot secara gravitasi. Gaya sentrifugal yang dimaksud dalam penelitian ini bertujuan agar terjadinya penurunan konsentrasi partikel-partikel (dalam hal ini Pb, NO<sub>x</sub> tidak termasuk) dengan cara memusingkan adsorben sehingga partikel-partikel tersebut dapat diturunkan (terpusat) ke bagian dasar knalpot. Seharusnya pada bagian bawah knalpot diberi semacam lubang sebagai tempat penyaluran partikel-partikel yang telah terkumpul tersebut. Akan tetapi dalam penelitian kali ini partikel terendapkan ke bagian dasar knalpot. Dengan tekanan gas buang yang besar, maka partikel-partikel ini akan terserap ke dalam alat untuk kemudian dianalisa.

#### 4.3 Analisa Data Kualitatif

Setelah melakukan uji emisi gas buang kendaraan bermotor roda dua 4 tak, maka didapatkan data-data yang menunjukkan seberapa besar efektifitas dari adsorben sentrifugal dengan variasi suhu dan konsentrasi TiO<sub>2</sub> yang ditunjukkan pada tabel data dan grafik. Untuk pembahasan akan digunakan sistem per blok dikarenakan data analisis yang didapat menunjukkan adanya nilai-nilai yang fleksibel bergantung pada kondisi pada saat pengambilan sampel. Umumnya kondisi mesin yang stabil (*stationer*) cenderung akan meningkatkan konsentrasi polutan khususnya NO<sub>x</sub> dan Pb dikarenakan kinerja mesin yang terus-menerus

meningkat dalam pembakaran yang tidak sempurna sehingga menghasilkan suhu yang tinggi baik pada mesin dan knalpot. Tidak berbeda seperti keadaan yang terjadi pada NO<sub>x</sub>, polutan Pb yang terbawa bersama partikel-partikel cenderung lebih konsisten (stabil) karena faktor utama penyusun terbentuknya pencemar ini adalah kandungan bahan additif yang ditambahkan ke dalam bahan bakar (premium). Pada pembakaran yang berlangsung lama komponen-komponen Pb seperti PbBrCl berkurang sekitar 50 % bahkan lebih dan PbBrCl.2PbO menjadi sangat sedikit. Sedangkan kandungan oksida-oksida Pb (PbO<sub>x</sub>) dan PbCO<sub>3</sub>.2PbO mengalami peningkatan yang sangat tinggi dan menggantikan posisi dua kandungan yang utama.

#### **4.3.1. Analisa NO<sub>x</sub>**

##### **4.3.1.1. Adsorben Sentrifugal Pada Suhu Pemanasan 200 °C**

Tahapan analisa NO<sub>x</sub> dimulai dengan urutan adsorben pada pemanasan suhu 200 °C pada konsentrasi berturut-turut 0%, 5%, 10% dan 15%. Waktu pengukuran pada saat setelah dilakukan kontrol awal sebanyak tiga kali perulangan. Jumlah sampel sebanyak 36 kali dengan pengambilan sampel per titik adalah selama 5 menit dengan waktu istirahat kendaraan selama ± 3 menit yang diisi dengan persiapan reagent kimia (penyerap) dan penggantian adsorben. Warna reagent yang telah terkontaminasi ditunjukkan dengan indikator dari warna bening kecoklatan pupus menjadi merah muda.

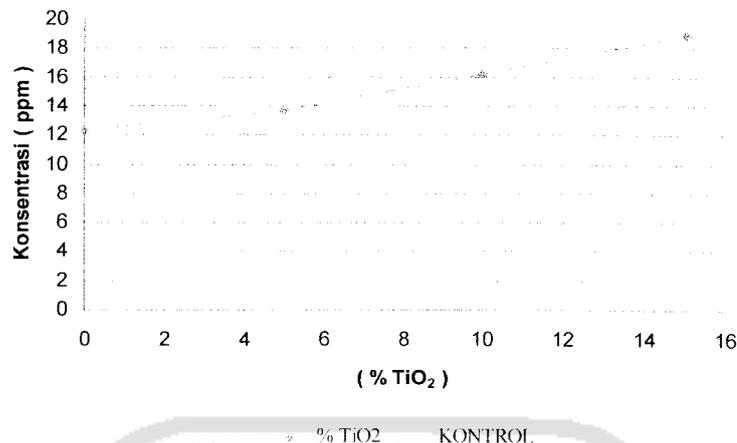
Hasil dari pemeriksaan terhadap adsorben sentrifugal suhu pemanasan 200 °C terlihat pada Tabel 4.3 yang menggambarkan bahwa konsentrasi NO<sub>x</sub>

yang cenderung meningkat akibat dari suhu mesin kendaraan dan knalpot menyebabkan akumulasi oksida-oksida nitrogen yang cukup tinggi. Kondisi seperti ini merupakan hal yang lumrah karena komponen-komponen NO<sub>x</sub> merupakan suatu persenyawaan yang reaktif terhadap suhu pemanasan hingga mempunyai hubungan linier terhadap konsentrasi.

**Tabel 4.3.** Hasil analisis parameter NO<sub>x</sub> suhu pemanasan adsorben 200 °C

No	Keterangan	Sampel ( ppm )			Rerata
		1	2	3	
1	Kontrol	13,46	13,33	12,38	13,06
2	0% TiO <sub>2</sub>	13,17	12,29	11,58	12,35
3	5% TiO <sub>2</sub>	14,62	13,49	12,90	13,67
4	10% TiO <sub>2</sub>	17,53	14,94	16,16	16,21
5	15% TiO <sub>2</sub>	19,12	18,79	18,96	18,96

(Sumber :Data Primer 2005)



**Gambar 4.3.** Grafik analisis parameter NO<sub>x</sub> suhu pemanasan adsorben 200 °C

Berdasarkan hasil analisis parameter NO<sub>x</sub> di atas, maka dapat diketahui bahwa terjadi perubahan yang sangat signifikan terhadap konsentrasi NO<sub>x</sub> yang dipengaruhi oleh suhu (T) dari mesin kendaraan bermotor. Terlihat bahwa kontrol awal dan adsorben murni (TiO<sub>2</sub> 0%) terjadi penurunan. Akan tetapi dengan konsentrasi 5%, 10% dan 15% terjadi kenaikan dari kontrol. Penyebab utama adalah konsentrasi NO<sub>x</sub> terakumulasi dengan bertambah besarnya (naiknya) suhu (T) pada mesin. Nitrogen oksida yang terbentuk pada pembakaran akan semakin meningkat seiring dengan meningginya suhu pembakaran itu sendiri. Sehingga diharapkan pada aplikasi di lapangan nanti mengacu pada nilai titik jenuh dari adsorben itu sendiri karena dalam kondisi ideal pemakaian kendaraan bermotor akan berlangsung cukup lama dan terjadi kenaikan suhu (T) pembakaran yang menyebabkan naiknya konsentrasi pencemar NO<sub>x</sub>. Seperti yang diketahui bahwa dalam proses pembakaran mesin bensin dimulai dari penghisapan udara. Udara mengalir melewati karburator, karena konstruksi karburator maka bahan bakar

terhisap dengan sendirinya dan bercampur secara homogen dengan udara. Sementara itu dengan bertambahnya putaran mesin kendaraan juga akan meningkatkan suhu pembakaran yang memicu produksi NO<sub>x</sub> lebih banyak. Hal ini yang terjadi pada adsorben variasi 5%, 10% dan 15%. NO<sub>x</sub> yang terbentuk berasal dari senyawa nitrogen yang terkandung dalam bahan bakar dan berasal dari gas N<sub>2</sub> yang terdapat dalam udara kemudian terdisosiasi pada temperatur tinggi akibat pembakaran. Faktor lain yang berperan dalam terbentuknya oksida-oksida nitrogen dalam penyamplingan ini adalah kondisi dari pengoksidan (KMnO<sub>4</sub>) yang kemungkinan telah jenuh pada saat pengambilan sampel. Untuk diketahui bahwa oksidator diganti setelah penyampelan sebanyak 10 kali. Oleh karena itu sebaiknya oksidan-oksidan ini selalu dalam keadaan baru (murni).

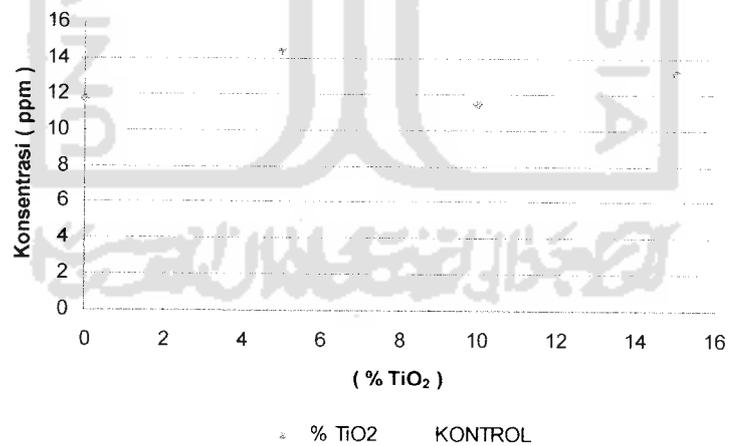
#### **4.3.1.2 Adsorben Sentrifugal Pada Suhu Pemanasan 300 °C**

Pada pengukuran adsorben suhu pemanasan 300 °C cara yang sama dilakukan dengan pada saat pengambilan suhu pemanasan adsorben 200 °C akan tetapi terlihat terjadinya perubahan warna reagent (penyerap) yang semula diawal pengambilan sampel berwarna merah muda menjadi merah pekat (merah hati) yang dikarenakan terjadinya peningkatan suhu pada mesin kendaraan dan didalam knalpot rekayasa (modifikasi). Pada saat pengambilan sampel ini dilakukan penggantian oksidator KMnO<sub>4</sub> karena setelah penyampelan sebanyak 10 kali terlihat bahwa oksidan tersebut sudah mulai jenuh dengan perubahan warna dari ungu menjadi coklat tua. Pergantian diharapkan dapat lebih efektif dalam mengoksidasi konsentrasi pencemar NO<sub>x</sub>.

Hasil dari pemeriksaan terhadap adsorben sentrifugal suhu pemanasan 300 °C terlihat pada Tabel 4.4 yang menggambarkan bahwa konsentrasi NOx yang cenderung lebih stabil walaupun terjadi peningkatan.

**Tabel 4.4.** Hasil analisis parameter NOx suhu pemanasan adsorben 300 °C

No	Keterangan	Sampel ( ppm )			Rerata
		1	2	3	
1	Kontrol	13,46	13,33	12,38	13,06
2	0% TiO <sub>2</sub>	13,50	11,19	10,57	11,75
3	5% TiO <sub>2</sub>	14,24	14,43	14,65	14,44
4	10% TiO <sub>2</sub>	11,42	14,75	8,04	11,42
5	15% TiO <sub>2</sub>	13,17	16,91	9,43	13,17



**Gambar 4.4.** Grafik analisis parameter NOx suhu pemanasan adsorben 300 °C

Pada suhu pemanasan adsorben 300 °C diharapkan bahwa pilarisasi yang terbentuk dalam keadaan optimal dimana pilar-pilar tersebut dapat membentuk struktur lapisan yang kuat dan tahan terhadap perlakuan panas sehingga meningkatkan efektifitas adsorpsi. Terlihat pada grafik bahwa efisiensi penyerapan lebih baik daripada pemanasan adsorben dengan pemakaian suhu 200 °C. Pada konsentrasi 5% terjadi kenaikan konsentrasi dan diturunkan kembali pada konsentrasi 10%. Gejala kenaikan NO<sub>x</sub> memang tidak dapat diprediksi karena berkaitan dengan konsentrasi oksigen (O<sub>2</sub> bebas) pada proses pembakaran. Semakin banyak oksigen-oksigen berikatan dengan N, serta N<sub>2</sub> maka akumulasi NO<sub>x</sub> akan semakin membesar. Pada kondisi pembakaran yang sama seperti telah dijelaskan pada adsorben dengan suhu pemanasan 200 °C, grafik NO<sub>x</sub> akan semakin naik.

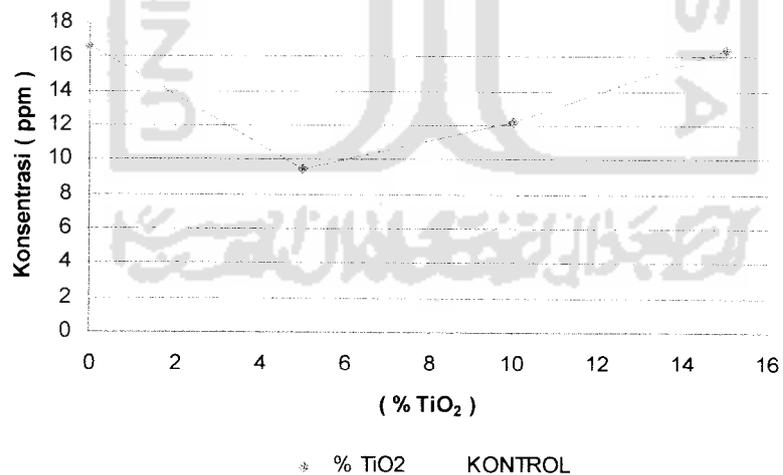
#### **4.3.1.3. Adsorben Sentrifugal Pada Suhu Pemanasan 400 °C**

Seiring dengan semakin meningkatnya suhu pada mesin kendaraan maka penyamplangan pada adsorben suhu pemanasan 400 °C peneliti mengharapkan terjadinya reduksi yang cukup baik. Akan tetapi hasil data yang didapat bahwa penurunan yang terjadi hanya pada konsentrasi kecil, sedangkan pada konsentrasi 15%, kemungkinan pilar yang terbentuk tidak cukup kokoh dalam menerima elektron atom-atom O dari oksida-oksida nitrogen sehingga efisiensi kembali menurun. Hal ini terlihat kurang baik bila dibandingkan dengan suhu pemanasan adsorben 300 °C yang relatif konstan terhadap kontrol.

Hasil dari pemeriksaan terhadap adsorben sentrifugal suhu pemanasan 400 °C terlihat pada Tabel 4.5 yang menggambarkan bahwa konsentrasi NOx yang cenderung lebih stabil walaupun terjadi peningkatan seperti pada suhu pemanasan 300 °C.

**Tabel 4.5.** Hasil analisis parameter NOx suhu pemanasan adsorben 400 °C

No	Keterangan	Sampel ( ppm )			Rerata
		1	2	3	
1	Kontrol	13,46	13,33	12,38	13,06
2	0% TiO <sub>2</sub>	9,44	23,86	16,67	16,66
3	5% TiO <sub>2</sub>	10,71	8,83	8,67	9,40
4	10% TiO <sub>2</sub>	11,98	12,47	12,23	12,23
5	15% TiO <sub>2</sub>	14,97	17,96	16,47	16,47



**Gambar 4.5.** Grafik analisis parameter NOx suhu pemanasan adsorben 400 °C

Pada suhu pemanasan 400 °C terlihat adanya kenaikan efisiensi yang cukup signifikan pada konsentrasi 5%. Tetapi pembakaran yang terus menerus serta T mesin yang cukup panas (tinggi) menyebabkan konsentrasi NO<sub>x</sub> meningkat pesat sehingga kemampuan dari adsorben yang konstan tidak mampu untuk mereduksi. Peranan TiO<sub>2</sub> hanya sebagai katalis tidak berpengaruh terhadap efisiensi removal gas buang yang terlihat pada konsentrasi 5% yang lebih baik dibandingkan konsentrasi lainnya. Oleh karena itu perlu dilakukan pengontrolan disetiap variasi konsentrasi. Tujuannya agar antara kontrol dan hasil sampling dapat dibandingkan (*compare*) sehingga efisiensi terlihat jelas.

**Tabel 4.6.** Efisiensi penurunan emisi Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>)

No	Adsorben sentrifugal	Efisiensi (%)			
		0%	5%	10%	15%
1	Pemanasan suhu 200 °C	5,44	-	-	-
2	Pemanasan suhu 300 °C	10,03	-	12,56	-
3	Pemanasan suhu 400 °C	-	28,02	6,36	-

Secara keseluruhan dalam analisa data parameter NO<sub>x</sub> menunjukkan bahwa pada variasi suhu pemanasan adsorben 300 °C mempunyai efisiensi yang relatif stabil. Maksud dari pilarisasi disini adalah berkaitan dengan gambaran struktur pilarisasi yang kuat hingga penyusupan kation berjalan dengan baik. Atom O pada senyawa NO akan berikatan dengan atom Si dalam struktur zeolit dan menghasilkan ikatan antar ion yang membentuk seperti pilar-pilar tergabung

dengan  $\text{TiO}_2$  seperti yang ditunjukkan pada teori konsep pilarisasi. Tidak seperti karbon dan sulfur, nitrogen oksida tidak terpapar dalam bahan bakar walaupun unsur ini sebagian kecil terkandung didalamnya tetapi berasal dari udara melalui proses pembakaran dari senyawa ini. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi pemanasan mesin kendaraan bermotor, maka konsentrasi  $\text{NO}_x$  meningkat pula.

#### 4.3.1.4. Pengaruh (Dampak) Oksida-oksida Nitrogen Terhadap Lingkungan

Gas nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ) ada dua macam, yaitu gas nitrogen monooksida ( $\text{NO}$ ) dan gas nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ). Kedua macam gas tersebut mempunyai sifat yang sangat berbeda dan keduanya sangat berbahaya bagi kesehatan. Pengaruh oksida-oksida nitrogen pada konsentrasi normal atmosferik masih sangat terbatas. Pada konsentrasi dibawah 0,05 ppm, oksida nitrogen tidak menimbulkan efek berbahaya bagi kesehatan. Paparan konsentrasi yang lebih besar akan menyebabkan nitrogen oksida bersifat toksik. Bagian terbesar oksida-oksida nitrogen terbentuk di daerah perkotaan yang paling utama dari senyawa ini adalah  $\text{NO}$  (*nitric oxide*) juga diemisikan dalam jumlah yang cukup besar ke atmosfer  $\text{NO}_x$  biasanya digunakan sebagai satuan komposit oksida-oksida nitrogen di lingkungan.  $\text{NO}_x$  diemisikan dari pembuangan pembakaran (kombusi) pada temperatur tinggi, sebagai hasil dari reaksi nitrogen dengan oksigen. Dengan adanya hidrokarbon, pada siang hari akibat dari adanya radiasi fotonultra violet, senyawa ini akan membentuk ozon fotokimia (*photochemical smog*). Akan tetapi nitrogen monoksida ( $\text{NO}$ ) dalam kadar yang cukup tinggi dapat bereaksi dengan hemoglobin dan mempunyai sifat yang serupa dengan  $\text{CO}$  karena dapat

menghalangi fungsi normal Hb dalam darah. Disamping itu  $\text{NO}_2$  dapat menyebabkan iritasi pada mata dan saluran pernafasan. Sebagai hasil produk bahan-bahan pembakaran, maka nitrogen oksida, khususnya  $\text{NO}_2$  pada kadar 118 sampai 156 mikrogram (0,063-0,083 ppm) selama 6 bulan akan memberikan gangguan terhadap kesehatan. Yang disebut dengan  $\text{NO}_x$  adalah gabungan dari  $\text{NO}$  dan  $\text{NO}_2$ . Sebagai gas  $\text{NO}_2$  berwarna merah coklat, dengan ambang bau antara 0,12-0,22 ppm. Dalam penelitian kali ini dapat diartikan bahwa konsentrasi pencemar  $\text{NO}_x$  tidak melampaui dari baku mutu udara emisi terhadap kendaraan bermotor (sumber bergerak). Nilai ambang batas yang dimaksud menurut KEP.GUB.DIY. No.167 tahun 2003 tentang baku mutu udara emisi sumber bergerak kendaraan bermotor 4 langkah untuk kadar  $\text{NO}_x$  maksimal 700 ppm.

#### **4.3.2 Analisa Pb**

##### **4.3.2.1 Adsorben Sentrifugal Pada Suhu Pemanasan 200 °C**

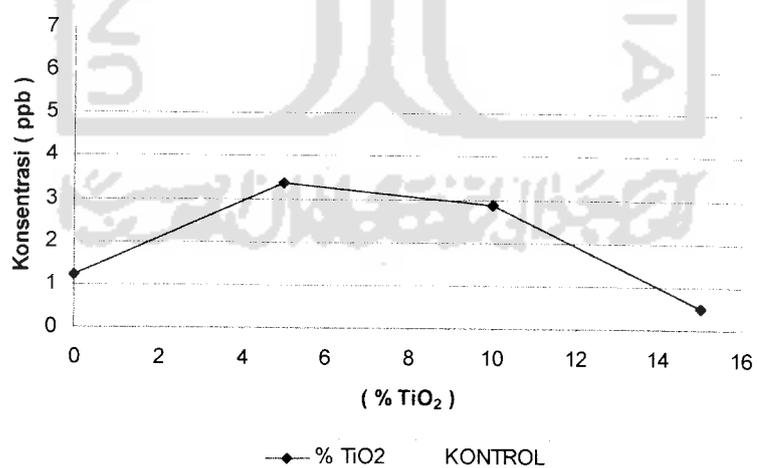
Penyamplangan Pb dilakukan di BTKL (Balai Teknik Kesehatan Lingkungan) dengan menggunakan metode HVS/*High Volume Sampler* dengan lamanya pengukuran 2 menit dan waktu istirahat kendaraan  $\pm$  3 menit yang digunakan untuk persiapan penggantian kertas saring yang telah terkontaminasi partikel-partikel Pb dan penggantian adsorben. Jumlah sampel sama dengan parameter  $\text{NO}_x$  yaitu sebanyak 36 kali dengan 3 kali kontrol awal. Persiapan awal sama seperti pada saat penyamplangan  $\text{NO}_x$  yang dimulai dari kontrol dan dilanjutkan dengan adsorben pemanasan suhu 200 °C. Indikator perubahan pada kertas saring terlihat dengan adanya perubahan dari putih bersih menjadi abu-abu

kecoklatan. Hasil dari analisis Pb pada suhu pemanasan adsorben 200 °C dapat dilihat pada Tabel 4.7 yang menunjukkan konsentrasi Pb awal dan setelah perlakuan.

**Tabel 4.7.** Hasil analisis parameter Pb suhu pemanasan adsorben 200 °C

No	Keterangan	Sampel ( ppb)			Rerata
		1	2	3	
1	Kontrol	4,480	3,900	9,640	6,007
2	0% TiO <sub>2</sub>	2,060	1,510	0,070	1,213
3	5% TiO <sub>2</sub>	2,120	3,480	4,490	3,363
4	10% TiO <sub>2</sub>	2,440	2,570	3,570	2,860
5	15% TiO <sub>2</sub>	0,660	0,310	0,560	0,510

(Sumber :Data Primer 2005)



**Gambar 4.6.** Grafik analisis parameter Pb suhu pemanasan adsorben 200 °C

Mengacu pada hasil grafik analisis bahwa perubahan yang terjadi terhadap konsentrasi Pb awal dan setelah perlakuan (adsorpsi) terjadi penurunan konsentrasi yang cukup baik. Terlihat bahwa dengan variasi konsentrasi 15% terjadi kenaikan efisiensi sebesar 91,51% dari kontrol awal. Disini Dapat dikatakan bahwa dengan konsentrasi  $\text{TiO}_2$  semakin tinggi, maka pemiliran dan rongga yang terbentuk semakin besar sehingga mempengaruhi daya ikat dan kemampuan serap adsorben. Sedangkan pada konsentrasi 0%, 5% dan 10% berturut-turut sebesar 79,8%, 44,02%, 52,39% yang memberikan gambaran bahwa jumlah pilar dan besarnya rongga pada pilarisasi tersebut lebih sedikit dibandingkan dengan konsentrasi 15 %. Disini terlihat bahwa rata-rata pada setiap kenaikan konsentrasi, komponen-komponen Pb yaitu oksida-oksida Pb mengalami peningkatan yang cukup tinggi dibandingkan kontrol awal dengan pemanasan yang berlangsung pada saat pengambilan sampel. Dari tabel ditemukan bahwa terjadi penyimpangan pada kaidah yang dimaksud diatas. Faktor yang menyebabkan terjadinya penurunan efisiensi tersebut salah satunya adalah *human error* yaitu terjadinya kebocoran yang disebabkan pemasangan yang kurang pas antara knalpot rekayasa ke dalam knalpot motor sehingga mempengaruhi konsentrasi yang terserap. Dengan kata lain bahwa tidak seluruhnya emisi yang keluar dari knalpot kendaraan bermotor pada saat sampling dapat ditangkap. Kemungkinan faktor ini terlihat dari data yang didapat menunjukkan perbedaan cukup jauh seperti pada konsentrasi 0 % perulangan ketiga.

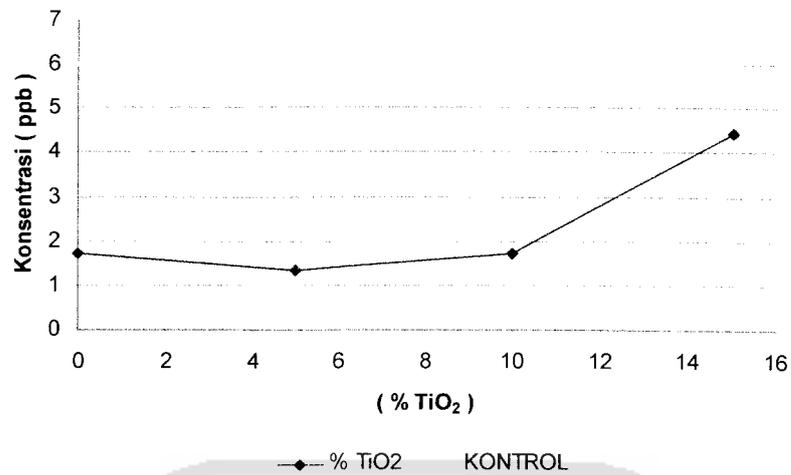
#### 4.3.2.2 Adsorben Sentrifugal Pada Suhu Pemanasan 300 °C

Pada pemanasan suhu adsorben 300 °C terjadi penurunan konsentrasi partikel Pb yang terlihat pada perubahan warna pada kertas saring yang lebih pupus (lebih muda) dibandingkan dengan suhu adsorben pemanasan 200 °C. Pada adsorben suhu pemanasan ini proses pilarisasi yang dalam hal ini penyisipan atom-atom Pb berjalan lebih baik yang disebabkan karena pilar-pilar yang terbentuk memiliki rongga lebih banyak serta kokoh dalam menerima elektron sehingga kemampuan adsorpsi menjadi baik pula.

Hasil dari analisis Pb pada adsorben pemanasan suhu 300 °C dapat dilihat pada tabel 4.8 yang memperlihatkan bahwa kecenderungan komponen oksida-oksida Pb ( $PbO_x$  dan  $PbCO_3 \cdot 2PbO$ ) meningkat drastis menggantikan komponen utama  $PbBrCl$  dan  $PbBrCl \cdot 2PbO$ . Berikut disajikan tabel dan grafik pada pemanasan adsorben 300 °C :

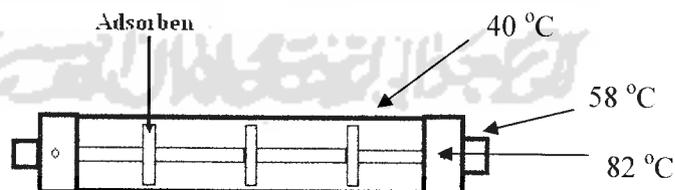
**Tabel 4.8.** Hasil analisis parameter Pb suhu pemanasan adsorben 300 °C

No	Keterangan	Sampel ( ppb)			Rerata
		1	2	3	
1	Kontrol	4,480	3,900	9,640	6,007
2	0% $TiO_2$	1,300	0,520	3,310	1,710
3	5% $TiO_2$	0,200	2,730	1,110	1,347
4	10% $TiO_2$	0,790	2,640	1,715	1,715
5	15% $TiO_2$	4,440	3,140	5,740	4,440



**Gambar 4.7.** Grafik analisis parameter Pb suhu pemanasan adsorben 300 °C

Dari grafik di atas terlihat bahwa terjadi penurunan efisiensi pada variasi konsentrasi 5% sebesar 77,58%. Hal ini dikatakan cukup baik jika dibandingkan dengan efisiensi berturut-turut konsentrasi 0%, 10% dan 15% yaitu sebesar 71,53%, 71,45% dan 26,09%. Akan tetapi jika dibandingkan dengan adsorben sentrifugal pada pemanasan suhu 200 °C, dapat dikatakan bahwa variasi konsentrasi pada suhu 300 °C lebih stabil karena polarisasi pada zeolit dan TiO<sub>2</sub> sebagai adsorben akan optimal pada suhu pemanasan 300 °C. Zeolit sebagai adsorben berfungsi sebagai penyerap pada suhu pembakaran dibawah 200 °C.



**Gambar 4.8.** Suhu knalpot pada saat penyamplingan

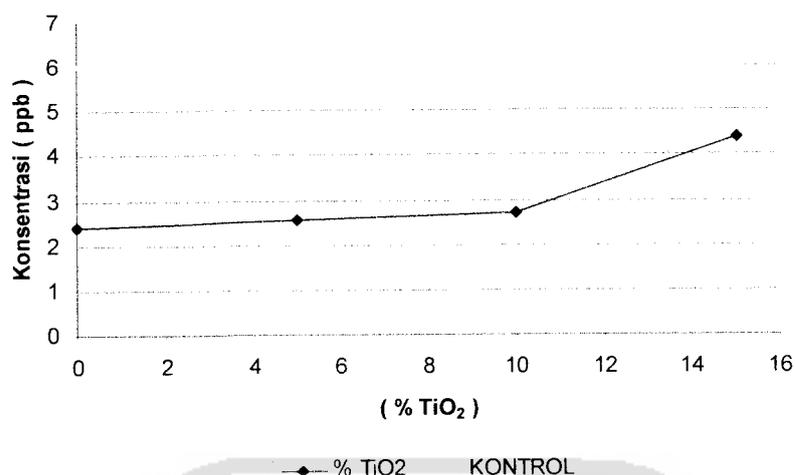
#### 4.3.2.3 Adsorben Sentrifugal Pada Suhu Pemanasan 400 °C

Dari data yang ditunjukkan pada tabel 4.9 terlihat bahwa pilarisasi TiO<sub>2</sub> dalam zeolit tidak cukup stabil pada suhu 400 °C dalam mereduksi gas buang emisi kendaraan bermotor. Faktor-faktor yang berpengaruh lebih karena kandungan bahan additif yang ditambahkan ke dalam bahan bakar (premium). Kertas saring memperlihatkan warna yang sedikit lebih gelap bila dibandingkan dengan hasil analisa pada adsorben suhu pemanasan 200 °C yang menunjukkan konsentrasi pencemar lebih tinggi (meningkat). Hasil analisis ditunjukkan pada tabel 4.9 yang menggambarkan bahwa kecenderungan komponen oksida Pb meningkat menjadi lebih jelas. Berikut data dan tabel hasil analisa pada suhu pemanasan adsorben 400 °C.

Tabel 4.9. Hasil analisis parameter Pb pada suhu pemanasan 400 °C

No	Keterangan	Sampel ( ppb)			Rerata
		1	2	3	
1	Kontrol	4,480	3,900	9,640	6,007
2	0% TiO <sub>2</sub>	3,470	2,300	1,500	2,423
3	5% TiO <sub>2</sub>	1,640	3,260	2,820	2,573
4	10% TiO <sub>2</sub>	1,780	3,200	3,170	2,717
5	15% TiO <sub>2</sub>	4,410	3,450	5,370	4,410

(Sumber :Data Primer 2005)



**Gambar 4.9.** Grafik analisis parameter Pb pada suhu pemanasan adsorben 400 °C

Pada pemanasan adsorben suhu 400 °C, terjadi penurunan efisiensi berturut-turut dari 0%, 5%, 10%, dan 15% adalah 59,66%, 57,17%, 54,77%, dan 26,59%. Dari ketiga grafik tersebut di atas terlihat bahwa pada konsentrasi 15% terjadi penurunan efisiensi yang cukup drastis dari 91,51% (suhu pemanasan 200 °C) ke 26,59% (suhu pemanasan 400 °C). Data yang menunjukkan adalah perbedaan yang cukup mencolok dari konsentrasi 10 % ke 15 %. Seperti yang telah disebutkan pada pembahasan suhu pemanasan adsorben 300 °C bahwa fenomena menunjukkan terjadinya peningkatan komponen oksida Pb sehingga dengan kemampuan adsorpsi yang sama akan terlihat perbedaan yang cukup signifikan. Termasuk juga didalamnya kesalahan eksternal seperti *human error* pada pemasangan knalpot rekayasa. Data yang menunjukkan gejala seperti yang disebutkan di atas adalah perbedaan yang cukup mencolok dari konsentrasi 10 % ke 15 %. Sama halnya seperti analisa NO<sub>x</sub>, maka diperlukan kontrol kontinu untuk mendapatkan akurasi efisiensi yang lebih baik.

Berikut ini adalah efisiensi penurunan Pb terhadap variasi suhu pemanasan dan konsentrasi  $\text{TiO}_2$  secara keseluruhan pada Tabel 4.10 berikut ini:

**Tabel 4.10.** Efisiensi penurunan pencemar Pb

No	Adsorben sentrifugal	Efisiensi (%)			
		0%	5%	10%	15%
1	Pemanasan suhu 200 °C	79,81	44,02	52,39	91,51
2	Pemanasan suhu 300 °C	71,53	77,58	71,45	26,09
3	Pemanasan suhu 400 °C	59,66	57,17	54,77	26,59

Berdasarkan hasil analisa efisiensi removal parameter Pb di atas, dapat disimpulkan bahwa penurunan emisi gas buang khusus pada parameter ini sama sekali tidak berpengaruh terhadap konsentrasi  $\text{TiO}_2$  yang hanya berperan sebagai katalis sehingga tidak menjamin semakin banyak konsentrasi katalis ini akan semakin baik efisiensi penurunan emisi parameter Pb yang terlihat dalam data adsorben tanpa  $\text{TiO}_2$  (murni).

#### 4.3.2.4 Dampak (Pengaruh) Timah Hitam (Pb) Terhadap Lingkungan

Selain dalam bentuk logam murni, timbal dapat ditemukan dalam bentuk senyawa inorganik dan organik. Semua bentuk Pb tersebut berpengaruh sama terhadap toksisitas pada manusia. Bentuk organik seperti tetra ethyl Pb dan tetra methyl Pb (TEL dan TML), menyebabkan pengaruh toksisitas yang sama, tetapi agak berbeda dengan bentuk senyawa inorganik-Pb.

Timbal adalah logam toksik yang bersifat kumulatif sehingga mekanisme toksisitasnya dibedakan menurut beberapa organ yang dipengaruhinya yaitu sebagai berikut:

- a. sistem hemopoietik : Pb menghambat sistem pembentukan hemoglobin sehingga menyebabkan anemia.
- b. Sistem saraf pusat dan tepi : dapat menyebabkan gangguan ensefalopati dan gejala gangguan saraf perifer.
- c. Sistem ginjal : dapat menyebabkan aminoasiduria, fosfaturia, glukosuria, nefropati, fibrosis, dan atrofi glomerular.
- d. Sistem reproduksi : dapat menyebabkan kematian janin waktu melahirkan pada wanita serta hipospermi dan teratospermi pada pria.
- e. Sistem indokrin : mengakibatkan gangguan fungsi tiroid dan fungsi adrenal.

Penelitian epidemiologi toksisitas Pb telah banyak dilaporkan terutama toksisitas Pb secara kronis. Penelitian banyak dilaporkan mengenai gejala klinis toksisitas Pb kronis pada anak dan orang dewasa dan juga kadar Pb dalam darah, rambut, dan kuku. Penelitian lebih banyak dilakukan pada orang yang hidup di daerah perkotaan dan daerah industri serta pertambangan. Rothenberg dkk (1993) melaporkan mengenai kadar Pb dalam darah anak sampai usia 3 tahun di kota Mexico. Bolger (1996) juga melaporkan mengenai kandungan Pb pada anak di Amerika. Pada orang dewasa dilaporkan oleh Carrington dkk (1996) mengenai analisis resiko diet yang mengandung Pb pada ibu hamil. Disamping itu, Yoshimoto (1982) melaporkan mengenai kadar Pb darah pada pekerja di jalan

raya dan pabrik alat listrik di Tokyo, Jepang. Dari studi epidemiologi toksisitas Pb kronis maka jelaslah bahwa pengaruh Pb ini berbeda menurut umur dan kondisi penderita.

Gejala klinis keracunan Pb pada anak berbeda dengan orang dewasa. Kerusakan saraf perifer (saraf tepi) lebih mengalami kerusakan saraf pusat dari pada yang dialami oleh anak-anak. Gejala yang terlihat pada anak-anak tersebut ialah :

1. Nafsu makan berkurang
2. Sakit perut dan muntah-muntah
3. Bergerak terasa kaku
4. Gangguan pertumbuhan otak (ensefalopati)
5. Koma

(Darmono, 2001)

#### 4.4 Uji Hipotesa

Dari hasil analisa data kualitatif menunjukkan bahwa pengaruh putaran mesin dan kandungan TEL/TML berperan besar dalam membentuk konsentrasi pencemar yang tinggi. Semakin besar pengaruh tersebut, maka semakin tinggi pula konsentrasi pencemar yang disebabkan pembakaran pada temperatur yang lebih tinggi. Pada NO<sub>x</sub> pengaruh suhu (T) mesin kendaraan bersifat linier terhadap konsentrasi pencemar, begitu pula dengan oksida-oksida Pb karena dalam penyerapannya pada media adsorben melibatkan atom-atom oksigen. Konsentrasi TiO<sub>2</sub> penyusun adsorben sangat dipengaruhi oleh pembentukan pilar

pada saat pemanasan sehingga sangat rentan akan kerapuhan pilar tersebut. Kelebihan atau kekurangan dari temperatur yang ingin dicapai dapat merusak struktur pilarisasi. Dalam penelitian ini kecenderungan mengarah pada konsentrasi  $\text{TiO}_2$  10 % (suhu 300 °C) yang relatif stabil dalam menurunkan konsentrasi pencemar.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian dan mendapatkan data-data mengenai hubungan antara variabel bebas (suhu pemanasan dan konsentrasi  $\text{TiO}_2$ ) terhadap perlakuan adsorben, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Penurunan konsentrasi emisi gas buang  $\text{NO}_x$  dan Pb secara garis besar sudah cukup baik terutama pada parameter Pb dimana terjadi penurunan disetiap variabel baik suhu pemanasan maupun konsentrasi  $\text{TiO}_2$ . Akan tetapi dengan turunnya/lebih kecil suhu pemanasan tidak berpengaruh besar terhadap penurunan removal gas buang karena  $\text{TiO}_2$  hanya sebagai katalis dan suhu pemanasan pada dasarnya untuk menghilangkan kadar air dalam zeolit (adsorben).
2. Kemampuan dari adsorben dalam menurunkan emisi gas buang sangat bergantung kepada pilar-pilar yang terbentuk. Karena pilar yang kokoh akan dengan mudah tersisipi oleh atom-atom zat pencemar ( $\text{NO}_x$  dan Pb) sehingga fungsi dari adsorben berjalan dengan baik. Dalam hal ini khusus parameter  $\text{NO}_x$  adsorpsi yang berlangsung baik adalah pada pemanasan suhu adsorben  $300\text{ }^\circ\text{C}$  yaitu efisiensi adsorpsi dapat terbaca dua kali bila dibandingkan dengan suhu pemanasan adsorben  $200\text{ }^\circ\text{C}$  dan  $400\text{ }^\circ\text{C}$ . Akan tetapi pada parameter Pb hampir semua variabel dapat terbaca hanya saja

tergantung pada kondisi struktur pilar terbentuk yang tidak konstan disetiap suhu pemanasan.

3. Dalam penelitian ini digunakan jumlah adsorben sentrifugal berjumlah tiga. Melihat hasil data dan grafik yang didapat serta fungsi dari adsorpsi maka semakin banyak jumlah adsorben, dapat dikatakan reduksi terhadap emisi gas buang lebih baik karena waktu kontak polutan akan lebih lama terhadap media.
4. Efisiensi yang baik pada penurunan gas buang parameter NO<sub>x</sub> secara umum adalah pada suhu pemanasan 300 °C dan pada konsentrasi TiO<sub>2</sub> 10% yang menunjukkan efisiensi terbesar (12,56 %) dan paling stabil dibandingkan variasi suhu pemanasan yang lain. Sedangkan parameter Pb secara umum dapat dikatakan suhu pemanasan 200 °C dan 300 °C relatif stabil dibandingkan suhu pemanasan 400 °C. Walaupun pada konsentrasi TiO<sub>2</sub> 15 % terjadi penurunan efisiensi yang cukup mencolok hingga 26,09 %.
5. Berdasarkan data analisa menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi TiO<sub>2</sub> tidak menjamin akan terjadinya adsorpsi yang baik. Dapat dikatakan pilar dalam konsentrasi tinggi semakin tidak stabil dalam pembentukan struktur pilarisasi.
6. Nilai optimal keseluruhan reduksi emisi gas kendaraan bermotor dengan parameter CO, HC, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, Pb dan Partikel oleh adsorben zeolit terpillarisasi TiO<sub>2</sub> dengan menggunakan gaya sentrifugal terletak pada suhu pemanasan 300 °C dengan 10% TiO<sub>2</sub>.

## 5.2 Saran

Peneliti menyadari bahwa masih banyak terdapat kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini yang disebabkan karena *human error* serta kurang lengkapnya data baik data primer maupun data sekunder. Oleh sebab itu peneliti mengajukan beberapa saran yang dikira penting, antara lain sebagai berikut :

1. Perlu adanya kontrol berkala khususnya pada parameter NO<sub>x</sub> disetiap variasi suhu pemanasan dan konsentrasi TiO<sub>2</sub> sehingga data yang didapatkan lebih akurat.
2. Pemilihan alternatif perekat baru agar menemukan struktur yang lebih kuat dalam pembentukan pilar-pilar pada adsorben.
3. Pembuatan adsorben secara mekanik agar adsorben yang terbentuk simetris baik struktur maupun ukuran.
4. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan metode adsorben sentrifugal supaya diperhatikan sistem rotasi yang akan menimbulkan gaya sentrifugal dalam menurunkan konsentrasi pencemar. Semakin baik rotasi adsorben, maka gaya sentrifugal akan semakin sempurna.
5. Hendaknya pemerintah lebih memperhatikan masalah polusi udara khususnya sumber pencemar emisi kendaraan bermotor, seperti kota-kota besar layaknya yogyakarta yang cukup tinggi polusi udaranya melalui pendekatan-pendekatan teknologi baru seperti metode adsorben sentrifugal.

6. Diharapkan penggunaan bahan bakar yang mengandung Pb (TEL dan TML) supaya tidak diproduksi lagi dikarenakan toksisitasnya yang tinggi.
7. Perlu diberlakukan secara periodik revisi baku mutu udara emisi sumber bergerak berkaitan dengan semakin meningkatnya produksi kendaraan bermotor.



## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1997, *Zeolit*, Dinas Pertambangan, Yogyakarta
- Brady, James E., dkk, *Kimia Universitas Asas dan Struktur*,
- Darmono, 2001, *Lingkungan Hidup dan Pencemaran"Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam"* , UI-Press, Jakarta
- Davis, Mackenzie L., and Cornwell, David A., 1998, *Introduction To Environmental Engineering*, McGraw-Hill,
- Fardiaz, Srikandi, 1992, *Polusi air dan Udara*, Kanisius, Yogyakarta.
- Henry, Glynn and Heinke, Garry W, 1996, *Environmental science and engineering*, Prantice Hall PTR, Upper Saddle River, New Jersey.
- KEP. GUB. DIY. No.167 Tahun 2003, "*BAKU MUTU UDARA EMISI SUMBER BERGERAK KENDARAAN BERMOTOR DI PROP. DIY*", BAPEDALDA, DIY, 2004.
- KEP. GUB. DIY. No.182 Tahun 2003, "*PROGRAM LANGIT BIRU DI PROP. DIY*", BAPEDALDA, DIY, 2004.
- Margono, dkk, 1991, *Pedoman Pengajar Mata Pelajaran Kimia Lingkungan, Pusat Pendidikan Tenaga Kesehatan*, DEPKES R.I., Jakarta
- Moestikahadi Soedomo, Dr., Ir., M.Sc., DEA, 2001, *Kumpulan karya ilmiah "Pencemaran Udara"*, ITB, Bandung.
- Oesmani, A Golda., 2004, "*Perbandingan Pengaruh Kadar Kerosin Dalam Premium Terhadap Emisi Gas NOx Kendaraan Bermotor Roda Dua Pada RPM Tinggi dan Rendah*", STTL, Yogyakarta.

Palar, Heryando.Drs, 1994, *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*, Rineka Cipta, Jakarta.

Pertamina, 1991, *Komposisi Minyak Bumi*, Jakarta

Pertamina, 2003, *Fraksi Tertentu Dari Distilasi Langsung Minyak Bumi*, Jakarta

Petrucci, Ralph H., Suminar, 1989, *Prinsip dan Terapan Modern Kimia Dasar*, Erlangga, Jakarta.

Rohmanti, I., 2005, Skripsi, *Rekayasa Zeolit Dengan Katalis  $TiO_2$  Terhadap Penurunan Gas Buang  $SO_x$  Pada Knalpot Kendaraan Bermotor Mesin 2 Tak*, STTL, Yogyakarta

Wardhana, Wisnu A., 1995, *Dampak Pencemaran Lingkungan*, Andi Offset, Yogyakarta.

Yulisa, F., 2004, Skripsi, *Penurunan Kadar  $SO_x$  Pada Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Bahan Bakar Solar Dengan Menggunakan Karbon Aktif Yang Diimpregnasi Titanium Oksida*, STTL, Yogyakarta





**LAMPIRAN 1**

**KEP.GUB.DIY. No.167 TAHUN 2003 TENTANG  
BAKU MUTU SUMBER EMISI BERGERAK**



**GUBERNUR DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA  
KEPUTUSAN GUBERNUR  
DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA  
NOMOR 167 TAHUN 2003**

**TENTANG  
BAKU MUTU EMISI SUMBER BERGERAK  
KENDARAAN BERMOTOR  
DI PROPINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA  
GUBERNUR DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA,**

- Menimbang :**
- a. bahwa pencemaran udara yang diakibatkan oleh meningkatnya jumlah kendaraan bermotor dapat berakibat pada penurunan kualitas udara;
  - b. bahwa Baku Mutu Lingkungan Daerah untuk Wilayah Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta khususnya Sumber Bergerak Baku Mutu Emisi Gas dan Partikel Buang sebagaimana ditetapkan dalam Keputusan Gubernur Kepala Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 214/KPTS/1991 sudah tidak sesuai lagi dengan perkembangan saat ini sehingga perlu ditinjau;
  - c. bahwa berdasarkan pertimbangan-pertimbangan sebagaimana dimaksud dalam huruf a dan b di atas perlu menetapkan Keputusan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta tentang Baku Mutu Emisi Sumber Bergerak Kendaraan Bermotor di Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta;
- Mengingat :**
1. Undang-undang Nomor 3 Tahun 1950 tentang Pembentukan Daerah Istimewa Yogyakarta dan Peraturan Pemerintah Nomor 31 Tahun 1950 sebagaimana telah diubah dan ditambah terakhir dengan Undang-undang Nomor 26 Tahun 1959;
  2. Undang-undang Nomor 14 Tahun 1992 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan;
  3. Undang-undang Nomor 23 Tahun 1992 tentang Kesehatan;
  4. Undang-undang Nomor 23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup;
  5. Undang-undang Nomor 22 Tahun 1999 tentang Pemerintahan Daerah;
  6. Peraturan Pemerintah Nomor 42 Tahun 1993 tentang Pemeriksaan Kendaraan Bermotor di Jalan;
  7. Peraturan Pemerintah Nomor 44 Tahun 1993 tentang Kendaraan dan Pengemudi;
  8. Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara;
  9. Peraturan Pemerintah Nomor 25 Tahun 2000 tentang Kewenangan Pemerintah dan Kewenangan Propinsi sebagai Daerah Otonom;
  10. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor Kep 35/MENLH/10/1993 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor;
  11. Peraturan Daerah Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 4 Tahun 2001 tentang Pembentukan dan Organisasi Lembaga Teknis Daerah di Lingkungan Pemerintah Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Keputusan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 89 Tahun 2001 tentang Uraian Tugas dan Tata Kerja Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Daerah Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta;

12. Peraturan Daerah Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 10 Tahun 2001 tentang Penyelenggaraan Angkutan Orang di Jalan dengan Kendaraan Umum di Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta;
13. Keputusan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 153 Tahun 2002 tentang Baku Mutu Udara Ambien Daerah di Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta;

**MEMUTUSKAN :**

**Menetapkan :** KEPUTUSAN GUBERNUR DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA TENTANG BAKU MUTU EMISI SUMBER BERGERAK KENDARAAN BERMOTOR DI PROPINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA.

**BAB I  
KETENTUAN UMUM  
Pasal 1**

Dalam Keputusan ini yang dimaksud dengan :

1. Gubernur adalah Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta.
2. Emisi Sumber Bergerak adalah gas buang dari sumber kendaraan bermotor sebagai hasil proses pembakaran di ruang mesin.
3. Baku Mutu Emisi adalah ukuran batas atau kadar zat, dan/atau komponen yang ditenggang keberadaannya dalam emisi.
4. Kendaraan bermotor adalah kendaraan yang digerakkan oleh peralatan teknik yang berada pada kendaraan itu.
5. Baku Mutu Emisi Sumber Bergerak Kendaraan Bermotor adalah batas maksimum zat atau bahan pencemar yang boleh dikeluarkan langsung dari pipa gas buang kendaraan bermotor.
6. Sepeda motor adalah kendaraan bermotor beroda dua, atau tiga tanpa rumah-rumah baik dengan atau tanpa kereta samping.
7. Mobil penumpang adalah setiap kendaraan bermotor yang dilengkapi sebanyak-banyaknya 8 (delapan) tempat duduk tidak termasuk tempat duduk pengemudi, baik dengan maupun tanpa perlengkapan pengangkutan bagasi.
8. Mobil bus adalah setiap kendaraan bermotor yang dilengkapi lebih dari 8 (delapan) tempat duduk tidak termasuk tempat duduk pengemudi, baik dengan maupun tanpa perlengkapan pengangkutan bagasi.
9. Mobil barang adalah setiap kendaraan bermotor selain dari yang termasuk dalam sepeda motor, mobil penumpang dan mobil bus.
10. Kendaraan khusus adalah kendaraan bermotor selain dari pada kendaraan bermotor untuk penumpang dan kendaraan bermotor untuk barang, yang penggunaannya untuk keperluan khusus atau mengangkut barang-barang khusus.

**BAB II  
MAKSUD DAN TUJUAN**

**Pasal 2**

- (1) Maksud ditetapkannya Keputusan ini adalah untuk menentukan Baku Mutu Emisi Sumber Bergerak Kendaraan Bermotor.
- (2) Tujuan ditetapkannya Keputusan ini adalah untuk memberikan batasan Mutu Emisi yang boleh dibuang ke lingkungan akibat Emisi Sumber Bergerak Kendaraan Bermotor.

**BAB III  
BAKU MUTU EMISI SUMBER BERGERAK  
KENDARAAN BERMOTOR**

**Pasal 3**

Baku Mutu Emisi Sumber Bergerak Kendaraan Bermotor di Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta sebagaimana tercantum dalam Lampiran Keputusan ini.

#### Pasal 4

Setiap jenis kendaraan bermotor yang beroperasi di Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta wajib memenuhi Baku Mutu Emisi sebagaimana dimaksud pada pasal 3 Keputusan ini.

#### Pasal 5

Pelanggaran terhadap Keputusan ini akan dikenakan sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

### BAB IV METODE PENGUKURAN

#### Pasal 6

- (1) Metode pengukuran untuk emisi gas buang kendaraan bermotor berbahan bakar bensin diukur dalam kondisi idle.
- (2) Metode untuk mengukur emisi gas buang kendaraan bermotor berbahan bakar solar diukur pada percepatan bebas.

### BAB V PENUTUP

#### Pasal 7

Baku Mutu Emisi Sumber Bergerak Kendaraan Bermotor di Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 Keputusan ini dapat ditinjau kembali dalam jangka waktu 5 (lima) tahun.

#### Pasal 8

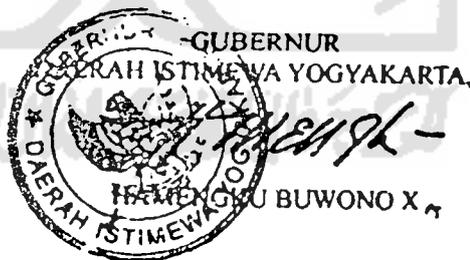
Dengan berlakunya Keputusan ini, maka Keputusan Gubernur Kepala Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 214/KPTS/1991 tentang Baku Mutu Lingkungan Daerah untuk wilayah Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dinyatakan tidak berlaku, sepanjang berkaitan dengan Baku Mutu Emisi Gas dan Partikel buang khususnya Sumber Bergerak.

#### Pasal 9

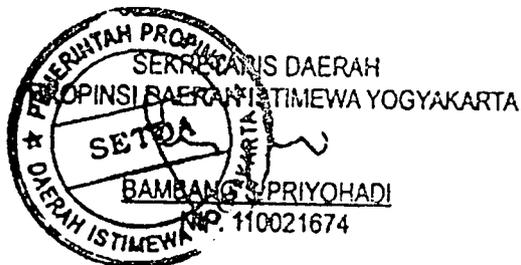
Keputusan ini mulai berlaku pada tanggal diundangkan.

Agar setiap orang dapat mengetahuinya memerintahkan pengundangan Keputusan ini dengan penempatannya dalam Lembaran Daerah Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.

Ditetapkan di Yogyakarta  
pada tanggal 23 Desember 2003



Diundangkan di Yogyakarta  
pada tanggal 23 Desember 2003



LEMBARAN DAERAH PROPINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA  
TAHUN 2003 NOMOR 41 SERI E

**BAKU MUTU EMISI SUMBER BERGERAK KENDARAAN BERMOTOR  
 DI PROPINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA**

Jenis Sumber Emisi	CO (%)	Hidrokarbon (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)	Pb (ppb)	Opasitas
1	3	4	5	7	8
<b>Kendaraan Bermotor</b>					
<b>A. Sepeda Motor</b>					
a. 2 langkah	4,5	3.000	850	10	30 % ( D= 102 mm )
b. 4 langkah	4,5	2.400	700	10	-
<b>B. Kendaraan Bermotor selain Sepeda Motor                      Berbahan Bakar Bensin</b>					
<b>a. Kendaraan 2 langkah</b>					
- Mobil penumpang	4,5	3.000	850	10	30 % ( D= 102 mm )
- Mobil barang	4,5	3.000	850	10	30 % ( D= 102 mm )
<b>b. Kendaraan 4 langkah</b>					
<b>1. Sistem Carburator</b>					
- Mobil penumpang	4,5	1.200	350	10	-
- Mobil bus	4,5	1.200	350	10	-
- Mobil barang	4,5	1.200	350	10	-
- Kendaraan khusus	4,5	1.200	350	10	-
<b>2. Sistem Injeksi</b>					
- Mobil penumpang	3,5	800	221	10	-
- Mobil bus	3,5	800	221	10	-
- Mobil barang	3,5	800	221	10	-
- Kendaraan khusus	3,5	800	221	10	-
<b>C. Kendaraan 4 langkah Berbahan Bakar Solar</b>					
- Mobil penumpang	-	-	830	-	25 % ( D = 102 mm ) ( 50 % Bosch )
- Mobil bus	-	-	830	-	25 % ( D = 102 mm ) ( 50 % Bosch )
- Mobil barang	-	-	830	-	25 % ( D = 102 mm ) ( 50 % Bosch )
- Kendaraan khusus	-	-	830	-	25 % ( D = 102 mm ) ( 50 % Bosch )

GUBERNUR  
 DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA,  
  
 HAMENGGU BUWONO X

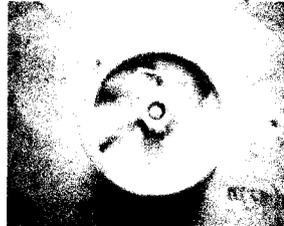


## Lampiran alat-alat penelitian

### Proses Mencetak Adsorben



(a) Model Cetakan



(b) As dan tulangan dalam



(c) Adsorben



(d) Pengikisan (*finishing*) Adsorben



(e) Adsorben yang telah diaktifkan

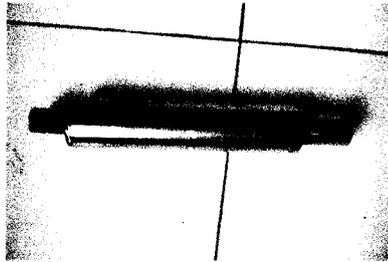
### Kegiatan Pembuatan Adsorben



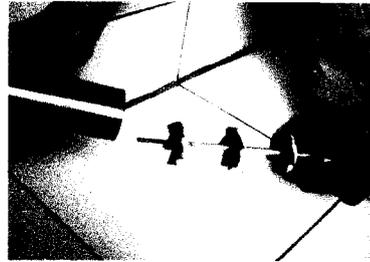
Proses pencetakan adsorben hingga proses pengikisan (*finishing*) media adsorben

## Lampiran alat-alat penelitian

### Reaktor dan Alat Penunjang



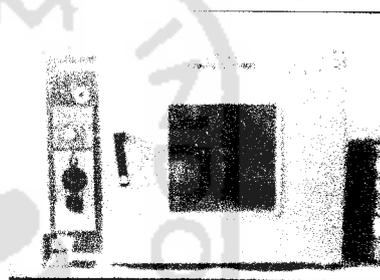
(a) Reaktor



(b) Susunan adsorben dalam reaktor



(c) Homogenizer



(d) Furnace

### Alat Analisa Nitrogen Oksida



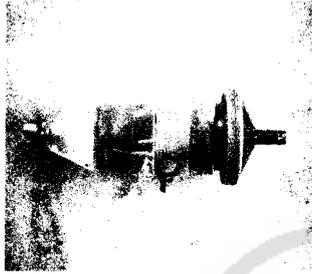
(a) Pengisian tabung impinger dengan reagent penyerap



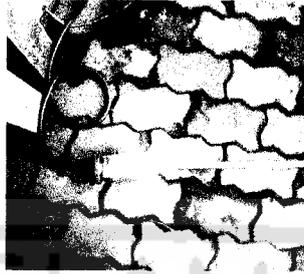
(b) penyamplingan NOx

## Lampiran alat-alat penelitian

### Alat Analisa Pb



(a) Filter holder



(b) Stack filter holder



(c) Flow meter



(d) Bukaan filter holder

### Pengambilan sampel Pb



Kegiatan pengambilan sampel untuk konsentrasi Pb dengan alat Hi-vol

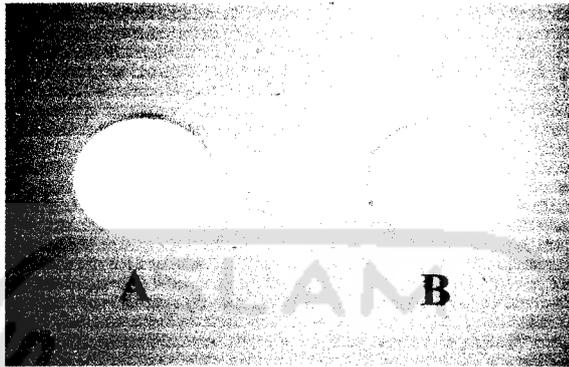


**LAMPIRAN 3**

**HASIL KEGIATAN PENELITIAN**

## Lampiran hasil kegiatan penelitian

### Kertas Saring Serat Gelas Kertas



(A) Sebelum dan; (B) sesudah menyerap gas buang

### Adsorben Zeolit Terpilar $\text{TiO}_2$



(A) Sebelum dan; (B) sesudah menyerap gas buang



**LAMPIRAN 4**  
**PERHITUNGAN TITIK JENUH TEORITIS**

## Lampiran. Perhitungan Titik Jenuh Teoritis

Dari keenam parameter yang diteliti oleh :

- Aldy H K (NO<sub>x</sub> dan Pb)
- Meidy P (SO<sub>x</sub> dan HC)
- Gatot P A (CO dan Partikel)

Diketahui zeolit dengan konsentrasi TiO<sub>2</sub> 10% pada suhu 300°C merupakan nilai yang terbaik dibandingkan dengan konsentrasi TiO<sub>2</sub> 5% dan 15% serta suhu pengaktifan 200°C dan 400°C.

Diketahui :

Nilai konsentrasi pada suhu 300°C dan 10% TiO<sub>2</sub>

Parameter	Kontrol(ppm)	outlet(ppm)	Selisih (ppm)
CO	29.000	13.400	15.600
HC	65,67	37,00	28,67
NO <sub>x</sub>	13,06	11,42	1,64
SO <sub>x</sub>	2,55	0,07	2,48
Pb	0,006	0,0017	0,0043
Partikel	11,85	4,25	7,6
		jumlah	15.640,3943

Q knalpot : 1 l/men (asumsi)

Pemakaian motor per hari : 2jam/hr (asumsi)

Daya serap zeolit (berat equivalen efektif) : 67,79%

Berat lempeng adsorben : @ 13,25 gram x 3 = 39,75 gram

$$\text{Nilai titik jenuh teoritis} = \frac{X}{Y}$$

X = Jumlah berat lempeng x berat equivalen efektif

$$X = 39,75 \text{ gram} \times 67,79\%$$

$$X = 26,947 \text{ gram}$$

Y = Q knalpot x Pemakaian motor perhari x  $\sum$  selisih konsentrasi emisi

$$Y = 1 \text{ l/men} \times 120 \text{ men/hr} \times 15.640,3943 \text{ mg/m}^3 \times \frac{1000 \mu\text{g}}{1 \text{ mg}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{10001}$$

$$Y = 1.876.847,316 \mu\text{g/hr}$$

$$Y = 1,877 \text{ gram/hr}$$

$$\therefore \text{ nilai titik jenuh teoritis} = \frac{X}{Y} = \frac{26,947 \text{ gram}}{1,877 \text{ gram/hr}} = 14,358 \text{ hr} \approx 14 \text{ hari}$$

## Lampiran. Perhitungan Titik Jenuh Teoritis

Perhitungan biaya operasi penggunaan adsorben zeolit terpilariasi TiO<sub>2</sub>

- Zeolit dengan konsentrasi TiO<sub>2</sub> 10%  
Zeolit 1 kg = Rp 3000,00  
TiO<sub>2</sub> 1kg = Rp 25.000,00  
1 lempeng adsorben, terdiri :  
zeolit = 13,112 gram x 1 kg/1000 gram x Rp 3000,00  
= Rp 39,35,-  
TiO<sub>2</sub> = 1,325 gram x 1 kg/1000 gram x Rp 25.000,00  
= Rp 33,125,-
- Mur = @ Rp 50,00
- Tulangan dalam = @ Rp 25,00

Jadi biaya operasi penggunaan adsorben zeolit terpilariasi TiO<sub>2</sub>/14 hari  
= 3 lempeng x (Rp 39,35,- + Rp 33,125,- + Rp 50,00 + 25,00)/lempeng  
= Rp 442,425,-/14 hari

