

TA/TL/2005/0031

PERPUSTAKAAN FTSP UII	
HADIAN/BELI	
TGL. TERIMA :	14 September 2005
NO. JUDUL :	001771
NO. INV. :	572000174001
NO. INDUK. :	

TUGAS AKHIR

REDUKSI KADAR SULFUR OKSIDA (SO_x) DAN HIDROKARBON (HC) PADA EMISI GAS BUANG KENDARAAN BERMOTOR DENGAN METODE SENTRIFUGAL TiO_2 TERPILARISASI DALAM ZEOLIT

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

KS

628 52

Pra

r

1



xvii, 81 p. Bibl. Camp. 28

Oleh:

Nama : Meidy Prasetyadi

No. Mahasiswa: 99 513 013

Program Studi : Teknik Lingkungan

• Penelitian dan Ujicoba

• Kadar sulfur oksida & hidrokarbon

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

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

REDUKSI KADAR SULFUR OKSIDA (SO_x) DAN HIDROKARBON (HC) PADA EMISI GAS BUANG KENDARAAN BERMOTOR DENGAN METODE SENTRIFUGAL TiO₂ TERPILARISASI DALAM ZEOLIT

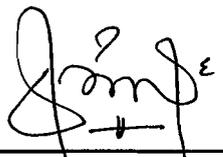
Nama : Meidy Prasetyadi
No. Mahasiswa : 99.513.013
Program Studi : Teknik Lingkungan

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

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

REDUKSI KADAR SULFUR OKSIDA (SO_x) DAN HIDROKARBON (HC) PADA EMISI GAS BUANG KENDARAAN BERMOTOR DENGAN METODE SENTRIFUGAL TiO₂ TERPILARISASI DALAM ZEOLIT

Disusun dan dipersiapkan oleh :

MEIDY PRASETYADI
99.513.013

Telah disetujui dan disahkan oleh :
Pusat Penelitian Pengembangan Teknologi Maju
(P3TM – BATAN) Jogjakarta pada tanggal dan dinyatakan
telah memenuhi persyaratan

Mengesahkan

Kepala Bidang Teknofisikokimia

Pembimbing P3TM – BATAN


(Dr. Drs. Ir. Kris Tri Basuki M.Sc. APU)
NIP : 330002043


(Dr. Drs. Ir. Kris Tri Basuki M.Sc. APU)
NIP : 330002043

Yogyakarta,.....2005

Mengetahui
Kepala P3TM – BATAN Jogjakarta




(Dr. Sudjatmoko, SU, APU)
NIP : 330001101

ABSTRACT

Air pollution in Indonesia represent the problem which serious enough especially felt in metropolis, the mentioned marked by downhill air quality to storey level which enough concern and have brought the impact of trouble of health and also freshment to human being beside the happening of damage to life of flora and fauna and also other object damage. Pollution effect of emission existence of motorcycle gas, specially Hydrocarbon gas (HC) And Oxide Sulphur (SO_x) at certain definition can endanger for human being health. Reduce the rate of gas emission throw away by absorbtion adsorben of zeolite covered by TiO₂ with the centrifugal method represent one of alternative in reducing of gas emission throw away the HC and SO_x yielded by motor vehicle.

Variation used in this research are warm-up as activation that are 200 °C, 300 °C, and 400 °C, and addition of concentration TiO₂ as a cover that are 0%, 5%, 10%, and 15% TiO₂ Analyse the gas throw away the HC use the Non dispersive infra red (NDIR) by means of HC Analyzer (autochek of gas of and smoke), while SO_x use the method spektrofotometri by hence save impinger.

The result for the efficiency of degradation SO_x is around 90%, while for the efficiency of degradation HC is around 43%, and optimum value of degradation of emission of gas of motor vehicle of SO_x and HC by adsorben is covered TiO₂ with the centrifugal method lay in the warm-up temperature 300 °C with the rate TiO₂ 10%.

Keyword: Zeolite, TiO₂, Pilarization, Centrifugal method, Emission, SO_x, HC.

ABSTRAK

Pencemaran udara di Indonesia merupakan masalah yang cukup serius terutama yang dirasakan di kota-kota besar, hal tersebut ditandai dengan menurunnya kualitas udara ke tingkat yang cukup memprihatinkan dan telah membawa dampak gangguan kesehatan maupun kenyamanan terhadap manusia disamping terjadinya kerusakan terhadap kehidupan flora dan fauna maupun kerusakan benda lainnya. Pencemaran udara akibat adanya emisi gas kendaraan bermotor roda dua, khususnya gas Hidrokarbon (HC) dan Sulfur Oksida (SO_x) pada batasan tertentu dapat membahayakan bagi kesehatan manusia. Reduksi kadar emisi gas buang oleh penyerapan adsorben zeolit terpilirisasi TiO_2 dengan metode sentrifugal merupakan salah satu alternatif dalam meminimalisasi emisi gas buang HC dan SO_x yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor.

Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah pemanasan sebagai aktivasi yaitu $200\text{ }^\circ\text{C}$, $300\text{ }^\circ\text{C}$, dan $400\text{ }^\circ\text{C}$, dan penambahan konsentrasi TiO_2 sebagai pemilar yaitu 0%, 5%, 10%, dan 15% TiO_2 . Analisa gas buang HC menggunakan Non dispersive infra red (NDIR) dengan alat HC Analyzer (autochek gas and smoke), sedangkan SO_x menggunakan metode spektrofotometri dengan memakai tabung impinger.

Hasil dari penelitian untuk efisiensi penurunan SO_x adalah sekitar 90 %, sedangkan untuk efisiensi penurunan HC adalah sekitar 43 %. Nilai optimum penurunan emisi gas kendaraan bermotor SO_x dan HC oleh adsorben terpilirisasi TiO_2 dengan metode sentrifugal terletak pada suhu pemanasan $300\text{ }^\circ\text{C}$ dengan kadar TiO_2 10%.

Kata kunci: Zeolit, TiO_2 , Pilarisasi, Metode sentrifugal, Emisi, SO_x , HC

*Untuk semua yang telah
memberikan cinta dan
kehangatan, sehingga
hidup ini terasa indah.
Mamah sareng Aya yang
selalu berkorban dan
memberikan hidupnya
 demi kebahagiaan
 anaknya*

*"Sebagikan bukan sekedar
menghadapkan wajah-wajahnya
ke arah timur dan barat,"
(ZS. 2:177)*

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

السَّلَامُ عَلَيْكُمْ وَرَحْمَةُ اللَّهِ وَبَرَكَاتُهُ

Puji syukur ke hadirat Allah SWT, Tuhan yang Maha Tunggal, Pencipta alam semesta beserta isinya dan tempat berlindung bagi umat-Nya. Shalawat serta salam kami limpahkan kepada junjungan Nabi besar Muhammad saw, Rasul seluruh umat manusia,

Alhamdulillah rabbil'amin Tugas Akhir dengan judul "**Reduksi Kadar Sulfur Oksida (SO_x) dan Hidrokarbon (HC) Pada Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor dengan Metode Sentrifugal TiO₂ Terpilarisasi dalam Zeolit**" dapat terselesaikan. Tugas akhir ini merupakan puncak dari seluruh kegiatan perkuliahan dalam mendapat predikat Sarjana Strata 1 Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia Jogjakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT, Tuhan yang Maha Tunggal.
2. Nabi besar Muhammad saw, Rasul seluruh umat manusia,
3. Mamah sareng Apa, terima kasih atas do'a dan kasih sayangnya yang telah diberikan selama ini,
4. Prof. Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia
5. Ir. Kasam, MT. sebagai Ketua Jurusan Teknik Lingkungan UII Jogjakarta

6. Bapak Drs. Sudjatmoko, SU, APU, selaku Kepala P3TM – BATAN Jogjakarta
7. Dr.Ir.Drs. Kris Tri Basuki, MSc, APU, selaku Dosen Pembimbing skripsi, yang telah bersedia meluangkan waktu dan membimbing, dukungan serta mencurahkan segala pikirannya untuk memberi masukan-masukan kepada penulis hingga selesainya Tugas Akhir ini,
8. Eko Siswoyo, ST, selaku Dosen Pembimbing skripsi, yang telah bersedia meluangkan waktu dan membimbing, dukungan serta mencurahkan segala pikirannya untuk memberi masukan-masukan kepada penulis hingga selesainya Tugas Akhir ini,
9. Bapak Budi Setiawan, selaku asisten pembimbing di BATAN yang telah bersedia meluangkan waktu dan membimbing, dukungan serta mencurahkan segala pikirannya untuk memberi masukan-masukan kepada penulis hingga selesainya Tugas Akhir ini,
10. Bapak Luqman Hakim, ST, Msi, Bapak Andik Yulianto, ST, Bapak Hudori, ST, selaku dosen Dosen Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.
11. Seluruh staf dan karyawan di Laboratorium TeknofisikaKimia P3TM BATAN (pak Tugiyono, pak Andri, dkk) terima kasih banyak atas bimbingannya selama penelitian.
12. Sister and brother yang telah memberikan doa dan supportnya,
13. Keluarga Besar Bapak Sadi Mutakhir,
14. Mas Gatot dan mas Aldy, (pernah kita sama-sama susah...!)
15. Wong Zaky sang pejuang!
16. Nikko The Juventini,
17. Kang Oyo The Tazikman,
18. Mbak C-mon BK-WR
19. Anak-anak kontrakan Gandok (H-qim, Cukonk, Ady, Zainal, Idham, Ade, Mahmud)

20. Serta keluarga besar TL'99 sebagai keluarga perintis Teknik Lingkungan UII dan rekan seperjuangan! (nga ada kalian nga ada TL UII bro..!)

Akhir kata, semoga Allah senantiasa selalu memberikan rahmat dan karunia Nya atas amal baik mereka serta Tugas Akhir ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

وَالسَّلَامُ عَلَيْكُمْ وَرَحْمَةُ اللَّهِ وَبَرَكَاتُهُ

Jogjakarta, Juli 2005

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN I	ii
HALAMAN PENGESAHAN II	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan	5
1.5. Manfaat	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Lingkungan Hidup	7
2.2. Pencemaran Udara	7
2.2.1. Udara	7
2.2.2. Definisi Pencemaran Udara	8

2.2.3.	Sumber Pencemar Udara	10
2.3.	Sulfur Oksida (SO _x)	12
2.3.1.	Sumber Polusi SO _x	12
2.3.2.	Reaksi Pembentukan SO _x	13
2.3.3.	Perjalanan SO _x di Udara	16
2.3.4.	Dampak Pencemaran SO _x	17
2.3.4.1.	Dampak Terhadap Manusia	17
2.3.4.2.	Dampak Terhadap Lingkungan	18
2.4.	Hidrokarbon (HC)	19
2.4.1.	Ikatan Hidrokarbon	20
2.4.1.1.	Ikatan Lurus	20
2.4.1.2.	Ikatan Cincin	20
2.4.1.3.	Ikatan Rangkap	20
2.4.2.	Struktur Hidrokarbon	21
2.4.3.	Sifat senyawa Hidrokarbon	22
2.4.4.	Sumber Pencemar Hidrokarbon	23
2.4.5.	Oksidan Fotokimia	24
2.4.6.	Dampak Pencemaran Hidrokarbon	25
2.4.6.1.	Dampak Bagi Manusia	25
2.4.6.2.	Dampak Bagi Tanaman	26
2.5.	Zeolit	27
2.5.1.	Pengertian Dasar Zeolit	27
2.5.2.	Struktur Zeolit	28
2.5.3.	Sifat Fisik Zeolit	30
2.5.4.	Sifat-sifat Zeolit	32
2.5.5.	Manfaat Zeolit	34
2.5.5.1.	Dalam Bidang Pengolahan Limbah Industri dan Nuklir	34

2.5.5.2. Bidang Proses Industri	34
2.5.5.3. Bidang Pertanian dan Lingkungan	35
2.5.5.4. Aktivasi Zeolit	36
2.6. Katalis	36
2.7. Titanium Oksida (TiO ₂)	38
2.8. Pilarisasi	39
2.9. Adsorpsi	41
2.10. Pembakaran Kendaraan Bermotor	42
2.10.1. Mekanisme Pembakaran	42
2.10.2. Proses Pembakaran Pada Kendaraan Bermotor	44
2.11. Mekanisme Pembentukan SO _x dan HC Dari Kendaraan Bermotor	45
2.12. Gaya Sentrifugal	46

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Jenis Penelitian	47
3.2. Lokasi Penelitian	47
3.3. Objek Penelitian	47
3.4. Teknik Pengumpulan Data	47
3.5. Variabel Penelitian	48
3.6. Tahapan Penelitian	48
3.6.1. Tahapan Persiapan	48
3.6.1.1. Pemilihan Bahan Perekat	48
3.6.1.2. Pembuatan Cetakan Media adsorben	48
3.6.1.3. Proses Pembentukan Adsorben	49
3.6.1.4. Pembuatan Reaktor Knalpot	49
3.6.1.5. Pembuatan Adsorben	50
3.6.2. Tahap Pelaksanaan Analisa	51

3.6.2.1. Hidrokarbon	51
3.6.2.1.1. Metoda Analisa	51
3.6.2.1.2. Prosedur Pengambilan Sampel	52
3.6.2.2. Sulfur Oksida	54
3.6.2.2.1. Metode Analisa	54
3.6.2.2.2. Persiapan	55
3.6.2.2.3. Prosedur Pengambilan Sampel	57
3.6.2.2.4. Pelaksanaan Pengambilan Sampel	59
3.6.2.3. Analisa Data	61
3.6.2.4. Diagram Alir Penelitian	61

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Penelitian	62
3.2. Pembahasan	65
3.2.1. Penggunaan Perakat	65
3.2.2. Pembuatan Adsorben	66
3.2.3. Kerangka Adsorben	69
3.2.4. Mekanisme Sentrifugal	70
3.2.5. Efisiensi Penyerapan Emisi Gas oleh Adsorben Zeolit Terpilarisasi TiO ₂	70

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	78
5.2. Saran	79

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Perkiraan persentasi komponen pencemar udara dari sumber pencemar transportasi di Indonesia	11
Tabel 2.2.	Sumber Pencemar SO _x	13
Tabel 2.3.	Pengaruh SO _x terhadap manusia	17
Tabel 2.4.	Sumber pencemar HC	23
Tabel 2.5.	Level toksisitas Hidrokarbon Aromatik	26
Tabel 2.6.	Perbedaan mineral zeolit alam dan buatan	32
Tabel 2.7.	Sifat fisik dan mekanik TiO ₂	39
Tabel 4.1.	Hasil Analisis Hidrokarbon	63
Tabel 4.2.	Hasil Analisis SO _x	64
Tabel 4.3.	Efisiensi penurunan kadar emisi gas HC	72
Tabel 4.4.	Efisiensi penurunan kadar emisi gas SO _x	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Perjalanan SO_2 di udara	16
Gambar 2.2.	Struktur molekul hidrokarbonm	22
Gambar 2.3.	Struktur pembentukan primer Zeolit	29
Gambar 2.4.	Struktur pembentukan sekunder zeolit	30
Gambar 2.5.	Skema pembentukan pilar zeolit	40
Gambar 2.6.	Pemiliran antar lapis silikat lempung dengan TiO_2	41
Gambar 2.7.	Siklus mesin pembakaran dalam motor empat langkah	43
Gambar 3.1.	Proses pembuatan cetakan adsorben	48
Gambar 3.2.	Reaktor knalpot	50
Gambar 3.3.	Diagram alir pembentukan adsorben zeolit terpillarasi oleh TiO_2	50
Gambar 3.4.	Diagram alir pelaksanaan percobaan	60
Gambar 3.5.	Diagram alir penelitian	61
Gambar 4.1.	Grafik hubungan hasil uji emisi HC terhadap suhu pemanasan	64
Gambar 4.2.	Grafik hubungan hasil uji emisi SO_x terhadap suhu pemanasan	65
Gambar 4.3.	Lempengan adsorben dengan tiga lengkungan	66
Gambar 4.4.	Variasi bentuk cetakan	67
Gambar 4.5.	Lempengan enam lengkung dengan variasi lubang	68
Gambar 4.6.	Lempengan bentuk baling-baling kipas	68
Gambar 4.7.	Tulangan dalam pada model cetakan	69
Gambar 4.8.	Pengikatan HC terhadap zeolit terpillar TiO_2	72
Gambar 4.9.	Pengikatan SO_x terhadap zeolit terpillar TiO_2	75

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. KEPUTUSAN GUBERNUR DIY NO.167 TENTANG BAKU

MUTU SUMBER EMISI BERGERAK

LAMPIRAN 2. ALAT DAN KEGIATAN PENELITIAN

LAMPIRAN 3. UJI PEREKAT

LAMPIRAN 4. PERHITUNGAN TITIK JENUH TEORITIS

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pertumbuhan jumlah penduduk dan peningkatan peradaban umat manusia yang diiringi dengan meningkatnya konsumsi bahan bakar fosil telah memunculkan masalah krisis ekologi besar berupa pencemaran lingkungan yang berupa pencemaran udara. Masalah pencemaran udara hampir terdapat disetiap penjuru dunia ini, tidak terkecuali di negara kita. Pencemaran udara di Indonesia merupakan masalah yang cukup serius terutama yang dirasakan di kota-kota besar, hal tersebut ditandai dengan menurunnya kualitas udara ke tingkat yang cukup memprihatinkan dimana telah membawa dampak gangguan kesehatan maupun kenyamanan terhadap manusia disamping terjadinya kerusakan terhadap kehidupan flora dan fauna maupun kerusakan benda lainnya

Idealnya, udara bersih dan layak untuk dihirup oleh manusia terdiri atas N_2 (78%), O_2 (21%), H_2 , dan unsur lain (0.1%). Sementara kenyataannya udara yang terdapat dan untuk dihirup kita sehari-hari dipenuhi oleh partikulat dan senyawa-senyawa beracun yang berdampak buruk langsung maupun tidak langsung bagi tubuh kita. Data DLLAJR DKI Jakarta tahun 1998 menunjukkan bahwa sumber pencemar udara terbesar berasal dari emisi gas buang kendaraan bermotor (60 %), sumber pencemar lainnya berasal dari emisi industri (25 %),

rumah tangga (10 %), dan sampah (2,5 %). Dan hasil penelitian BAPEDAL Jakarta tahun 1999, polusi udara yang disebabkan oleh kendaraan bermotor memberikan kontribusi pencemaran CO sebesar 98,8 %, NO_x 73,4 %, HC 88,9 %, dan SO_x 26,5 %.

Pencemaran lingkungan yang disebabkan menurunnya kualitas udara dapat menjadi ancaman bagi kelangsungan hidup manusia umpamanya masalah pernapasan bahkan gejala kanker juga mengancam secara langsung eksistensi tumbuhan dan hewan, maupun secara tidak langsung ekosistem di mana mereka hidup. Beberapa unsur pencemar (*pollutant*) kembali ke bumi melalui deposisi asam atau salju yang mengakibatkan sifat korosif pada bangunan, tanaman, hutan, di samping itu juga membuat sungai dan danau menjadi suatu lingkungan yang berbahaya bagi ikan-ikan karena nilai pH yang rendah. Pencemaran juga mengubah struktur atmosfer bumi sehingga membuka celah masuknya bahaya radiasi sinar matahari (ultra violet). Dan pada waktu yang bersamaan, keadaan udara yang tercemar merupakan fungsi insulator yang mencegah aliran panas kembali ke ruang angkasa, dengan demikian mengakibatkan peningkatan suhu bumi. Proses inilah yang dikenal sebagai *greenhouse effect* (efek rumah kaca). Para ilmuwan memperkirakan bahwa peningkatan suhu bumi, atau yang diistilahkan sebagai *global warning*, pada akhirnya akan mempengaruhi banyak hal seperti pasokan makanan dunia, perubahan tingkat permukaan air laut, serta terjadinya penyebaran penyakit tropis.

Dampak negatif menurunnya kualitas udara yang disebabkan Sulfur Oksida (SO_x) cukup membahayakan bagi kelangsungan hidup manusia, diantaranya yaitu: menimbulkan serangan penyakit pernafasan seperti asma dan dapat menurunkan fungsi paru. Selain itu dapat menimbulkan kerusakan materi dan kualitas lingkungan yang ditimbulkan oleh hujan asam akibat gas SO_x yang menetap diudara beraksi dengan zat lain membentuk partikel-partikel halus dan zat asam terbawa oleh air hujan yang turun ke bumi.

Hidrokarbon (HC) atau kadang-kadang disebut sebagai senyawa organik yang mudah menguap, dan juga sebagai gas organik reaktif, merupakan uap bensin yang tidak terbakar dan produk samping dari pembakaran tak sempurna. Zat ini mempunyai dampak yang sangat buruk bagi manusia, diantaranya yaitu menimbulkan penyakit sesak nafas, pusing, iritasi membran mukosa dan bahkan dapat menimbulkan kematian.

Ozon permukaan merupakan pencemar sekunder yang terbentuk akibat reaksi gas nitrogen (NO) dan hidrokarbon (HC) akibat pemanasan sinar Matahari. Gas yang bersifat reaktif ini tergolong berbahaya bagi kesehatan saluran pernapasan, sama efeknya seperti gas pencemar lainnya. Ozon dapat menurunkan ketahanan tubuh terhadap infeksi di saluran pernapasan, menyebabkan pembengkakan tenggorokan dan paru, serta menyebabkan iritasi mata

Semua ciptaan Tuhan adalah untuk suatu tujuan: "Kami tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada di antaranya dengan sia-sia" (QS.38: 37). Kehidupan makhluk Tuhan adalah saling mengait dan saling berketergantungan satu sama lainnya. Oleh karena itu, maka makhluk yang berada di lingkungan hidup tersebut (termasuk manusia) ikut terganggu pula bila terjadi kerusakan dalam lingkungan hidup. Sebaliknya, bila lingkungan hidup terpelihara dengan baik, maka akan menyebabkan kesejahteraan hidup manusia.

Gambaran diatas tersebut mendorong peneliti untuk melakukan penelitian dalam upaya meminimalisasi pencemaran udara yang berasal dari emisi gas buang kendaraan bermotor dengan menggunakan adsorben TiO_2 terpillarisasi dalam zeolit pada knalpot kendaraan bermotor.

1.2. Rumusan Masalah

Mengetahui dapat tidaknya adsorben TiO_2 terpillarisasi dalam zeolit dalam mengadsorpsi emisi gas buang yang berasal dari kendaraan bermotor, berdasarkan persentase kadar TiO_2 yang terpillarisasi dalam zeolit dengan gaya sentrifugal dan suhu pembuatan adsorben.

1.3. Batasan Masalah

- a. Parameter penelitian adalah kadar Sulfur Oksida (SO_x) dan Hidrokarbon (HC).

- b. Variasi kadar TiO_2 yang terpillarisasi dalam zeolit terdiri dari 0 %, 5 %, 10 %, dan 15 %.
- c. Suhu pembuatan adsorben terdiri dari 200 °C, 300 °C, 400 °C.
- d. Kendaraan bermotor yang digunakan dalam penelitian adalah kendaraan jenis sepeda motor 4 langkah roda 2 Honda Supra
- e. Rpm kendaraan saat penelitian dalam keadaan stasioner
- f. Mekanisme sentrifugal difungsikan untuk pemerataan penyerapan tanpa memperhatikan gaya, tekanan, percepatan dan jarak antar adsorben serta massa adsorben itu sendiri.

1.4. Tujuan

1. Mengetahui pengaruh TiO_2 yang terpillarisasi dalam zeolit dalam menurunkan kadar Sulfur Oksida (SO_x) dan Hidrokarbon (HC) pada emisi gas buang kendaraan bermotor.
2. Mengetahui efisiensi penurunan kadar Sulfur Oksida (SO_x) dan Hidrokarbon (HC) pada emisi gas buang kendaraan bermotor dengan menggunakan adsorben zeolit terpillarisasi TiO_2

1.5. Manfaat

- a. Sebagai upaya dalam meminimalisasi pencemaran udara dari emisi gas buang kendaraan bermotor
- b. Untuk menambah wawasan peneliti dalam bidang pencemaran udara

- c. Agar dapat digunakan sebagai referensi dalam pengembangan teknologi dan ilmu pengetahuan bagi yang berkepentingan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Lingkungan Hidup

Lingkungan menurut Slamet Ryadi (1976) adalah tempat dengan segala sesuatunya, dimana organisme hidup beserta segala keadaan dan kondisinya, yang secara langsung maupun tidak langsung dapat diduga ikut mempengaruhi tingkat kehidupan maupun kesehatan dari organisme tersebut. (Margono dkk, 1991)

Menurut Undang-Undang Pengelolaan Lingkungan Hidup Nomor 23 tahun 1997, yang dimaksud dengan lingkungan hidup adalah kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan, dan makhluk hidup termasuk manusia dari perlakuannya yang mempengaruhi kelangsungan perikehidupan dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lain. (Anonim, 1997)

2.2. Pencemaran Udara

2.2.1. Udara

Udara merupakan campuran dari beberapa macam gas yang perbandingannya tidak tetap, tergantung pada keadaan suhu udara, tekanan udara dan lingkungan sekitarnya. Udara adalah juga atmosfer yang berada di sekeliling bumi yang fungsinya sangat penting bagi kehidupan di bumi ini (Wardhana, 1994).

Gas yang terbanyak didalam udara adalah nitrogen (N_2) dan oksigen (O_2). Menurut Wardhana (1994), kandungan nitrogen yang terdapat di udara bersih sekitar 78 %, sedangkan kandungan oksigen sekitar 22 %. Oksigen sangat penting untuk mendukung kehidupan makhluk hidup dan memungkinkan terjadinya pembakaran bahan bakar. Nitrogen merupakan penyubur tanaman. Bakteri menggunakan nitrogen dari udara untuk menyuburkan tanah. Udara juga melindungi bumi dari radiasi berbahaya seperti sinar ultra violet yang berasal dari ruang angkasa.

2.2.2. Definisi Pencemaran Udara

Dalam PP RI No. 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, pengertian 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 ke tingkat tertinggi yang menyebabkan tidak dapat memenuhi fungsinya (Anonim, 1999)

Menurut Wardhana (1994) pencemaran udara diartikan sebagai adanya bahan-bahan atau zat-zat asing didalam udara yang menyebabkan perubahan susunan (komposisi) udara dari keadaan normalnya. Kehadiran bahan atau zat asing didalam udara dalam jumlah tertentu serta berada di udara dalam waktu yang cukup lama, akan dapat mengganggu kehidupan manusia, hewan, dan binatang.

Udara di alam tidak pernah ditemukan bersih tanpa polutan sama sekali. Beberapa gas seperti sulfur dioksida (SO_x), hidrogen sulfida (H_2S), dan karbon monoksida (CO) selalu dibebaskan ke udara sebagai produk sampingan dari proses-proses alami seperti aktivitas vulkanik, pembusukan sampah tanaman, kebakaran hutan, dan sebagainya. Selain disebabkan polutan alami, polusi udara juga dapat dibebkan oleh aktivitas manusia.

Pada intinya pengertian pencemaran udara adalah masuknya, atau tercampurnya, unsur-unsur berbahaya ke dalam atmosfer baik disebabkan oleh aktivitas manusia maupun proses alami yang dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan lingkungan, gangguan pada kesehatan manusia serta secara umum menurunkan kualitas lingkungan. Pencemaran udara dapat terjadi di mana-mana, misalnya, di dalam rumah, sekolah, kantor atau yang sering disebut sebagai pencemaran dalam ruang (*indoor pollution*). Selain itu, gejala ini secara akumulatif juga terjadi di luar ruang (*outdoor pollution*) mulai dari tingkat lingkungan rumah, perkotaan, hingga ke tingkat regional, bahkan saat ini sudah menjadi gejala global.

2.2.3. Sumber Pencemar Udara

Kehadiran polutan-polutan di dalam udara pada umumnya berasal dari aktivitas manusia sebagai akibat perkembangan budaya, penggunaan teknologi baru, serta pola konsumtif yang berlebihan.

Sumber penyebab pencemaran udara terdiri dari :

1. Industri

Sektor industri merupakan penyumbang pencemaran udara melalui penggunaan bahan bakar fosil untuk pembangkit tenaga. Salah satu penyebab meningkatnya pencemaran udara di Indonesia adalah urbanisasi dan industrialisasi yang tumbuh dengan cepat tetapi tidak dibarengi dengan pengendalian pencemaran yang memadai dan efisien dalam penggunaan bahan bakar fosil.

2. Emisi Kendaraan Bermotor

Kegiatan transportasi memberikan kontribusi terbesar terhadap pencemaran udara di kota-kota besar. Emisi kendaraan bermotor yang dikeluarkan melalui knalpot berupa senyawa kimia yang berbahaya bagi atmosfer berasal dari proses pembakaran adalah karbon dioksida, karbon monoksida, nitrogen oksida, sulfur dioksida, dan beberapa partikel mikro seperti timbal sebagai campuran bahan bakar.. (Anonim, 2004)

Tabel. 2.1. Perkiraan persentasi komponen pencemar udara dari sumber pencemar transportasi di Indonesia

Komponen Pencemar	Persentase (%)
CO	70.50
NO _x	8.89
SO _x	0.88
HC	18.34
Partikel	1.33
Total	100

Sumber: Wardhana (1994)

Selain dari kedua sumber pencemar udara diatas, pencemaran udara dapat ditimbulkan dari aspek lain seperti aktivitas alam, pembuangan sampah, pembakaran stasioner, dan lain-lain

Menurut Moestikahadi (1999), dilihat dari segi fisik, bahan pencemar udara berupa:

1. Partikel (debu, aerosol, timah hitam)
2. Gas (CO, NO_x, SO_x, H₂S, Hidrokarbon)
3. Energi (suhu dan kebisingan)

Menurut Soedomo (2001), berdasarkan dari kejadiannya terbentuk pencemar di udara terdiri dari :

1. Pencemar primer (yang diemisikan langsung dari sumber) dan,
2. Pencemar sekunder (yang terbentuk karena reaksi di udara antara berbagai zat).

2.3. Sulfur Oksida (SO_x)

2.3.1. Sumber Polusi Sulfur Oksida (SO_x)

Sulfur Oksida (SO_x) merupakan gas jernih dan tidak berwarna yang merupakan bagian dari pencemar udara, kadarnya bisa mencapai 18 %. Gas ini baunya menyengat dan amat membahayakan bagi kehidupan manusia. Sulfur oksida banyak dihasilkan akibat adanya aktivitas manusia, antara lain industri-industri yang menggunakan proses pembakaran yang menggunakan bahan bakar batu bara, maupun proses-proses peleburan/pemurnian logam. Terutama akibat terjadinya pembakaran dari senyawa-senyawa yang mengandung belerang. (Tresna. A, 1991).

Hanya sepertiga dari jumlah sulfur yang terdapat di atmosfer merupakan hasil dari aktivitas manusia, dan kebanyakan dalam bentuk SO₂. Sebanyak dua pertiga dari jumlah sulfur di atmosfer berasal dari sumber-sumber alam seperti vulkano, dan terbentuk dalam bentuk H₂S.

Transportasi bukan merupakan sumber utama polutan SO_x, tetapi pembakaran bahan bakar pada sumbernya merupakan sumber utama polutan SO_x, misalnya pembakaran batu arang, minyak bakar, gas, kayu dan sebagainya. Sumber SO_x yang kedua adalah dari proses-proses industri pemurnian petroleum, industri asam sulfat, industri peleburan baja dan sebagainya

Tabel 2.2. Sumber Pencemaran SO_x

Sumber pencemaran	% bagian	% total
Transportasi		2.4
- mobil bensin	0.6	
- mobil diesel	0.3	
- pesawat terbang (diabaikan)	0.0	
- kereta api	0.3	
- kapal laut	0.9	
- sepeda motor dll.	0.3	
Pembakaran stasioner		73.5
- batubara	60.5	
- minyak (distilasi)	1.2	
- minyak (residu)	11.8	
- gas alam (diabaikan)	0.0	
- kayu	0.0	
Proses industri		22.0
Pembuangan limbah padat		0.3
Lain-lain		1.8
- kebakaran hutan	0.0	
- pembakaran batubara sisa	1.8	
Jumlah	100.0	100.0

Sumber: Wardhana, 1994

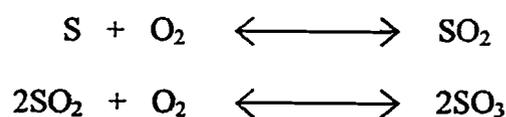
2.3.2. Reaksi Pembentukan Sulfur Oksida (SO_x)

Polusi oleh sulfur oksida terutama disebabkan oleh dua komponen yang tidak berwarna, yaitu sulfur dioksida (SO₂) dan sulfur trioksida (SO₃), dan kedua-duanya disebut SO_x. Sulfur dioksida mempunyai karakteristik bau yang tajam dan tidak terbakar di udara, sedangkan sulfur trioksida merupakan komponen yang tidak reaktif.

Pembakaran bahan-bahan yang mengandung sulfur akan menghasilkan kedua bentuk sulfur oksida, tetapi jumlah relatif masing-masing tidak dipengaruhi oleh jumlah oksigen yang tersedia. Meskipun udara tersedia dalam

jumlah cukup, SO_2 selalu terbentuk dalam jumlah yang terbesar. Jumlah SO_3 yang terbentuk dipengaruhi oleh kondisi reaksi, terutama suhu, dan bervariasi dari 1 sampai 10% dari total SO_x .

Mekanisme pembentukan SO_x dapat dituliskan dalam dua tahap reaksi sebagai berikut :



SO_3 biasanya diproduksi dalam jumlah kecil selama pembakaran. Hal ini disebabkan oleh dua faktor yang menyangkut reaksi tersebut diatas. Faktor pertama adalah kecepatan reaksi yang terjadi, dan faktor kedua adalah konsentrasi SO_3 dalam campuran kesetimbangan yang dihasilkan dari reaksi tersebut. Reaksi pembentukan SO_3 berlangsung sangat lambat pada suhu relatif rendah (misalnya pada suhu 200°C), tetapi kecepatan reaksi meningkat dengan kenaikan suhu. Oleh karena itu produksi SO_3 dirangsang pada suhu tinggi karena faktor kecepatan. Tetapi kecepatan reaksi yang dihasilkan pada suhu rendah mengandung prosentase SO_3 lebih tinggi daripada campuran yang dihasilkan pada suhu tinggi. Jadi faktor konsentrasi kesetimbangan merangsang produksi SO_3 pada suhu lebih rendah. Jelas bahwa kedua faktor tersebut mempunyai kecenderungan untuk menghambat satu sama lain selama pembakaran. Pada suhu tinggi, reaksi mengakibatkan kesetimbangan tercapai dengan cepat karena kecepatan reaksi tinggi, tetapi hanya sedikit SO_3 terdapat

didalam campuran. Pada suhu rendah, reaksi berlangsung sangat lambat sehingga kondisi kesetimbangan (sesuai dengan konsentrasi SO_3 tinggi) tidak pernah tercapai. Jadi produksi SO_3 terhambat pada zona pembakaran suhu tinggi karena kondisi kesetimbangan. Jika produksi dijauhkan dari zona tersebut dan didinginkan, kondisi kesetimbangan dapat tercapai, tetapi kecepatan reaksi akan menghambat pembentukan SO_3 dalam jumlah tinggi.

Adanya SO_3 diudara dalam bentuk gas hanya mungkin jika konsentrasi uap air sangat rendah. Jika uap air terdapat dalam jumlah yang cukup seperti biasanya, SO_3 dan air akan segera bergabung membentuk *droplet* asam sulfat (H_2SO_4) dengan reaksi sebagai berikut:

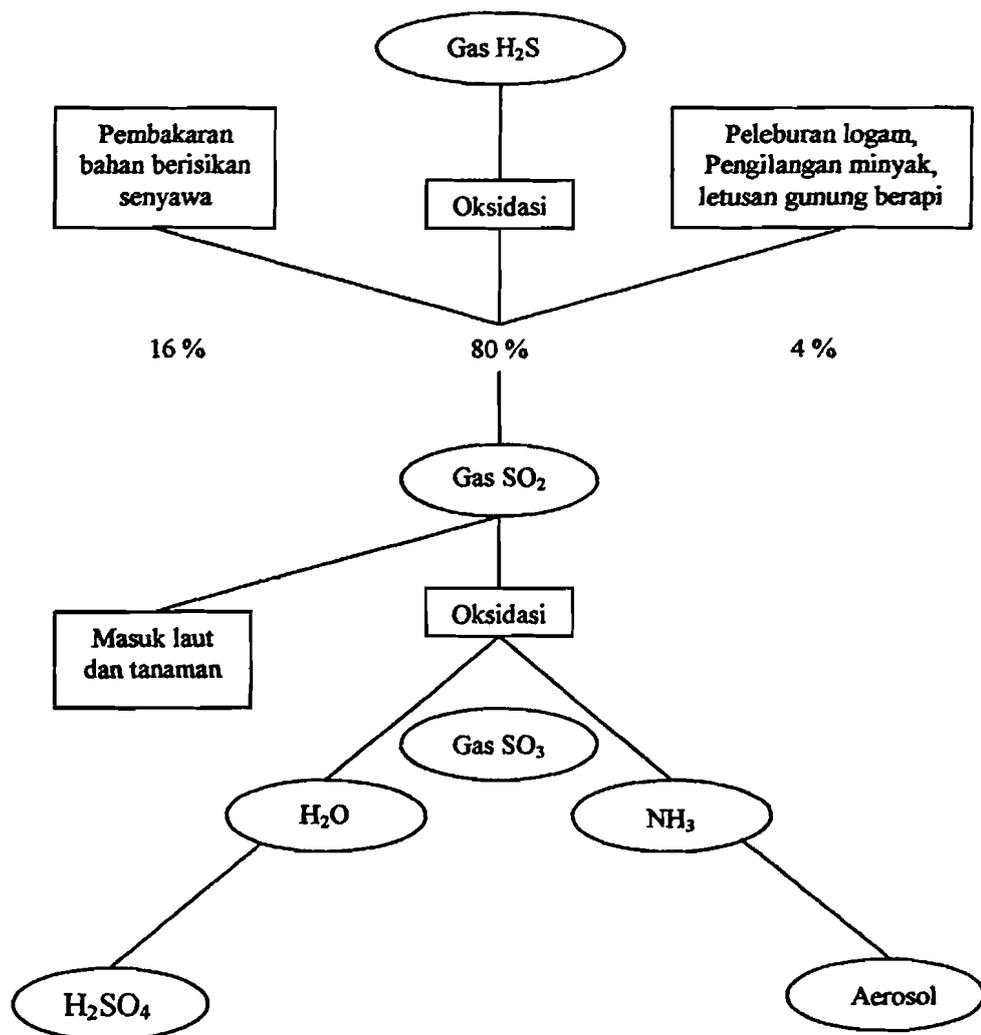


Oleh karena itu komponen yang normal terdapat di dalam atmosfer ternyata bukan SO_3 melainkan H_2SO_4 . Tetapi jumlah H_2SO_4 atmosfer lebih tinggi daripada yang dihasilkan dari emisi SO_3 , hal ini menunjukkan bahwa hasil H_2SO_4 juga berasal dari mekanisme-mekanisme lainnya.

Setelah berada di atmosfer, sebagian SO_2 akan diubah menjadi SO_3 (kemudian menjadi H_2SO_4) oleh proses-proses fotolitik dan katalik. Jumlah SO_2 yang teroksidasi menjadi SO_3 dipengaruhi oleh beberapa faktor termasuk sinar yang tersedia, intensitas, waktu dan distribusi spektrum sinar matahari, dan jumlah katalik, sorptik dan alkalin yang tersedia. NO_2 dan hidrokarbon merupakan komponen yang sangat penting dalam oksidasi (Fardiaz, 1992).

2.3.3. Perjalanan Sulfur Oksida (SO_x) di Udara

Gas H_2S diproduksi oleh pembusukan bahan organik, letusan gunung berapi, dan akibat industri. Jumlah SO_2 karena oksidasi H_2S adalah 80 %, sisanya 20 % SO_2 lagi adalah hasil ulah manusia, yakni akibat bahan bakar yang mengandung blerang dan pelelehan logam non fero, kilang minyak, dan letusan gunung berapi. (Sastrawijaya, Tresna, A. 1991)



Gambar 2.1. Perjalanan SO_2 di udara

2.3.4. Dampak Pencemaran Sulfur Oksida (SO_x)

2.3.4.1. Dampak SO_x Terhadap Manusia

Pengaruh utama SO_x terhadap manusia adalah iritasi sistem pernafasan, beberapa penelitian menunjukkan bahwa iritasi tenggorokan terjadi pada konsentrasi SO₂ sebesar 5 ppm atau lebih, bahkan pada beberapa individu yang sensitif iritasi terjadi pada konsentrasi 1-2 ppm. SO₂ dianggap polutan yang membahayakan bagi kesehatan terutama terhadap orang tua dan penderita yang mengalami penyakit kronis pada sistem pernafasan dan kardiovaskuler (Fardiaz, 1992).

Tabel 2.3. Pengaruh SO_x terhadap manusia

Konsentrasi (ppm)	Pengaruh
3 – 5	Jumlah terkecil yang dapat dideteksi dari baunya
8 – 12	Jumlah terkecil yang segera mengakibatkan iritasi pada tenggorokan
20	Jumlah terkecil yang segera mengakibatkan iritasi mata
20	Jumlah terkecil yang mengakibatkan batuk
20	Maksimum yang diperbolehkan untuk kontak dalam waktu lama
50 – 100	Maksimum yang diperbolehkan untuk kontak dalam waktu singkat (30 menit)
400 – 500	Berbahaya meskipun kontak secara singkat

Sumber : Fardiaz, 1992

2.3.4.2. Dampak SO_x Terhadap Lingkungan

Udara yang telah tercemar oleh gas sulfur oksida tidak hanya berbahaya bagi manusia, tetapi juga terhadap tumbuhan. Pengaruh gas SO_x pada tanaman dapat menyebabkan tanaman tersebut mati, karena pH tanah terlalu rendah. Menurut Fardiaz (1992) kerusakan tanaman oleh SO₂ dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu konsentrasi SO₂ dan waktu kontak. Kerusakan tiba-tiba (akut) terjadi jika kontak dengan SO₂ pada konsentrasi tinggi pada waktu sebentar, dengan gejala beberapa bagian daun menjadi kering dan mati, dan biasanya warnanya memucat. Kontak dengan SO₂ pada konsentrasi rendah dalam waktu lama menyebabkan kerusakan kronis yang ditandai dengan menguningnya warna daun karena terhambatnya mekanisme pembentukan klorofil.

Selain dapat menyebabkan kematian pada tanaman, SO_x juga dapat mengakibatkan hujan asam. Persenyawaan sulfur yang ada di udara dapat berikatan dengan kabut yang berisi uap air membentuk H₂SO₃ dan H₂SO₄ yang bersifat asam dan dipresipitaskan ke alam membentuk hujan. Asam yang terbawa oleh hujan tersebut akan dapat menyebabkan kerusakan/korosif terhadap barang-barang logam seperti rel kereta api, kendaraan, sampai pagar halaman. Bahkan akan merusak batu-batuan, candi, genting, bahkan granit. Pengaruh persenyawaan SO_x juga dapat menyebabkan warna barang berubah menjadi rapuh. Misalnya barang-barang dari plastik, karet, kertas dan sebagainya.

Senyawa blerang, ini juga dapat mengancam kehidupan di air. Hujan dan salju yang mengandung senyawa itu akan membawanya ke tanah, sungai, danau dan kolam. Organisme yang hidup di dalam air akan mati jika pH terlalu rendah, misalnya $< 4,0$ ikan-ikan akan mati dan binatang yang hidup di air lainnya juga akan turut terancam kehidupannya. (Sastra Wijaya, Tresna, A 1991)

2.4. Hidrokarbon (HC)

HC atau disebut juga Hidrokarbon, merupakan ikatan yang tersusun oleh penyusun utamanya adalah atom karbon ($A_r = 12$) dan atom Hidrogen ($A_r = 1$). Ikatan yang dibentuk dapat berupa ikatan-ikatan lurus (ikatan rantai) atau ikatan cincin (ikatan tertutup). (Wardhana, 1994)

Hidrokarbon merupakan sumber yang penting karena ia mencakup keseluruhan bahan bakar fosil (batu bara, minyak bumi, gas asli, dan lain-lain.), dan bahan bakar bio, termasuk juga plastik, lilin dan pelarut. (Anonim, 2005)

Menurut Wardhana (1994), ada dua kemungkinan HC sebagai pencemar udara:

1. HC sebagai emisi akan menjadi bahan pencemar udara apabila HC tidak tercampur rata pada saat pembakaran, sehingga tidak terjadi reaksi dengan oksigen, maka HC ini akan ikut keluar dengan gas buangan hasil pembakaran

2. Kemungkinan lain yang menyebabkan HC sebagai emisi pencemar udara yaitu pada saat HC yang tidak ikut terbakar dengan oksigen mengalami *cracking* akibat suhu yang tinggi dari hasil pembakaran.

2.4.1. Ikatan Hidrokarbon

2.4.1.1. Ikatan Lurus

Ikatan lurus adalah ikatan yang membentuk rantai dengan pola terbuka. Dan salah satu yang tergolong dalam hidrokarbon ikatan lurus adalah Hidrokarbon Alifatik. (Anonim, 2000)

2.4.1.2. Ikatan Cincin

Ikatan cincin adalah ikatan yang membentuk rantai dengan pola tertutup menyerupai cincin. Salah satu hidrokarbon yang termasuk dalam hidrokarbon ikatan cincin adalah Hidrokarbon Alisiklik dan Aromatik.

2.4.1.3. Ikatan Rangkap

Anonim (2000) mengatakan bahwa ikatan rangkap dibedakan menjadi dua, yaitu:

- 1 Ikatan rangkap Satu, merupakan kelompok senyawa alkana dengan rumus C_nH_{2n+2} dan sering disebut ikatan jenuh, yaitu hidrokarbon dengan rantai terbuka dan semua ikatan karbon-karbon merupakan ikatan tunggal. (Anonim, 2000)

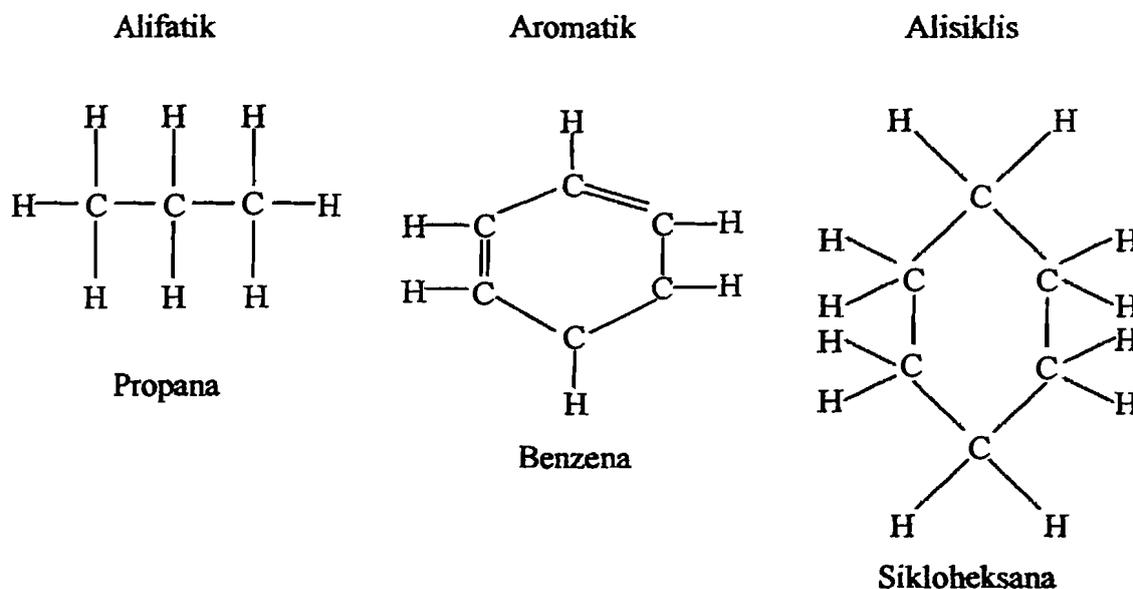
2. Ikatan rangkap dua dan tiga, merupakan kelompok senyawa dengan rumus C_nH_{2n} (untuk ikatan rangkap dua) dan kelompok senyawa alkuna dengan rumus senyawa C_nH_{2n-2} (untuk ikatan rangkap tiga). Kedua ikatan rangkap ini disebut juga ikatan jenuh karena jumlah atom hidrogennya kurang bila dibandingkan dengan senyawa alkana. (Anonim, 2000)

2.4.2. Struktur Hidrokarbon

Menurut Wardhana (1994), jumlah atom karbon dalam senyawa hidrokarbon akan menentukan bentuk hidrokarbon, apakah berupa padat, cair atau gas. Pada suhu kamar umumnya HC suku rendah (jumlah atom C sedikit) akan berbentuk gas, HC suku menengah (jumlah atom C sedang) akan berbentuk cairan dan HC suku tinggi (jumlah atom C banyak) akan berbentuk padatan.

Hidrokarbon dibedakan atas tiga kelompok berdasarkan struktur molekulnya, yaitu hidrokarbon alifatik, aromatik, dan alisiklis. Molekul hidrokarbon alifatik tidak mengandung cincin atom karbon, dan semua atom karbon tersusun dalam rantai lurus atau bercabang. Molekul hidrokarbon aromatik mengandung cincin enam karbon (cincin benzena), dan setiap atom karbon dalam cincin tersebut hanya mengandung satu atom tambahan, yaitu C atau H. Hidrokarbon alisiklis adalah hidrokarbon yang mengandung struktur

cincin selain benzena (Fardiaz, 1992). Beberapa contoh hidrokarbon (alifatik, aromatik, dan alisiklis) dapat dilihat pada Gambar 2.2. dibawah ini:



Gambar 2.2. Struktur Molekul Hidrokarbon

2.4.3. Sifat Senyawa Hidrokarbon Sebagai Pencemar

Hidrokarbon dalam bentuk cairan akan membentuk semacam kabut minyak, dalam bentuk padatan akan membentuk asap pekat yang setelah melalui proses pengumpulan akan menjadi debu. Untuk kedua kasus tersebut HC termasuk dalam kelompok pencemar partikel.

Hidrokarbon yang sering menimbulkan masalah dalam polusi udara adalah yang berbentuk gas suhu atmosfer normal atau hidrokarbon yang sangat bersifat volatil (mudah menjadi gas) pada suhu tersebut. Kebanyakan

komponen-komponen tersebut mempunyai struktur yang sederhana, yaitu mengandung 12 atom karbon atau kurang per molekul (Fardiaz, 1992)

2.4.4. Sumber Pencemar Hidrokarbon (HC)

Adanya hidrokarbon di atmosfer, terutama metana, berasal dari sumber-sumber alami terutama proses-proses biologi, walaupun sejumlah kecil juga dapat berasal dari aktivitas geotermal seperti sumber gas alam, minyak bumi, api alam, dan sebagainya.

Tabel 2.4. Sumber Pencemaran HC

Sumber pencemaran	% bagian	% total
Transportasi		51.9
- mobil bensin	47.5	
- mobil diesel	1.3	
- pesawat terbang	0.9	
- kereta api	0.9	
- kapal laut	0.3	
- sepeda motor dll.	1.0	
Pembakaran stasioner		2.2
- batubara	0.6	
- minyak	0.3	
- gas alam (diabaikan)	0.0	
- kayu	1.3	
Proses industri		14.4
Pembuangan limbah padat		5.0
Lain-lain		26.5
- kebakaran hutan	6.9	
- pembakaran batubara sisa	0.6	
- Pembakaran limbah pertanian	5.3	
- penguapan solven organik	9.7	
- pemasaran bahan organik	3.7	
- lain-lain	0.3	
Jumlah	100.0	100.0

Sumber: Wardhana, 1994

Hidrokarbon yang diproduksi oleh manusia yang terbanyak berasal dari transportasi, sedangkan sumber lainnya misalnya berasal dari pembakaran gas, minyak, arang, dan kayu, proses-proses industri, pembuangan sampah, kebakaran hutan dan ladang, evaporasi pelarut organik, dan sebagainya (Fardiaz, 1992)

2.4.5. Oksidan Fotokimia

Oksidan fotokimia adalah komponen atmosfer yang diproduksi oleh proses fotokimia, yaitu suatu proses kimia yang membutuhkan sinar, yang akan mengoksidasi komponen-komponen yang tidak segera dapat dioksidasi oleh gas oksigen. Senyawa yang terbentuk merupakan polutan sekunder yang diproduksi karena interaksi antara polutan primer dengan sinar.

Hidrokarbon merupakan komponen yang berperan dalam produksi fotokimia. Reaksi ini juga melibatkan siklus fotolitik NO_2 . Polutan sekunder yang paling berbahaya yang dihasilkan oleh reaksi hidrokarbon dalam siklus tersebut adalah ozon (O_3) dan *peroksiasetilnitrat*, yaitu salah satu komponen yang paling sederhana dari grup peroksiasilnitrat (PAN).

Ozon bukan merupakan hidrokarbon, tetapi konsentrasi O_3 di atmosfer naik sebagai akibat langsung dari reaksi hidrokarbon, sedangkan PAN merupakan turunan hidrokarbon. Walaupun oksidan fotokimia lainnya juga diproduksi, tetapi jumlahnya sangat kecil dibanding dengan oksidan fotokimia tersebut (Fardiaz, 1992).

Bahaya polusi hidrokarbon bukan disebabkan oleh hidrokarbon tersebut, melainkan oleh produk-produk reaksi fotokimia yang melibatkan hidrokarbon, hidrokarbon tidak bereaksi langsung dengan sinar matahari, tetapi sangat reaktif terhadap komponen-komponen lainnya yang diproduksi secara fotokimia.

2.4.6. Dampak Pencemaran Hidrokarbon (HC)

2.4.6.1. Dampak bagi Manusia

Sampai saat ini belum ada kejadian yang menunjukkan bahwa hidrokarbon pada konsentrasi udara ambien mempunyai pengaruh langsung merugikan bagi manusia. Bererapa penelitian terhadap hewan dan manusia menunjukkan bahwa hidrokarbon alifatik dan alisiklis mempunyai pengaruh yang tidak diinginkan terhadap manusia hanya pada konsentrasi beberapa ratus sampai beberapa ribu kali lebih tinggi daripada konsentrasi yang terdapat di atmosfer. Pada konsentrai kurang dari 500 ppm tidak menunjukkan pangaruh apapun (Fardiaz, 1992).

Tabel 2.5. menunjukkan level toksisitas beberapa hidrokarbon aromatik jenuh. Konsentrasi yang berbahaya tersebut jauh diatas rata-rata konsentrasi normal hidrokarbon di daerah perkotaan, yaitu sekitar 3.2 ppm untuk metana dan 0.03 – 0.10 ppm untuk hidrokarbon lainnya.

Tabel 2.5. Level Toksisitas Hidrokarbon Aromatik

Hidrokarbon	Konsentrasi (ppm)	Pengaruh
Benzena C_6H_6	100	Iritasi membran mukosa
	3000	Lemas setelah ½ - 1 jam
	7500	Pengaruh berbahaya setelah ½ - 1 jam
	20000	Kematian setelah 5 - 10 menit
Toluena C_7H_8	200	sedikit pusing, lemah, dan berkunang-kunang setelah 8 jam
	600	Kehilangan koordinasi, bola mata terbalik setelah 8 jam

Sumber : Fardiaz, 1992

Hidrokarbon aromatik lebih berbahaya dibandingkan dengan hidrokarbon alifatik dan alisiklis. Uapnya lebih bersifat iritasi terhadap membran mukosa, dan luka dibagian dalam dapat terjadi jika menghisap uap komponen aromatik. Tetapi pada konsentrasi kurang dari 25 ppm biasanya tidak berpengaruh.

Oksidan fotokimia masuk kedalam tubuh sebagai bagian dari udara dan pada konsentrasi subletal dapat mengganggu proses pernafasan normal. Selain itu oksidan fotokimia juga dapat menyebabkan iritasi mata (Fardiaz,1992)

2.4.6.2. Dampak bagi Tanaman

Polusi udara fotokimia dapat mengakibatkan kerusakan pada tanaman. Komponen fotokimia yang paling merusak tanaman adalah ozon, tetapi kelompok PAN juga berperan dalam menyebabkan kerusakan tersebut. Pengaruh ozon yang dapat terlihat langsung pada tanaman adalah terjadinya

pemucatan karena kematian sel-sel pada permukaan daun, dan daun yang lebih tua lebih sensitif terhadap kerusakan tersebut.

Kerusakan tanaman karena PAN memperlihatkan permukaan bawah daun berwarna keperakan dan kerusakan pada daun-daun muda. Tenunan daun kemudian mati. Pemberian PAN dengan konsentrasi 0.02 – 0.05 ppm sudah cukup untuk menyebabkan kerusakan tanaman.

Etilen (C_2H_4) merupakan satu-satunya hidrokarbon yang mengakibatkan kerusakan tanaman pada konsentrasi ambien 1 ppm atau kurang. Asetilen dan propilen juga bersifat racun terhadap tanaman, tetapi konsentrasi yang dibutuhkan adalah 60 – 500 kali sebanyak etilen. Pengaruh etilen terhadap tanaman terutama adalah menghambat pertumbuhan, perubahan warna daun, dan kematian bagian-bagian bunga.

Selain berdampak buruk bagi manusia dan tanaman, hidrokarbon sebagai komponen yang berperan dalam produksi oksidan fotokimia, dapat menyebabkan juga kerusakan kimia pada beberapa bahan tertentu seperti organik polimer, termasuk karet serta tekstil alami dan sintetis (Fardiaz, 1992)

2.5. Zeolit

2.5.1. Pengertian dasar Zeolit

Mineral zeolit telah dikenal sejak tahun 1756 oleh Cronstedt ketika menemukan Stilbit yang bila dipanaskan seperti batuan mendidih (*boiling stone*) karena dehidrasi molekul air yang dikandungnya. Pada tahun 1954 zeolit

diklasifikasi sebagai golongan mineral tersendiri, yang saat itu dikenal sebagai *molecular sieve materials*. Pada tahun 1984 Professor Joseph V. Smith ahli kristalografi Amerika Serikat mendefinisikan zeolit sebagai :

"A zeolite is an aluminosilicate with a framework structure enclosing cavities occupied by large ions and water molecules, both of which have considerable freedom of movement, permitting ion-exchange and reversible dehydration".

Dengan demikian, zeolit merupakan mineral yang terdiri dari kristal alumino silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensi. Ion-ion logam tersebut dapat diganti oleh kation lain tanpa merusak struktur zeolit dan dapat menyerap air secara reversibel. (Las, 2004)

Menurut Sukandarrumidi (1999) Zeolit merupakan mineral alam yang terdiri dari kristal aluminium silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali-alkali tanah (terutama Ca dan Na) dalam rangka tiga dimensi yang terbatas dengan rongga-rongga. (Rohmanti, 2005).

2.5.2. Struktur Zeolit

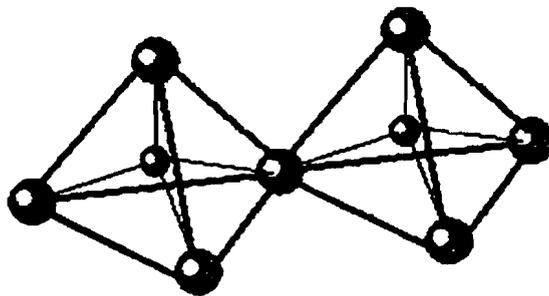
Zeolit biasanya ditulis dengan rumus kimia oksida atau berdasarkan satuan sel kristal $M_{2/n}O \cdot Al_2O_3 \cdot a \cdot SiO_2 \cdot b \cdot H_2O$ atau $M_{c/n} \{(AlO_2)_c(SiO_2)_d\} \cdot b \cdot H_2O$. Nilai n adalah valensi logam, a dan b adalah molekul silikat dan air, c dan d adalah jumlah tetrahedra alumina dan silika. Rasio d/c atau SiO_2/Al_2O

bervariasi dari 1-5. Zeolit tidak dapat diidentifikasi hanya berdasarkan analisa komposisi kimianya saja, melainkan harus dianalisa strukturnya. (Las, 2004)

Unit pembentukan utama yang membangun struktur mineral zeolit menurut Barrer (1978), adalah SiO_2 dan Al_2O_3 yang mempunyai bentuk tetrahedral. Unit pembentuk saling mengikat membentuk anionic 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 segala arah. (Rohmanti, 2005).

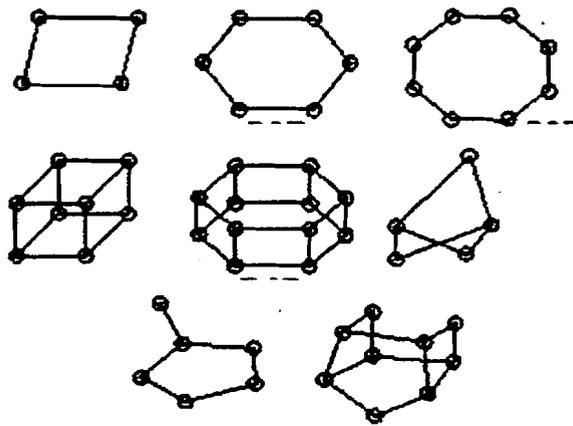
Unit-unit pembentuk struktur yang secara garis besar dibagi dalam dua bagian utama, yaitu :

1. Unit pembentukan primer adalah (SiO_4) dan (AlO_4^{2-}) yang berbentuk tetrahedral.



Gambar 2.3. Struktur pembentukan primer zeolit

2. 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 dari dua cincin lingkaran 4. (Rohmanti, 2005)



Gambar 2.4. Struktur pembentukan sekunder zeolit

2.5.3. Sifat Fisik Zeolit

Bahan galian ini menunjukkan warna segar hijau muda, warna lapuk coklat kehijauan, struktur berlapis/laminasi, tekstur klasik, sortasi buruk, kemas terbuka, agak keras dan agak kompak. Sedangkan dari analisa fisik didapatkan:

- Berat jenis : 1.12 gr/cm³
- Kuat tekan : 105.2 kg/cm³
- Keausan : 6.0749 mm/menit
- KTK (Kapasitas Penukar Ion) : 72.13 – 97.35 me/100 gr

Secara kimia kandungan zeolit yang utama adalah: $\text{SiO}_2 = 62,75\%$; $\text{Al}_{203} = 12,71\%$; $\text{K}_2\text{O} = 1,28\%$; $\text{CaO} = 3,39\%$; $\text{Na}_2\text{O} = 1,29\%$; $\text{MnO} = 5,58\%$; $\text{Fe}_{203} = 2,01\%$; $\text{MgO} = 0,85\%$; Clinoptilotit = 30 %; Mordernit = 49 %.
(Anonim, 2004)

Menurut proses pembentukannya zeolit dapat digolongkan menjadi dua kelompok, yaitu:

1. Zeolit alam

Zeolit di alam terbentuk karena proses diagenetik, proses hidrotermal dan proses sedimentasi batuan produk gunung api (batuan piroklastik) berukuran debu pada lingkungan danau yang bersifat alkali. Mineral-mineral yang termasuk dalam grup zeolit pada umumnya dijumpai dalam batuan tufa yang terbentuk dari hasil sedimentasi debu gunung api yang telah mengalami proses alterasi. Mineral-mineral utama pembentuk zeolit hanya ada sembilan jenis, yaitu analsim, kabasit, klinoptilotit, Erionit, mordenit, ferrierit, heulandit, laumontit dan fillipsit (Anonim, 2004).

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 dapat dikelompokkan menjadi empat sesuai dengan perbandingan komposisi Al dan Si, yaitu zeolit kadar Si rendah, zeolit kadar Si sedang, zeolit kadar Si tinggi. (Anonim, 2004).

Tabel 2.6. Perbedaan mineral zeolit alam dan buatan

Macam Perbedaan	Mineral Zeolit Alam	Mineral Zeolit Buatan
Jenis mineral	Terbatas pada mineral	Semua jenis mineral zeolit dapat dibuat sintetis
Kemurnian	Umumnya mengandung bahan Fe	Dapat dibuat dengan kemurnian tinggi
Garis tengah ruang kosong	Terbatas pada mineral terbesar hanya mineral khabasit dan erionit	Dapat dibuat garis tengah 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	

Sumber : Anonim, 1985 (Rohmanti, 2005)

2.5.4. Sifat-sifat Zeolit

Zeolit mempunyai struktur berongga dan biasanya rongga ini diisi oleh air dan kation yang bisa dipertukarkan dan memiliki ukuran pori tertentu. Oleh karena itu dapat dimanfaatkan sebagai penyaring molekuler, penukar ion, penyerap bahan, dan katalisator.

Sifat zeolit meliputi :

a. Dehidrasi

Sifat dehidrasi dari zeolit akan berpengaruh terhadap sifat adsorpsinya.

Zeolit dapat melepaskan molekul air dari rongga permukaan dan

menyebabkan medan listrik meluas kedalam rongga utama dan akan efektif terinteraksi dengan molekul yang akan diadsorpsi. Jumlah molekul air sesuai dengan jumlah pori-pori atau volume ruang hampa yang akan terbentuk bila kristal zeolit tersebut dipanaskan.

b. Adsorpsi

Dalam keadaan normal ruang hampa kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang berada di sekitar 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. Selain mampu menyerap gas atau zat, zeolit juga mampu memisahkan molekul zat berdasarkan ukuran kepolarannya.

c. Penukar Ion

Ion-ion pada rongga atau kerangka elektrolit berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion dapat bergerak bebas sehingga pertukaran ion menjadi tergantung dari ukuran dan muatan maupun jenis zeolitnya. Sifat sebagai penukar ion dari zeolit antara lain tergantung dari : sifat kation, suhu, dan jenis anion. Penukaran kation dapat menyebabkan perubahan beberapa sifat zeolit seperti stabilitas terhadap panas, sifat adsorpsi dan sifat panas.

2.5.5. Manfaat Zeolit

2.5.5.1. Dalam bidang pengolahan limbah industri dan nuklir

Zeolit digunakan untuk pemisahan ammonia/ammonium ion dari air limbah industri, untuk pemisahan hasil fisi dari limbah radioaktif dan penggunaan dibidang limbah pertanian. (Las, 2004)

2.5.5.2. Bidang Proses Industri

Berdasarkan sifat sorpsinya terhadap gas dan hidrasi molekul air, zeolit digunakan untuk pengeringan pada berbagai produk industri. Sebagai "*drying agent*" dari senyawa organik, zeolit digunakan antara lain :

- pada proses pemurnian metil khlorida dalam industri karet
- pemurnian fraksi alkohol, metanol, benzen, xylene, LPG dan LNG pada industri petro- kimia
- untuk hidrokarbon propellents-fillers aerosol untuk pengganti freons
- penyerap klorin, bromin dan fluorin
- menurunkan humiditas ruangan.
- penyerapan gas dan penghilangan warna dari cairan gula pada pabrik gula.
- campuran filter pada rokok

Dalam industri petrokimia zeolit digunakan pada proses isomerisasi, hidrosulfonisasi, hidrokraking, hidrogenasi, reforming, dehidrasi, dehidrogenasi dan de-alkilasi, kraking parafin, disportion toluen/benzen dan xylen. (Las, 2004)

2.5.6. Bidang Pertanian dan Lingkungan

Zeolit digunakan sebagai "*soil conditioning*" yang dapat mengontrol dan menaikkan pH tanah serta kelembaban tanah. Penambahan zeolit pada pupuk kandang ternyata juga akan meningkatkan proses nitrifikasi. Pada saat ini bidang pertanian merupakan pemakai zeolit terbesar di Indonesia. Disamping untuk "*slow release fertilizer*", zeolit juga digunakan untuk sebagai carrier pestisida/herbisida dan fungisida.

Dalam bidang peternakan, zeolit juga digunakan sebagai "food supplement" pada ternak ruminansia dan non-ruminansia masing-masing dengan dosis 2.5 - 5% dari rasio pakan perhari yang dapat meningkatkan produktivitas baik susu, daging dan telur, laju pertumbuhan serta memperbaiki kondisi lingkungan kandang dari bau yang tidak sedap. Dalam hal fauna laut, zeolit berperan sebagai pengontrol pH air dan penyerap NH_3NO_3^- dan H_2S , filter air masuk ke tambak, pengontrol kandungan alkali, oksigen dan perbaikan lahan dasar tambak melalui penyerapan logam berat Pb, Fe, Hg, Sn, Bi dan As.

Dalam masalah lingkungan terutama masalah polusi udara zeolit juga pernah ditaburkan dari pesawat terbang diatas reaktor Chernobil untuk maksud menyerap hasil fisi yang terdapat dalam jatuhan debu radioaktif (*fall out*) akibat kebakaran reaktor Sovyet tahun 1985.

Zeolit digunakan dalam proses penyerapan gas seperti :

- o gas mulia antara lain Ar, Kr dan gas He,

- gas rumah kaca (NH_3 , CO_2 , SO_2 , SO_3 dan NO_x),
- gas organik CS_2 , CH_4 , CH_3CN , CH_3OH , termasuk pirogas dan fraksi etana/etilen,
- pemurnian udara bersih mengandung O_2 ,
- penyerapan gas N_2 dari udara sehingga meningkatkan kemurnian O_2 diudara. (Las, 2004).

2.5.7. Aktivasi Zeolit

Untuk penggunaan Zeolit sebagai zat penyerap perlu terlebih dahulu dilakukan proses aktivasi, yaitu untuk meningkatkan sifat-sifat khusus zeolit dengan cara menghilangkan unsur-unsur pengotor dan menguapkan air yang terperangkap dalam pori kristal zeolit. Ada dua cara yang umum digunakan dalam proses aktivasi zeolit, yaitu pemanasan pada suhu $200\text{--}400^\circ\text{C}$ selama 2-3 jam, dan kimia dengan menggunakan pereaksi NaOH atau H_2SO_4 . (Anonim, 2003)

2.6. Katalis

Katalis adalah sejumlah zat atau materi bila ditambahkan pada suatu reaksi kimia serta dapat mempercepat reaksi itu sendiri. Ada beberapa catatan tentang katalis yaitu : komposisi kimia dari katalis tidak berubah pada akhir reaksi katalis tidak mempengaruhi keadaan akhir suatu reaksi kesetimbangan (tidak mengubah harga tetapan kesetimbangan) dan katalis tidak memulai reaksi tetapi mempengaruhi laju reaksi

Katalis terbagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Katalis homogen

Katalis homogen adalah katalis yang mempunyai fasa sama dengan pereaksi, semuanya gas, cair yang dapat bercampur atau semuanya dalam larutan.

2. Katalis heterogen

Katalis heterogen adalah katalis yang mempunyai fasa yang tidak sama dengan pereaksi. Pada umumnya katalis adalah padatan sedangkan pereaksi terbanyak adalah gas dan cairan.

Ada 5 (lima) tahap yang terjadi dalam reaksi katalis oleh katalis heterogen. Ke-lima tahap tersebut adalah : difusi molekul reaktan ke permukaan katalis, adsorpsi reaktan oleh permukaan katalis, reaksi katalis pada permukaan, pelepasan produk reaksi dari permukaan katalis dan difusi produk kembali ke sistem reaksi.

Menurut Xianzhi (1995), kemampuan katalis bergantung pada permukaan zat padat berpori yang biasanya dikenal sebagai penopang katalis. Beberapa contoh penopang katalis yang sering digunakan diantaranya adalah: silica gel, alumina, karbon. Dari sekian banyak katalis yang mampu menurunkan polutan SO_x diantaranya adalah Titanium Oksida (TiO_2) (Guntoro dkk, 2004).

2.7. Titanium Oksida (TiO_2)

Oksida TiO_2 merupakan padatan berwarna putih, tidak larut dalam HCl, HNO_3 dan aquaregia tetapi dapat larut dalam asam sulfat pekat membentuk titanium sulfat, $\text{Ti}(\text{SO}_4)$. (Guntoro dkk, 2004)

TiO_2 merupakan jenis oksida logam yang digunakan untuk pemilar. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Wilson (C&EN, 1996) menyatakan bahwa katalis TiO_2 mampu memecahkan berbagai polutan senyawa organik (Guntoro dkk, 2004)

Titanium dioksida memiliki tiga struktur kristal, yaitu *rutil*, *anatase*, dan *brukit*. Hanya *rutil* dan *anatase* yang cukup stabil keberadaannya dan biasa digunakan sebagai katalis. Perbedaan struktur kristal tersebut juga mengakibatkan perbedaan tingkat energi struktur pita elektroniknya. Tingkat energi hasil hibridisasi yang berasal dari kulit *3d* titanium bertindak sebagai pita konduksi, sedangkan tingkat energi hasil hibridisasi dari kulit *2p* oksigen bertindak sebagai pita valensi. Sebagai konsekuensinya posisi tingkat energi pita valensi, pita konduksi, dan besarnya energi gap diantara keduanya akan berbeda bila lingkungan dan/atau penyusunan atom Ti dan O didalam kristal TiO_2 berbeda. (Jarnuzi, 2001).

Dalam pilarisasi zeolit, TiO_2 merupakan suatu alternatif yang baik didasarkan pada alasan bahwa lempung terpillar TiO_2 memiliki luas permukaan dan keasaman permukaan yang lebih tinggi dibanding dengan pemilar oksida

lain yang pernah dilakukan. Menurut Long dan Yang (1999) serta Sychev dkk (2000), pilarisasi lempung dengan TiO_2 memiliki beberapa keunggulan dibanding dengan oksida yang lain, yaitu (1) memiliki kestabilan terhadap panas maupun *hydrothermal* yang relatif tinggi; (2) memiliki sifat yang cukup unik, yaitu dapat meningkatkan luas permukaan dan keasaman; (3) dalam penerapannya sebagai katalis reduksi katalik selektif mempunyai ketahanan yang relatif tinggi terhadap gas beracun SO_2 . selain itu, kelebihan TiO_2 adalah tidak toksik dan harganya murah. (Guntoro dkk, 2004)

Tabel 2.7. Sifat fisik dan mekanik TiO_2

Densitas	4 gcm^{-3}
Porositas	0%
Modulus rekah	140 Mpa
Kekuatan kemampatan	680 Mpa
Rasio poisson's	0.27
Modulus elastisitas	230 Gpa
Resistivitas (25 °C)	10^{12} ohm.cm
Resistivitas (700 °C)	2.5×10^4 ohm.cm
Konstanta dielektrik (1 MHz)	85
Kekuatan dielektrik	4 kV mm^{-1}
Ekspansi thermal (RT-1000 °C)	9×10^{-6}
Konduktivitas thermal (25 °C)	11.7 Wmk^{-1}
Titik Lebur	1830 - 1850 °C
Titik didih	2500 - 3000 °C

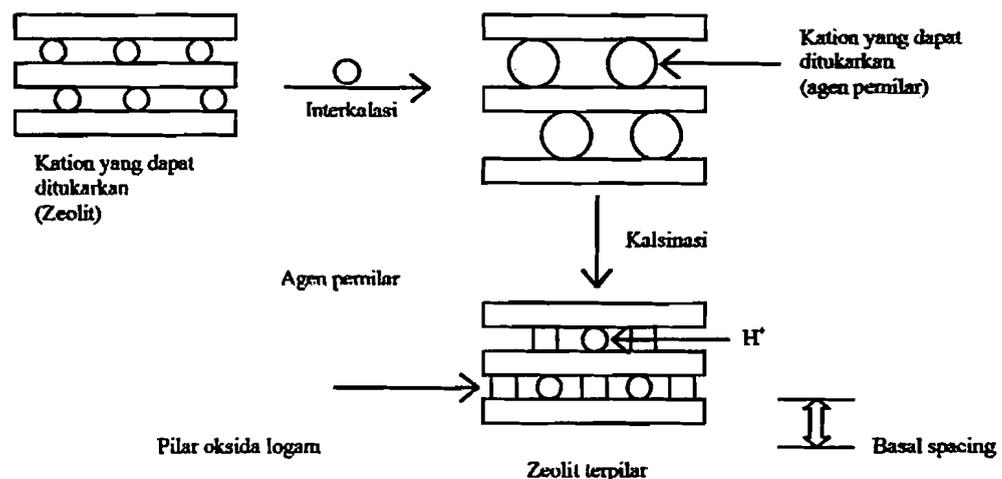
Sumber : Guntoro dkk, 2004

2.8. Pilarisasi

Menurut Ogawa (1992), 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

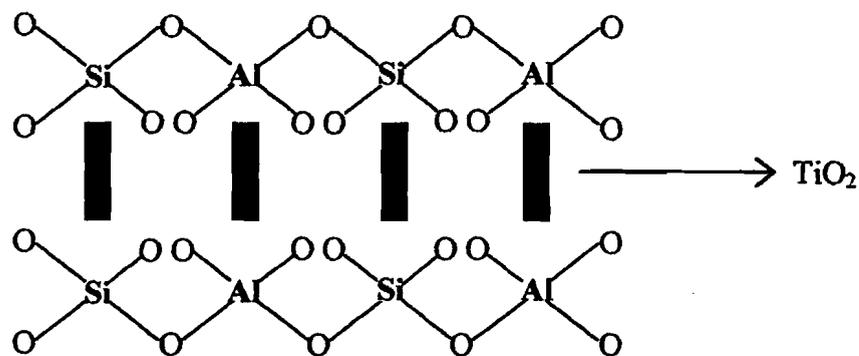
dalam antar lapis material berlapis dengan tidak merusak struktur lapisan tersebut. (Guntoro dkk 2004).

Pilar-pilar oksida logam yang terbentuk berfungsi sebagai pengikat antar lapis silikat lempung sehingga struktur yang dimiliki lempung lebih kuat dan relatif lebih kuat terhadap perlakuan panas dibanding dengan lempung tanpa terpillar yang dapat mengalami kerusakan struktur diatas temperatur 200 °C. Pemiliran antar lapis silikat lempung zeolit dengan titanium oksida (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 Na^+ , K^+ , dan Ca^+ yang ada pada zeolit.



Gambar 2.5. Skema pembentukan pilar zeolit (Guntoro dkk, 2004)

Terbentuknya pilar atau tiang oleh molekul TiO_2 menurut Cheng dan Yang (1995) menjadikan antar lapis silikat akan terekspansi atau terhalangi oleh adanya molekul tersebut karena molekul yang terbentuk memiliki ukuran relatif lebih besar dari molekul asalnya. (Guntoro dkk, 2004)



Gambar 2.6. Pemilaran antar lapis silikat lempung dengan TiO_2

Menurut Sumerta (2002) pilar TiO_2 pada antar lapis silikat lempung berfungsi sebagai penghalang sekaligus pengikat antar lapis lempung. Pengikat basal spacing lempung setelah pemilaran berpengaruh terhadap sifat-sifat lempung tersebut seperti luas permukaan spesifik, porositas dan keasaman permukaan. (Guntoro, dkk, 2004).

2.9. Adsorpsi

Adsorpsi adalah suatu akibat dari medan gaya pada permukaan padatan (adsorben) yang menarik molekul-molekul gas atau cair (adsorbat).

Menurut Bear (1958), adsorpsi adalah suatu perubahan konsentrasi komponen antara batas lapisan dan bagian dalam dari fasa yang berdekatan. Terjadinya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan padatan yang tidak seimbang mengakibatkan terjadinya proses adsorpsi. Peristiwa ini cenderung menarik molekul-molekul yang bersentuhan dengan permukaan padatan, baik fasa gas maupun fasa larutan kedalam permukaan padatan. (Guntoro, dkk, 2004)

Ada dua jenis adsorpsi, yaitu :

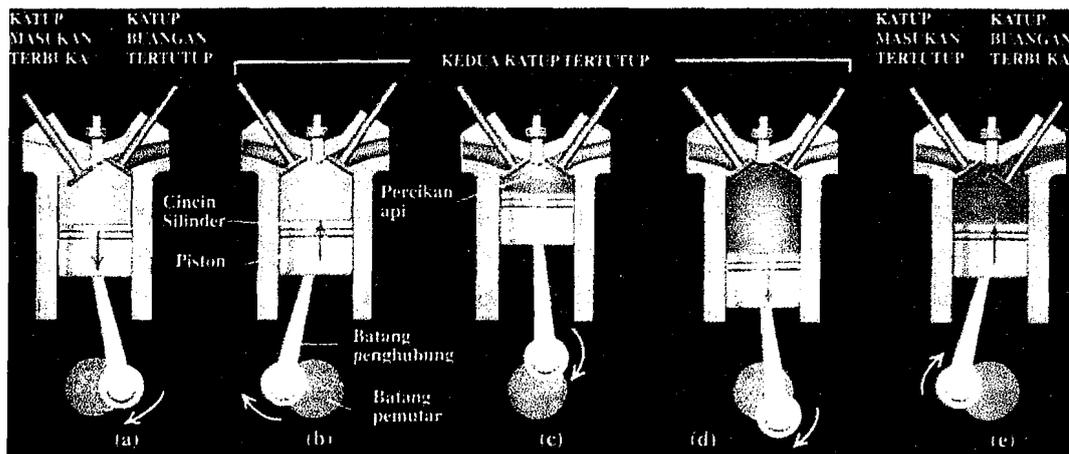
1. Adsorpsi fisika, yaitu adsorpsi yang disebabkan gaya van der Waals yang ada pada permukaan adsorben atau ikatan-ikatan hidrogen. Yaitu adanya gaya tarik menarik antara molekul-molekul. Proses ini sepenuhnya bersifat *reversible*.
2. Adsorpsi kimia, yaitu terjadi akibat adanya interaksi kimia antara zat penyerap dan terserap. Proses adsorpsi merupakan proses *irreversible*. (Margono, dkk 1991).

2.10. Pembakaran Kendaraan Bermotor

2.10.1. Mekanisme Pembakaran

Mesin bensin, yang dipakai pada mobil dan banyak jenis mesin lainnya, adalah contoh umum sebuah mesin kalor (pembakaran-dalam). Gambar 2.7. menunjukkan operasi mesin pembakaran-dalam empat langkah. Pertama-tama, campuran udara dan uap bensin mengalir kedalam silinder melalui katup masukan yang terbuka ketika piston turun, pada akhir langkah masukkan ini,

katup masukan menutup dan campuran terkompresi. Campuran ini kemudian dinyalakan oleh percikan api dan gas yang panas berekspansi hampir secara adiabatik mendorong piston dan melakukan kerja. Akhirnya katup pembuangan terbuka dan produk pembakaran terdorong ke luar (selama langkah penutupan) meninggalkan silinder yang siap melakukan langkah masukan selanjutnya.



Gambar.2.7. Siklus mesin pembakaran dalam empat langkah

Dari gambar diatas diketahui bahwa terdapat 4 tahapan, yaitu:

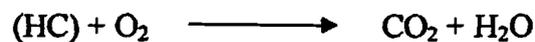
- (a) Langkah masukan: piston turun, menyebabkan vakum sebagian didalam silinder, campuran bensin dan udara mengalir kedalam silinder melalui katup masukan yang terbuka.
- (b) Langkah kompresi: katup masukan menutup, dan campuran terkompresi saat piston naik.
- (c) Penyalaan: percikan api menyalakan campuran.

Langkah pembuangan: katup pembuangan membuka dan piston naik, mendorong campuran yang terbakar keluar dari silinder. Sekarang mesin siap lagi untuk langkah masukan berikutnya, dan siklus terus berulang

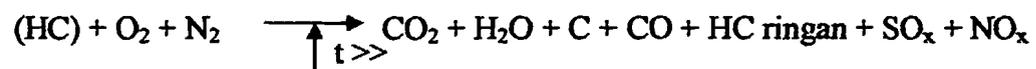
2.10.2. Proses Pembakaran Pada kendaraan Bermotor

Menurut Strehlow (1985) dalam pembakaran kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar campuran persenyawaan hidrokarbon (HC) memenuhi reaksi sebagai berikut :

1. Reaksi dengan pembakaran sempurna



2. Reaksi dengan pembakaran tidak sempurna

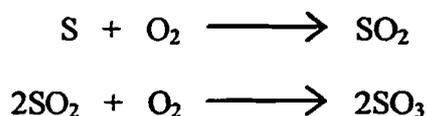


Apabila pembakaran dapat berlangsung sempurna seperti pada reaksi pertama maka semua atom oksigen (O_2) yang ada dalam udara bereaksi dengan atom-atom dari bahan bakar, sedangkan nitrogen yang ada tetap tidak bereaksi dengan oksigen, pada reaksi pembakaran sempurna hasil reaksinya tidak terdapat CO ataupun NO_x . tetapi pada kenyataannya dalam setiap pembakaran selalu terdapat hasil pembakaran berupa CO, NO_x , SO_x ataupun HC. Berarti pembakaran berlangsung tidak sempurna. (Rohmanti, 2005)

2.11. Mekanisme Pembentukan SO_x dan HC Dari Kendaraan Bermotor

Mekanisme pembentukan SO_x menurut Agung (2003), jauh lebih sederhana dibandingkan dengan zat-zat pencemar lingkungan lainnya. Hal ini karena SO_x merupakan produk alami dari proses pembakaran apabila bahan bakar yang digunakan mengandung sulfur. Produk pembakaran ini sebagian besar akan berbentuk SO₂ dan sebagian kecil akan berbentuk SO₃, jadi dalam hal ini yang lebih dominan adalah gas SO₂. Di udara SO₂ akan berubah lebih lanjut menjadi SO₃. (Rohmanti, 2005).

Secara keseluruhan reaksi pembentukan SO_x dari sulfur yang terkandung dalam bahan bakar dapat dituliskan dalam reaksi sebagai berikut:

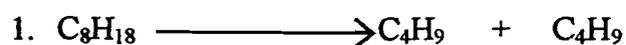


Menurut Obert (1982), reaksi yang terjadi adalah reaksi eksotermik, dengan jumlah kalor yang dilepaskan 296.800 kJ/kgm pada suhu 25 °C. Pada reaksi pembentukan SO₂ sejumlah kecil sulfur trioksida (SO₃) juga terbentuk pada reaksi pembakaran. Perbandingan pembakaran bahan bakar fosil dengan pembentukan SO₂ / SO₃ adalah 40 : 1 sampai 80 : 1. (Rohmanti 2005).

Hidrokarbon menjadi bahan pencemar udara dikarenakan apabila hidrokarbon dalam bahan bakar tidak tercampur saat pembakaran sehingga tidak bereaksi dengan oksigen, maka hidrokarbon ini akan keluar dengan gas buang hasil pembakaran. Kemungkinan lain, hidrokarbon yang tidak ikut



terbakar dengan oksigen akan mengalami pemecahan (*cracking*) akibat adanya suhu (panas) yang tinggi dari hasil pembakaran. Peristiwa pemecahan (*cracking*) pada suhu tinggi tersebut akan menghasilkan beberapa kemungkinan reaksi. (Wardhana, 1994). Sebagai contoh pemecahan (*cracking*) terhadap oktana C_8H_{18} akan menghasilkan reaksi-reaksi sebagai berikut :



2.12. Gaya Sentrifugal

Gaya sentrifugal adalah gaya untuk menahan benda berada disana atau menjaga benda dalam keadaan setimbang. (Sears, dkk. 1987). Benda dikatakan dalam keadaan setimbang berarti (1) bahwa benda sebagai keseluruhan tetap tidak bergerak atau bergerak sepanjang garis lurus dengan laju tetap, dan (2) bahwa benda sama sekali tidak berotasi atau berotasi dengan laju tetap. Sesuai dengan hukum pertama Newton "Setiap benda tetap dalam keadaan diam, atau bergerak sepanjang garis lurus dengan laju tetap, kecuali bila dipaksa untuk merubah keadaan tersebut oleh gaya-gaya yang diberikan padanya"

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Jenis Penelitian

Jenis penelitian merupakan jenis penelitian eksperimen.

3.2. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di 2 (dua) tempat, yaitu :

- a. BATAN, sebagai tempat pembuatan adsorben.
- b. KPDL Kota Yogyakarta dan Laboratorium Kualitas Lingkungan Universitas Islam Indonesia, sebagai tempat analisa emisi gas buang

3.3. Objek Penelitian

Penggunaan adsorben Zeolit terpillarisasi TiO_2 dengan gaya sentrifugal dalam mengabsorpsi kadar emisi Sulfur Okasida (SO_x) dan Hidrokarbon (HC) kendaraan jenis sepeda motor 4 langkah roda 2 Honda Supra tahun 2003.

3.4. Teknik Pengumpulan Data

- a. Data primer : merupakan data yang didapat pada saat pelaksanaan penelitian.
- b. Data sekunder : merupakan data yang diperoleh dari literatur pustaka.

3.5. Variabel Penelitian

- a. Terdiri dari variabel bebas yaitu temperatur pembuatan adsorben dari 200°C, 300°C dan 400°C serta kosentrasi TiO₂ yang terpillarisasi dalam zeolit dari 5%, 10% dan 15%, dan zeolit tanpa TiO₂.
- b. Variabel terikat : Kadar emisi SO_x dan hidrokarbon setelah melewati adsorben.

3.6. Tahapan Penelitian

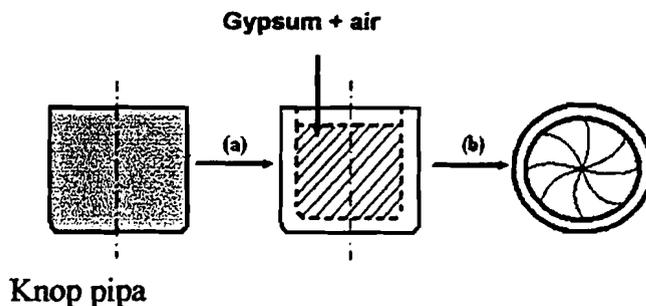
3.6.1. Tahapan Persiapan

3.6.1.1. Pemilihan Bahan Perekat

Pemilihan bahan perekat dengan menggunakan bahan perekat semen, gula, glatin dan kanji. Metode pemilihan bahan perekat dilakukan dengan cara uji tekan dan uji visual berdasarkan pada kerapuhan adsorben

3.6.1.2. Pembuatan cetakan media Adsorben

Bentuk media adsorben adalah lingkaran dengan menggunakan knop pipa berdiameter $1 \frac{1}{2}$ *inchi* sebagai cetakan. Bentuk baling-baling pada media adsorben dibentuk dengan menggunakan gypsum.



Gambar 3.1. Proses Pembuatan Cetakan Adsorben

Proses dari pembuatan cetakan adsorben terdiri dari dua tahap yaitu: tahap pembuatan gypsum padat dan tahap pengukiran gypsum. Pembuatan gypsum padat adalah dengan mencampurkan bubuk gypsum dengan air secukupnya hingga rata kemudian dimasukkan kedalam knop pipa. Tahap pengukiran gypsum dapat dilakukan setelah gypsum yang terdapat dalam knop pipa benar-benar kering.

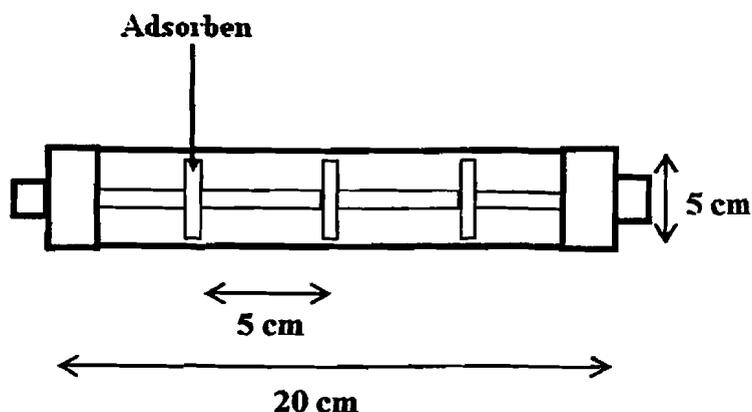
3.6.1.3. Proses Pembentukan Adsorben Sentrifugal

Dalam proses pembentukan adsorben yang dapat berputar sesuai dengan mekanisme gaya sentrifugal, dilakukan beberapa kali percobaan pembentukan lempengan adsorben dengan cara *tray and error* sampai terbentuk adsorben yang benar-benar dapat berputar.

Proses *tray and error* pembentukan lempengan adsorben yang dilakukan adalah dengan mencetak beberapa bentuk variasi lempengan, serta variasi lubang yang terdapat pada lempengan sebagai gaya aerodinamis dalam mendorong berputarnya lempengan akibat adanya tekanan udara dari proses pembakaran mesin motor.

3.6.1.4. Pembuatan Reaktor (knalpot)

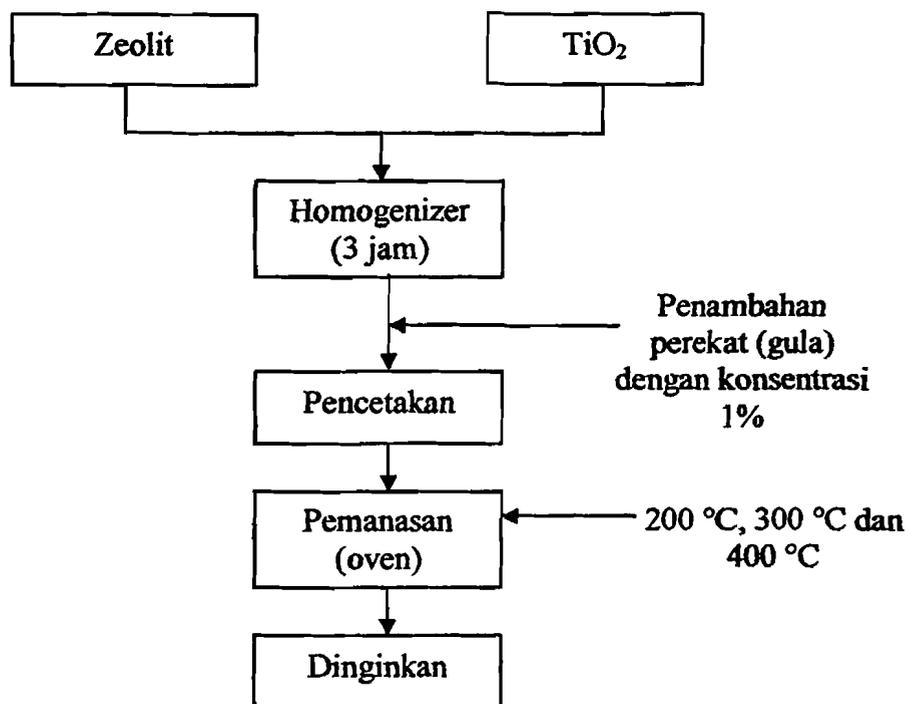
Reaktor yang berupa knalpot terbuat dari pipa *stainless steel* dengan ukuran diameter pipa 5 cm dan panjang 20 cm. Pada salah satu pangkal knalpot diberi as besi sebagai tempat adsorben. Untuk pemisah antara adsorben dipakai pipa aluminium dengan panjang 5 cm.



Gambar 3.2. Reaktor

3.6.1.5. Pembuatan Adsorben

Pembuatan adsorben TiO_2 terpoliarisasi dalam zeolit dengan perbandingan konsentrasi zeolit dan TiO_2 adalah 95%:5%, 90%:10% dan 85%:15%.



Gambar. 3.3. Diagram alir pembuatan adsorben zeolit terpoliarisasi oleh TiO_2 .

3.6.2. Tahap Pelaksanaan Analisa

3.6.2.1. Hidrokarbon

3.6.2.1.1. Metode Analisa

Metoda analisa untuk hidrokarbon adalah Non dispersive infra red (NDIR) dengan alat HC Analyzer (autochek gas and smoke). Prinsip dari metode ini adalah penyerapan molekul gas HC oleh sinar infrared. Keuntungan dari metode ini otomatis, dapat dipakai secara kontinyu tidak terlalu peka pada perubahan kecepatan aliran udara, tidak membutuhkan bahan kimia basah dan cepat responnya.

Cara kerja metode NDIR didasarkan pada adsorbasi dari radiasi infra merah oleh HC. Energi dari suatu sumber cahaya yang memancarkan radiasi diteruskan langsung melalui sel acuan dan sel sampel. Sinar tersebut kemudian dilewatkan kedalam sel-sel yang berlawanan, yang masing-masing mengandung suatu detektor yang selektif dari HC. Gas HC dalam sel akan menyerap radiasi infra red hanya pada frekwensi tertentu, demikian juga detektor, yang kemudian menggeser diafragma. Pergeseran ini dideteksi secara elektronik, dan dibesarkan untuk dapat dibaca pada suatu signal.

3.6.2.1.2. Prosedur Pengambilan Sampel

Prosedur persiapan dalam pengujian :

1. Kondisi tempat uji

Kondisi sekitar (luar) : suhu udara luar untuk pengujian kendaraan dan peralatan uji berada sekitar 0 sampai 40 °C.

- a. tempatkan alat uji gas analyzer diatas stand/cabinet dan letakkan pada tempat yang rata.
- b. Jaga jarak antara bagian belakang analyzer dan dinding atau penghalang lain minimal 30 cm, agar sistem pendingin tidak terganggu.
- c. Jangan menepatkan gas analyzer dekat pada sumber polusi/debu, sinar matahari langsung. Misal : bakaran sampah, oven, kompor, pengujian ditengah lapangan tanpa ada penghalang (atap).

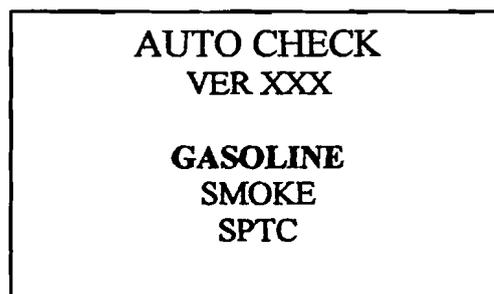
2. Kondisi motor dan kendaraan

- a. Kendaraan yang diuji berada tempat yang datar.
- b. Segel pada mesin harus sesuai dengan spesifik pabrik.
- c. Sistem gas buang tidak boleh ada yang bocor jika bocor terlebih dahulu diperbaiki.
- d. Semua alat tambahan kecuali perlengkapan operasi standar mesin harus dimatikan dan posisi tanpa beban.
- e. Kendaraan dengan transmisi biasa, posisi gigi harus pada posisi netral N dan kopling pada posisi bebas.

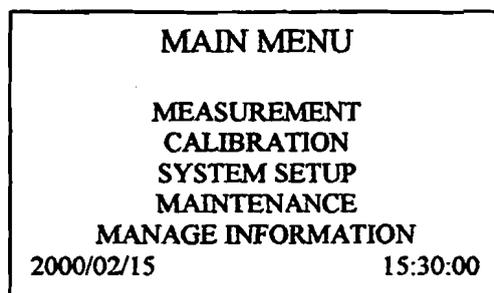
- f. Motor penggerak terlebih dahulu dipanaskan hingga mencapai suhu kerja normal (80 °C).
- g. Choke (jika ada) keadaan tidak bekerja.
- h. Putaran idling motor penggerak harus stabil.
- i. Bahan bakar yang digunakan harus memenuhi persyaratan pemerintah.

Instruksi kerja alat dan pengoperasian

1. Nyalakan tombol on pada alat uji tunggu pemanasan alat selama 15 menit.
2. Setelah masa pemanasan usai, tekan tanda tombol Petrol (bensin) untuk pengujian pengambilan sampel.



3. Pilih tombol pengujian Official Measurement (OM) untuk memasukkan nomor kendaraan dan spesifikasi kendaraan.



4. Tekan tanda panah >>> untuk melanjut ke proses penyimpanan data pilih tombol (SAVE).
5. Tunggu selama 30 detik proses Tester is Stabilizing.
6. Masukkan probe kedalam knalpot (saluran buang) kendaraan, tunggu selama +/- 30 detik (ketika bacaan wait berganti menjadi next pada monitor).

CO ₂	0,02 %
CO	0.00 %
HC	0.00 ppm
O ₂	21,18
NEXT >>>	
2000/02/15	15:30:00

3.6.2.2. Sulfur Oksida (SO_x)

3.6.2.2.1. Metode Analisa

Metode analisa untuk SO_x adalah analisa spektrofotometri, yaitu penentuan bahan di dalam larutan atau air. Pada analisa ini menggunakan absorpsi spektrum yang dapat menunjukkan adanya suatu zat (pengenal suatu zat) dalam bentuk identifikasi warna..

Untuk menangkap suatu zat yang berasal dari udara (gas), maka digunakan zat penyerap yang berupa zat cair atau larutan yang dapat menyerap zat spesifik yang terkandung dalam gas, apabila gas tersebut telah melewati larutan penyerap. Larutan penyerap tersebut dinamakan reagen.

Pengambilan sampel gas SO_x menggunakan alat yang dinamakan tabung *midget impenger* yang telah diisi oleh reagen sebagai zat penyerap, dan digunakan pompa sebagai penghisap gas dari sumber sehingga gas tersebut dapat melawati reagen yang terdapat dalam impenger.

3.6.2.2.2. Persiapan

1. Pembuatan larutan penyerap (reagen)

Bahan-bahan yang diperlukan

- Asam Sulfamat 0.6 %

asam sulfamat 0.6 gram dilarutkan dengan aquades sampai 100 ml

- Formaldehid 0.2 %

5 ml formaldehid 36% - 38% diencerkan dalam aquadest sampai 1 liter

- Pararosanilin = PRA

Variasi A : 20 ml larutan PRA induk 0.2 % yang sudah dimurnikan ditambah 25 ml asam fosfat 3M, dimasukkan dalam labu takar 250 ml dan diencerkan dengan aquades sampai tanda batas.

- Pembuatan PRA induk 0.2 % yang dimurnikan :

a. 100 ml n butanol dan 100 ml HCL 1M dimasukkan dalam corong pemisah 250 ml kocok dan pisahkan lapisan yang ada (lapisan n butanol dan lapisan asam)

b. PRA sebanyak 0.1 gram dimasukkan dalam gelas piala, ditambahkan 50 ml HCL yang sudah dipisahkan dan tunggu beberapa menit.

- c. dimasukkan dalam corong pemisah 125 ml dan ditambahkan 50 ml n butanol, dikocok kemudian pisahkan lapisan asam yang ada
- d. lapisan asam yang sudah dipisahkan tadi diekstraksi dengan n butanol. Dilakukan 5 kali masing-masing dengan 20 ml n butanol.
- e. lapisan asam hasil ekstraksi disaring melalui kapas dan masukkan dalam labu takar 50 ml dan tepatkan dengan HCL 1M sampai tanda batas

- Pembuatan HCL 1M

8.6 ml HCL pekat diencerkan dengan aquades sampai 100 ml

- Pembuatan H_3PO_4 3M

20.5 ml asam fosfat pekat diencerkan dengan aquades sampai 100 ml

2. Pembuatan kurva kalibrasi

- Penentuan kadar SO_2 dalam larutan Na_2SO_3 .

a. Na_2SO_3 ditimbang sebanyak 0.4 gram dan diencerkan dengan aquades sampai 500 ml dengan labu takar

b. Penentuan kadar SO_2 dalam larutan Na_2SO_3 dengan titrasi balik sebagai berikut :

Blanko : 50 ml iodin 0.01 N dimasukkan kedalam erlenmeyer dan tambahkan 25 ml aquades.

Uji : 50 ml iodine 0.01 N dimasukkan kedalam erlenmeyer dan tambahkan 25 ml larutan Na_2SO_3 . Blanko dan uji diamkan 5 menit, kemudian masing-masing dititrasi dengan Natrium Tiosulfat 0.01 N

$$\text{Kadar SO}_2 (\mu/\text{ml}) = \frac{(A - B)N.K}{V}$$

A = mililiter tio yang digunakan untuk titrasi blanko

B = mililiter tio yang digunakan untuk titrasi uji

N = normalitas tio

K = konstanta 32.030

V = larutan yang dipipet (25 ml)

- Pembuatan kurva

- a. pereaksi penyerap SO_2 dimasukkan kedalam labu takar masing-masing 0.1 ml ; 0.3 ml ; 0.7 ml ; 0.9 ml, ditambahkan 1 ml asam sulfamat dan didiamkan selama 10 menit
- b. ditambahkan 2 ml formaldehid 0.2 % dan 5 ml PRA dan tambahkan aquades dingin yang baru dididihkan sampai tanda batas, didiamkan selama 30 menit
- c. dibaca adsorbensi dengan spectofotometer pada panjang gelombang yang ditentukan (PRA variasi $A = 548$)
- d. dibuat kurva klibrasi yang menyatakan hubungan adsorbensi dengan konsentari $\text{SO}_2 (\mu\text{g})$

- e. kurva kalibrasi yang dihasilkan harus mempunyai koefisien arah tidak lebih dari adsorbensi 0.2

3.6.2.2.3. Prosedur Pengambilan Sampel

1. Peralatan

- a. Tabung *midget impinger* yang telah dilengkapi pompa hisap (*vacuum pump*) dengan *flow controler*, juga selang dan corong sebagai penghubung antara tabung impenger dengan sumber.
- b. Tabung reaksi sebagai penyimpan reagen sebelum dimasukkan kedalam impinger
- c. Tabung plastik bekas roll film lengkap dengan tutupnya untuk menyimpan reagen setelah dilakukan sampling
- d. Stopwatch

2. Pengambilan contoh

- a. 10 ml pereaksi penyerap dimasukkan ke dalam tabung *midget impinger*
- b. pompa penghisap dinyalakan, dan diatur kecepatan aliran udara yang masuk. Kecepatan aliran udara tersebut sama nilainya selama pengujian berlangsung
- c. selang dari sumber dirangkaikan ke rangkaian impenger
- d. Pengambilan sampel (sampling) dilakukan selama kurun waktu 5 menit.
- e. Setelah selesai sampling, larutan reagen dimasukkan ke dalam tabung plastik bekas film dengan maksud sebagai penyimpan sementara larutan

reagen sebelum dilakukan uji atau analisa, kemudian disimpan di dalam es box.

3. Cara uji / analisa

- contoh dengan kondisi suhu kamar dimasukkan ke dalam labu takar 25 ml.
- ditambahkan 1 ml asam sulfamat 0.6 % diamkan 10 menit.
- ditambahkan 2 ml formaldehid 0.2 %, 5 ml PRA murni variasi A dan ditambahkan aquades dingin yang baru dididihkan sampai tanda batas didiamkan selama 30 menit.
- dibaca adsorbensi dengan spectofotometer pada panjang gelombang 548 nm.
- blanko diperlakukan sama seperti uji.
- Harga adsorbensi yang didapat dialurkan pada kurva kalibrasi.

$$\text{Kadar SO}_2 \text{ (ppm)} = \frac{\text{kadar (kurva)}}{\text{volume udara}} \times \frac{V1}{V2} \times \text{faktor konversi SO}_2$$

V1 = volume contoh dalam *midget impinger*

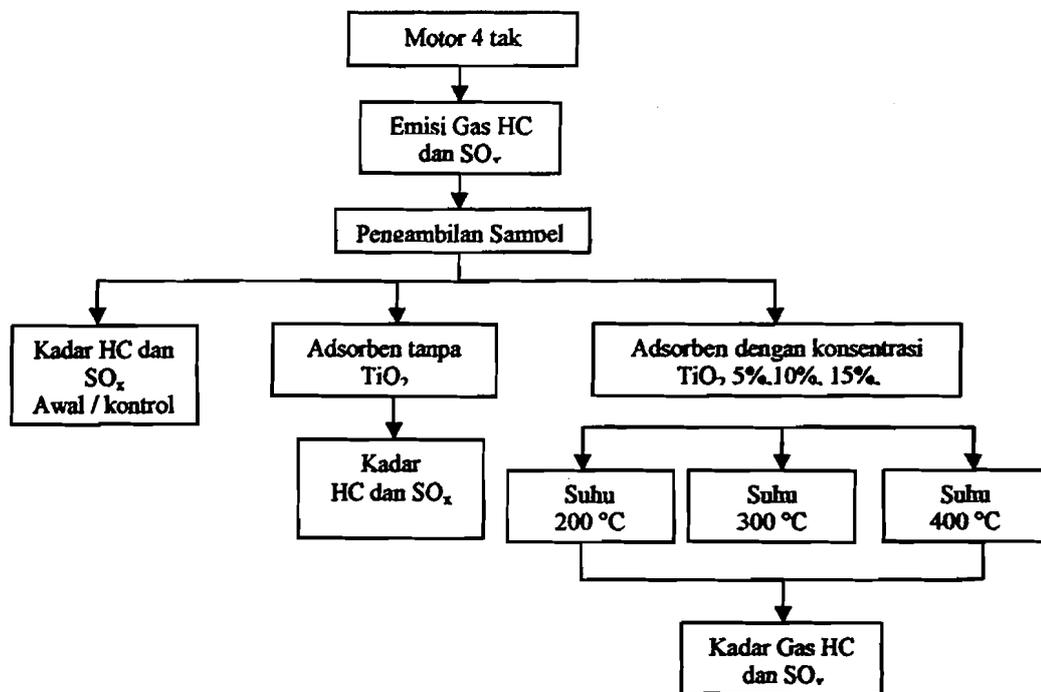
V2 = volume contoh yang dianalisa

Factor konversi SO₂ 1 μg/m³ = 3.82 . 10⁻⁴ ppm

3.6.2.2.4. Pelaksanaan Pengambilan Sampel

Dalam pelaksanaan pengambilan sampel hidrokarbon dan SO_x emisi gas buang kendaraan bermotor ini dilakukan secara terpisah, dikarenakan alat

dan metode yang digunakan tidak sama dan tidak dapat digabungkan. Pengulangan dalam pengambilan sampel adalah sebanyak tiga kali. Sampel yang akan diambil terdiri dari emisi kendaraan bermotor sebagai kontrol, emisi gas buang setelah melewati adsorben zeolit tanpa TiO_2 dan emisi gas buang setelah melewati adsorben zeolit yang terpolimerisasi oleh TiO_2 dengan konsentrasi 5%, 10% dan 15%.



Gambar. 3.4. Diagram Alir Pelaksanaan Percobaan

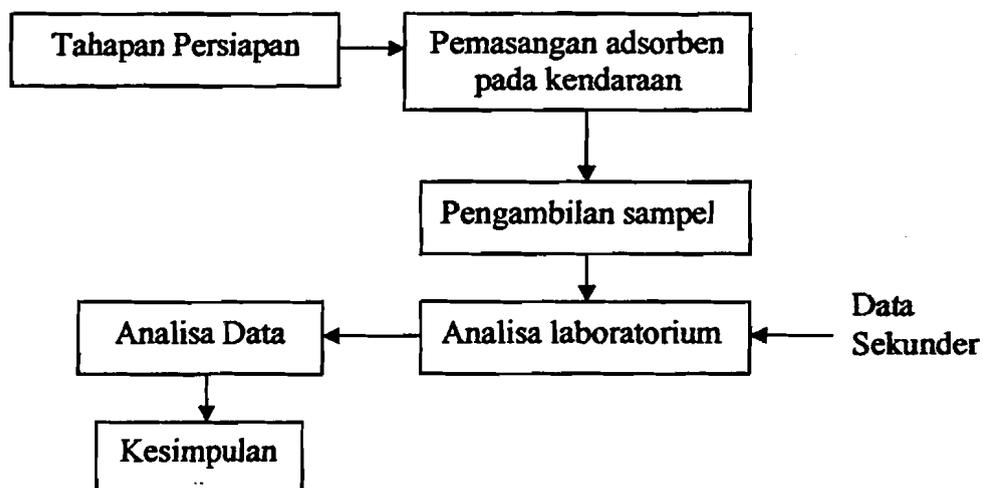
3.6.2.3. Analisa Data

Dalam analisa data yang dilakukan adalah mencari persentase removal adsorben TiO_2 terpilarisasi dalam zeolit dengan menggunakan adsorben zeolit tanpa TiO_2 sebagai kontrol, dengan rumus dibawah ini.

$$\% \text{HC} = \frac{\text{HC}_{\text{zeolit tanpa TiO}_2} - \text{HC}_{\text{zeolit terpilarisasi TiO}_2}}{\text{HC}_{\text{zeolit tanpa TiO}_2}}$$

$$\% \text{SO}_x = \frac{\text{SO}_x \text{ zeolit tanpa TiO}_2 - \text{SO}_x \text{ zeolit terpilarisasi TiO}_2}{\text{SO}_x \text{ zeolit tanpa TiO}_2}$$

3.6.2.4. Diagram alir penelitian



Gambar. 3.5. Diagram alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

Penelitian dilakukan pada kendaraan bermotor 4 langkah roda dua dengan menggunakan adsorben media zeolit terpoliarisasi TiO_2 sebagai penyerap emisi gas buang kendaraan bermotor berupa hidrokarbon (HC) dan sulfur oksida (SO_x). Variasi adsorben zeolit terpoliarisasi TiO_2 adalah zeolit murni atau 0% TiO_2 , 5% TiO_2 , 10% TiO_2 , dan 15% TiO_2 , dan tiga variasi suhu pemanasan adsorben yaitu 200 °C, 300 °C, 400 °C. Pemanasan berfungsi sebagai aktivasi adsorben zeolit, yaitu untuk meningkatkan sifat-sifat khusus yang terdapat pada zeolit. Dalam keadaan normal ruang hampa kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang berada disekitar kation. Bola kristal zeolit dipanaskan pada suhu 300 – 350 °C maka air tersebut akan keluar sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan. Waktu pemanasan dilakukan selama 3 jam.

Sebelum menggunakan adsorben dengan variasi TiO_2 dan suhu pemanasan yang ditetapkan dalam pengambilan sampel, dilakukan terlebih dahulu pengambilan sampel tanpa menggunakan media adsorben yang berfungsi sebagai kontrol, kontrol ini berfungsi sebagai pembandingan nilai emisi gas kendaraan bermotor sebelum menggunakan media adsorben dan setelah menggunakan media adsorben apakah terjadi penurunan gas emisi atau tidak.

Hasil analisis dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

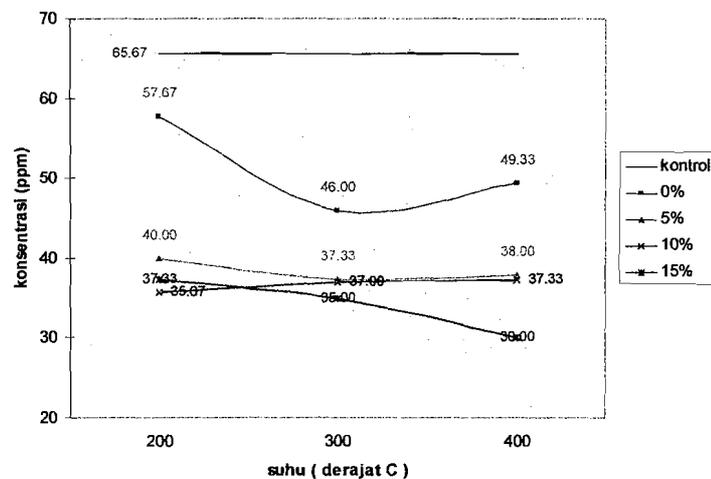
1. Hidrokarbon

Tabel 4.1. Hasil analisis hidrokarbon

No	Keterangan	Sampel (ppm)			rata-rata (ppm)
		1	2	3	
1	Kontrol	72	65	60	65.67
	0% TiO ₂				
2	200 °C	91	37	45	57.67
3	300 °C	40	36	62	46.00
4	400 °C	54	45	49	49.33
	5% TiO ₂				
5	200 °C	49	34	37	40.00
6	300 °C	34	36	42	37.33
7	400 °C	39	37	38	38.00
	10% TiO ₂				
8	200 °C	38	34	35	35.67
9	300 °C	37	37	37	37.00
10	400 °C	41	33	38	37.33
	15% TiO ₂				
11	200 °C	36	42	34	37.33
12	300 °C	36	33	36	35.00
13	400 °C	31	29	30	30.00

Sumber : Data primer 2005

Berdasarkan Tabel 4.1. dapat dilihat hubungan penurunan hasil uji emisi hidrokarbon terhadap suhu pemanasan adsorben zeolit pada Grafik 4.1 dibawah ini:



Gambar 4.1. Grafik hubungan hasil uji emisi HC terhadap suhu pemanasan

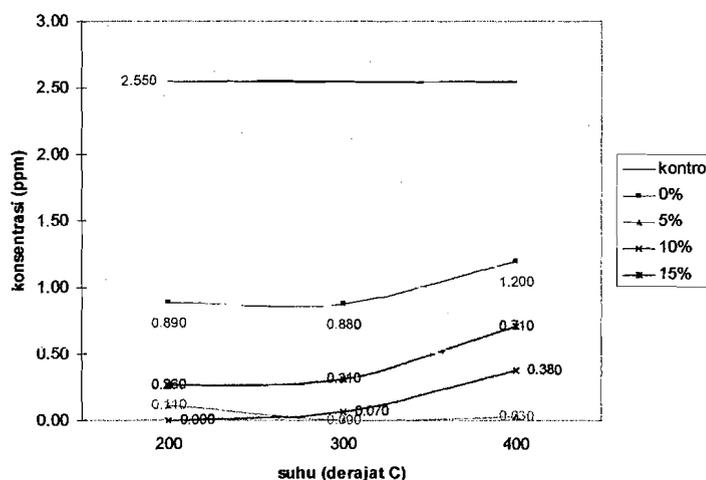
2. Sulfur oksida SO_x

Tabel 4.2. Hasil analisis SO_x

No	Keterangan	Sampel (ppm)			rata-rata (ppm)
		1	2	3	
1	Kontrol	1.50	2.74	3.42	2.55
	0% TiO_2				
2	200 °C	1.16	0.76	0.76	0.89
3	300 °C	1.33	0.88	0.42	0.88
4	400 °C	1.20	2.40	0.00	1.20
	5% TiO_2				
5	200 °C	0.31	0.03	0.00	0.11
6	300 °C	0.00	0.00	0.00	0.00
7	400 °C	0.00	0.08	0.00	0.03
	10% TiO_2				
8	200 °C	0.00	0.00	0.00	0.00
9	300 °C	0.14	0.08	0.00	0.07
10	400 °C	0.59	0.14	0.42	0.38
	15% TiO_2				
11	200 °C	0.26	0.14	0.37	0.26
12	300 °C	0.31	0.00	0.62	0.31
13	400 °C	0.71	0.00	0.42	0.71

Sumber : Data primer 2005

Berdasarkan Tabel 4.2. dapat dilihat hubungan penurunan hasil uji emisi SO_x terhadap suhu pemanasan adsorben zeolit pada Grafik 4.2 dibawah ini:



Gambar 4.2. Grafik hubungan efisiensi emisi SO_x terhadap suhu pemanasan

4.2. Pembahasan

4.2.1. Penggunaan Perekat

Untuk mencari perekat yang baik untuk dipakai dalam penelitian ini, dilakukan beberapa uji perekat yaitu dengan metode uji tekan dan uji visual pada media adsorben yang telah dicampur perekat. Perekat yang dipakai dalam uji perekat ini yaitu kanji, semen, gula dan gelatin.

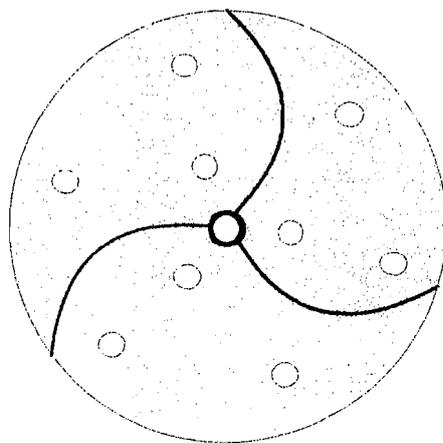
Pada tahap pertama pelaksanaan uji tekan dilakukan uji tekan dengan alat tekan hidrolik, dalam uji ini semua media adsorben tidak dapat dilihat mana yang lebih baik, karena semua media adsorben hancur dibawah nilai tekanan

yang terdapat pada alat. Tahap selanjutnya yaitu dengan uji visual, uji ini dilakukan dengan cara dilihat media adsorben dengan perekat yang lebih solid, dan didapatkan media adsorben dengan perekat gula yang lebih solid daripada media adsorben yang memakai perekat lainnya. Selain lebih solid, gula sangat mudah larut dalam air, sehingga pemerataan sebagai perekat dalam adsorben lebih merata.

4.2.2. Pembuatan Adsorben

Bentuk adsorben yang dipakai harus dapat berputar sesuai dengan gaya sentrifugal. Untuk dapat mencapai adsorben yang dapat berputar apabila terlewati udara hasil pembakaran dalam knalpot motor, dilakukan beberapa kali uji bentuk adsorben dan variasi lubang dalam adsorben

Bentuk pertama yang dibuat adalah dengan memakai tiga lengkungan dalam lempengan, dan memberikan tiga lubang di setiap bagian lengkungannya.



Gambar 4.3. Lempengan adsorben dengan tiga lengkungan

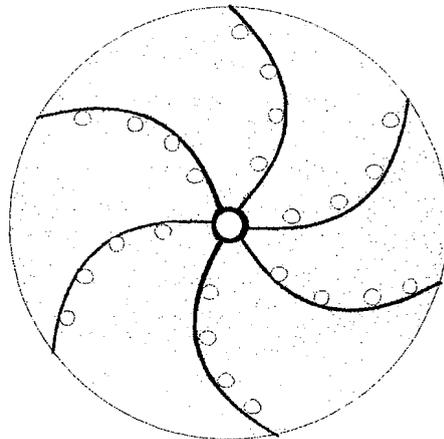
Masih memakai lempengan dengan tiga lengkungan, perubahan selanjutnya adalah dengan variasi lubang pada lempengan, yaitu dengan memakai dua lubang pada setiap bagian lengkungan dan menambah lubang pada setiap lengkungan menjadi empat sampai lima lubang di setiap bagian lengkungan.

Perubahan selanjutnya dengan mencoba bentuk lempengan lainnya, yaitu dengan memakai empat lengkungan yang simetris, empat lengkungan bentuk sudut dan enam lengkungan bentuk huruf S.



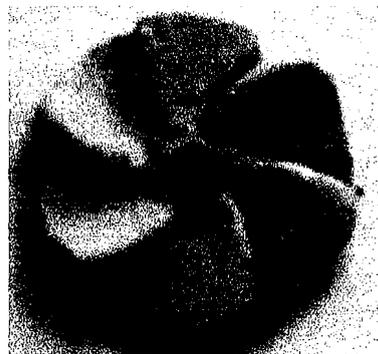
Gambar 4.4. Variasi bentuk cetakan

Dari ke empat bentuk lempengan tersebut, lempengan dengan enam lengkungan dicoba dengan membuat beberapa lubang di setiap bagian lengkungan seperti yang telah dilakukan pada lempengan dengan tiga lengkungan, dan dilakukan variasi lubang dengan membuat beberapa lubang di bagian lengkungannya dengan tujuan udara dapat masuk ke lubang tersebut dan mendorong lempengan untuk berputar.



Gambar 4.5. Lempengan enam lengkungan dengan variasi lubang

Berawal dari bentuk variasi yang terkahir, maka perubahan terjadi secara signifikan yaitu dengan menghilangkan lubang. Pada bentuk ini batas antara lengkungan diberi ruang dengan cara mengoreknya, sehingga menyerupai bentuk baling-baling kipas seperti tampak pada Gambar 4.6



Gambar 4.6. Lempengan bentuk baling-baling kipas

Akhirnya setelah melakukan beberapa kali *tray and error*, maka dengan lempengan bentuk baling-baling kipas dapat memenuhi gaya yang dibutuhkan yaitu gaya sentrifugal, hal ini dapat dilihat dengan berputarnya lempengan

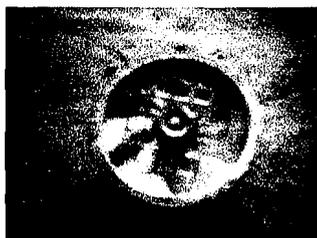
didalam reaktor knalpot akibat adanya tekanan udara yang dihasilkan oleh proses pembakaran mesin.

4.2.3. Kerangka Adsorben

Dalam pelaksanaan percobaan untuk memperoleh model adsorben diatas ini, ternyata media adsorben mudah rusak, karena struktur media yang kurang kuat. Berdasarkan dari kejadian ini peneliti menggunakan tulangan dalam sebagai kerangka agar konstruksi dari media ini lebih kuat. Adapun tulangan dalam yang digunakan adalah kawat berjala dengan ukuran jala 0.5 cm².

Bentuk tulangan dalam yang digunakan diperoleh dengan cara *tray and error*. Adapun model-model dari tulangan dalam yang diperoleh berupa bentuk; salip, segi empat dan salip lebar.

Dari berbagai model tulangan yang ada dipilih model yang berbentuk salip lebar. Kelebihan dari model itu adalah dapat menyangga adsorben dengan baik dan pada tulangan ini tidak mengganggu saat pencetakan/pengikisan adsorben.



Gambar 4.7. Tulangan dalam pada model cetakan

4.2.4. Mekanisme Sentrifugal

Sentrifugal sebagai gaya yang dipakai dalam penelitian ini bekerja akibat adanya gaya atau tekanan udara yang dihasilkan oleh udara yang keluar dari knalpot hasil dari pembakaran mesin sepeda motor.

Akibat dari tekanan udara dari knalpot tersebut menimbulkan aksi reaksi, aksi yang timbul adalah berputarnya lempengan adsorben kearah beban permukaan lempengan yang besar sesuai dengan sifat aerodinamis. Reaksi dari berputarnya lempengan adsorben adalah aliran udara yang pada awalnya bersifat laminer sebelum kontak dengan lempengan pertama berubah menjadi turbulen pada ruang antara lempengan pertama dan kedua, dan seterusnya terjadi pada lempengan kedua dan ketiga.

Reaksi penyerapan oleh adsorben akibat adanya gaya sentrifugal terjadi pemerataan, karena saat udara yang mengandung partikel zat-zat pencemar mengalami turbulensi dan kontak dengan adsorben yang berputar dalam kecepatan rendah akibat aliran udara tidak laminer.

4.2.5. Efisiensi Penyerapan Emisi Gas oleh Adsorben Zeolit terpillarisasi TiO_2

Dari hasil penelitian uji emisi gas buang kendaraan bermotor HC dan SO_x , diketahui bahwa zeolit murni dan zeolit terpillar dapat menurunkan kandungan emisi. Ini dikarenakan ruang hampa kristal zeolit terisi oleh molekul bebas yang berada disekitar kation, bila kristal zeolit dipanaskan maka air

tersebut akan keluar sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan. Dalam arti luas terjadi pengisian oleh zat yang dapat terserap oleh zeolit menggantikan tempat yang ditinggalkan oleh molekul bebas atau H_2O . Tetapi adsorben terpillarisasi TiO_2 efisiensi removalnya lebih baik dari pada adsorben tanpa TiO_2 (0% TiO_2), dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan 4.4. Hal ini karena TiO_2 membentuk pilarisasi dalam zeolit, kerapatan rongga pada zeolit dapat lebih lebar dengan adanya pilar-pilar titanium oksida, sehingga ruang/rongga penyerapan dalam zeolit semakin banyak untuk mereduksi gas emisi, dan juga TiO_2 merupakan katalis yang mampu memecahkan berbagai polutan senyawa organik.

Efisiensi removal penyerapan emisi gas HC oleh adsorben zeolit terpillarisasi TiO_2 adalah 39% - 54%, sedangkan efisiensi removal oleh adsorben tanpa TiO_2 adalah 12% - 25%. Efisiensi removal yang paling tinggi dengan adsorben zeolit terpillarisasi TiO_2 mencapai 54.32% yaitu pada suhu pemanasan 400 °C dengan kadar TiO_2 15%, dan yang paling rendah terdapat pada suhu pemanasan 200 °C dengan kadar TiO_2 5% efisiensi removanya yaitu 39.09%. Hal ini menunjukkan semakin banyak penambahan konsentrasi TiO_2 , maka pilar atau rongga pada media zeolit yang terbentuk semakin banyak pula, sehingga HC yang tertangkap akan semakin banyak. Sedangkan pengaruh suhu pemanasan pada suhu 400 °C akan menyebabkan kandungan air yang terdapat pada zeolit sebagai adsorben akan lepas sehingga pori-pori zeolit akan bersih

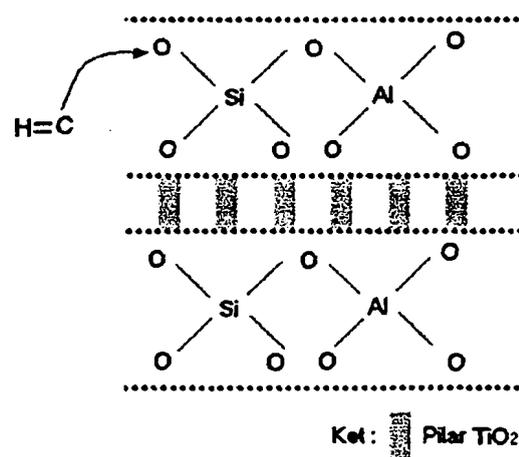
dan membentuk rongga yang banyak. Terbukti bahwa pada adsorben zeolit terpillarisasi TiO_2 15% dengan suhu pemanasan $400\text{ }^\circ\text{C}$ menghasilkan tingkat removal emisi gas HC yang tinggi.

Tabel 4.3. Efisiensi penurunan kadar emisi gas HC

% TiO_2	suhu $200\text{ }^\circ\text{C}$	suhu $300\text{ }^\circ\text{C}$	suhu $400\text{ }^\circ\text{C}$
0	12.18%	29.95%	24.88%
5	39.09%	43.16%	42.13%
10	45.68%	43.66%	43.16%
15	43.16%	46.70%	54.32%

Sumber: Data Primer 2005

Terjadinya penurunan konsentrasi HC dalam gas buang disebabkan karena tertangkapnya partikel oleh media zeolit yang mempunyai sifat sebagai katalis, sifat katalitis zeolit disebabkan uni kation pada atom Al zeolit yang dapat dipertukarkan dengan ion H dan aktif sebagai katalisis reaksi. Dibawah ini dapat dilihat gambar terjadinya ikatan antara partikel, HC dengan adsorben zeolit terpillarisasi TiO_2 .



Gambar. 4.8. Pengikatan HC terhadap Zeolit terpillar TiO_2

Dalam melakukan analisa untuk emisi gas berupa HC, terdapat nilai pengukuran yang tidak sesuai dengan nilai pengulangan lainnya yaitu pada sampel 1 kadar TiO_2 0% dengan suhu pemanasan $200\text{ }^\circ\text{C}$, dapat dilihat pada Tabel 4.1 bahwa pada sampel pengulangan 1 nilai yang didapat adalah 91 ppm sedangkan nilai sampel pengulangan 2 adalah 37 ppm dan nilai sampel pengulangan 3 adalah 45 ppm, hal ini disebabkan karena pada pengambilan sampel terjadi kesalahan atau *human error*, kemungkinan kesalahan tersebut terletak pada pemasangan adsorben dan knalpot reaktor yang tidak pas saat dilakukan analisa..

Untuk removal penurunan kadar emisi gas buang SO_x oleh adsorben media zeolit terpillarisasi TiO_2 lebih tinggi daripada removal penurunan HC, efisiensi removal SO_x mencapai 70% sampai 100%. Removal penurunan SO_x yang mencapai 100% terletak pada suhu pemanasan $300\text{ }^\circ\text{C}$ dengan kadar TiO_2 5% dan pada suhu pemanasan $200\text{ }^\circ\text{C}$ dengan kadar TiO_2 10%. Penurunan kadar SO_x yang tinggi mencapai 100% dapat terjadi akibat beberapa faktor, diantaranya adalah *human error* pada saat pengambilan sampel atau saat pembacaan analisa, dan salah satu faktor lain yang mengakitkannya adalah karena SO_x mudah bereaksi dengan air, sulfur yang keluar bereaksi dengan air hasil proses pembakaran bahan bakar yang menempel pada knalpot reaktor atau pada selang penyerap gas analisis, sehingga gas sulfur yang masuk alat analisis sangat kecil atau mungkin habis terserap oleh air selain terserap oleh media

adsorben. Disamping itu kandungan sulfur pada bahan bakar bensin sangat kecil sehingga penyerapan oleh media adsorben bisa sangat besar.

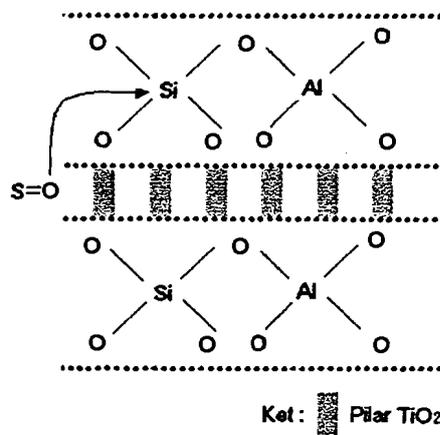
Semakin tinggi suhu pemanasan maka removal penurunan untuk SO_x semakin kecil, selain terjadi penyerapan karena adanya gaya tarik menarik antar molekul, hal ini disebabkan pula karena adsorben zeolit pada suhu pemanasan rendah kadar air yang terdapat pada zeolit masih tinggi, sehingga SO_x yang mudah bereaksi dengan air akan bereaksi dengan air yang masih terdapat pada media adsorben zeolit tersebut, maka penurunan emisi gas SO_x dengan adsorben pada suhu pemanasan rendah akan semakin tinggi. Hal ini terlihat pada adsorben terpillarisasi TiO_2 dengan suhu pemanasan $400\text{ }^\circ\text{C}$, rata-rata removalnya lebih kecil dibandingkan dengan suhu pemanasan $200\text{ }^\circ\text{C}$ dan $300\text{ }^\circ\text{C}$.

Tabel 4.4. Efisiensi penurunan kadar emisi gas SO_x

% TiO_2	suhu $200\text{ }^\circ\text{C}$	suhu $300\text{ }^\circ\text{C}$	suhu $400\text{ }^\circ\text{C}$
0	65.10%	65.49%	52.94%
5	95.69%	100.00%	98.82%
10	100.00%	97.25%	85.10%
15	89.80%	87.84%	72.16%

Sumber: Data Primer 2005

Sama seperti pada penurunan HC, reaksi pengikatan SO_x terjadi karena adanya gaya tarik menarik antar molekul atau disebut juga gaya *Van der Walls*, unsur oksigen yang bersifat negatif akan berikatan dengan unsur Si yang terdapat dalam zeolit, dan sebaliknya unsur S akan diikat oleh unsur O yang terdapat dalam zeolit.



Gambar. 4.9. Pengikatan SO terhadap Zeolit terpiar TiO₂

Hasil analisis emisi SO_x dan HC terhadap variasi suhu pemanasan adsorben terlihat pada pemanasan suhu 300 °C bersifat stabil. Untuk SO_x dapat dilihat pada Tabel 4.4 bahwa untuk adsorben dengan suhu pemanasan 300 °C rata-rata efisiensi penurunan kadar emisi lebih tinggi dibandingkan dengan adsorben 200 °C dan 400 °C, hanya pada penambahan konsentrasi TiO₂ 10% dan 15% suhu pemanasan 300 °C efisiensinya lebih kecil dibandingkan dengan suhu 200 °C, akan tetapi efisiensinya lebih besar dibandingkan dengan suhu 400 °C. Untuk HC (dapat dilihat pada Tabel 4.3), sama seperti halnya dengan SO_x bahwa untuk adsorben dengan suhu pemanasan 300 °C rata-rata efisiensi penurunan kadar emisi lebih tinggi dibandingkan dengan adsorben 200 °C dan 400 °C, hanya pada penambahan konsentrasi TiO₂ 10% dan 15% suhu pemanasan 300 °C efisiensinya lebih kecil dibandingkan dengan suhu 200 °C, akan tetapi efisiensinya lebih besar dibandingkan dengan suhu 400 °C.

Untuk hasil analisa kadar emisi hidrokarbon, efisiensi penurunannya tidak sebesar efisiensi penurunan kadar emisi SO_x . Hal ini bisa disebabkan karena adsorpsi gas oleh zat padat bersifat selektif, artinya suatu adsorben dapat menyerap gas dalam jumlah banyak, tetapi tidak banyak menyerap gas-gas tertentu. Juga bisa disebabkan faktor lain diluar penyerapan oleh adsorben, seperti faktor air yang terdapat pada reaktor knalpot dan selang alat analisa hasil dari proses pembakaran yang dapat bereaksi dengan gas SO_x .

Perbedaan penambahan kadar TiO_2 pada adsorben zeolit tidak terlalu berpengaruh besar pada penurunan kadar HC dan SO_x , karena perbedaan efisiensi removal diantara variasi tidak terlalu jauh, hal ini dikarenakan TiO_2 berfungsi sebagai katalis dalam mereduksi emisi gas buang kendaraan bermotor dan juga berfungsi sebagai pemilar.

Dilihat dari data hasil analisa kadar emisi SO_x yang terbaca sangat kecil, hasil analisisa kadar emisi SO_x dibawah nilai 2.55 ppm, hal ini dikarenakan kadar emisi gas SO_x yang keluar dari sepeda motor sangat kecil. Menurut Wardhana (1994) sepeda motor sebagai sumber pencemar hanya mengeluarkan 0.3 % bagian dari 100% total bagian sumber pencemar SO_x . Untuk hasil analisa emisi HC yang terbaca cukup besar yaitu 65,67 ppm, sedangkan baku mutu emisi HC sesuai dengan peraturan Gubernur DIY No. 167 Tahun 2003 yaitu 2.400 ppm untuk kendaraan bermotor roda dua 4 tak.

Analisa reduksi emisi gas buang kendaraan bermotor oleh media adsorben zeolit terpilarisasi TiO_2 dengan menggunakan gaya sentrifugal, secara keseluruhan dilakukan penelitian reduksi 6 parameter penting emisi gas buang kendaraan bermotor yaitu CO, HC, SO_x , NO_x , Pb, dan Partikel. Untuk penelitian reduksi emisi gas kendaraan bermotor dengan parameter NO_x dan Pb dilakukan oleh Aldy H.K (00513023) dan untuk parameter CO dan Partikel dilakukan oleh Gatot P.A. (99513032). Secara keseluruhan nilai optimal reduksi emisi gas kendaraan bermotor roda dua 4 tak dengan parameter CO, HC, SO_x , NO_x , Pb dan Partikel oleh adsorben zeolit terpilarisasi TiO_2 dengan menggunakan gaya sentrifugal terletak pada suhu pemanasan $300\text{ }^\circ\text{C}$ dengan 10% TiO_2 .

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Adsorben zeolit yang terpillarisasi TiO_2 mampu menurunkan kadar sulfur oksida (SO_x) dan hidrokarbon (HC) lebih baik dibanding dengan adsorben zeolit tanpa TiO_2
2. Penurunan efisiensi removal SO_x yang paling tinggi terletak pada adsorben dengan suhu pemanasan $300\text{ }^\circ\text{C}$ 5% TiO_2 , dan suhu pemanasan $200\text{ }^\circ\text{C}$ 10% TiO_2 yaitu mencapai 100% dan untuk HC terletak pada adsorben dengan suhu pemanasan $400\text{ }^\circ\text{C}$ 15% TiO_2 , yaitu sebesar 54,32%
3. Perbedaan kadar TiO_2 pada adsorben zeolit tidak terlalu berpengaruh besar pada penurunan kadar HC dan SO_x , karena perbedaan efisiensi removal diantara variasi tidak terlalu jauh.
4. Karena penurunan emisi HC yang paling tinggi terletak pada kadar TiO_2 15%, sedangkan penurunan emisi SO_x yang paling tinggi terletak pada kadar TiO_2 5%, maka nilai optimal penambahan TiO_2 sebagai pemilar terhadap media adsorben zeolit untuk menurunkan kadar emisi HC dan SO_x adalah TiO_2 dengan kadar 10%.

5. Suhu pemanasan sebagai aktivasi media adsorben zeolit yang optimal dalam penurunan emisi SO_x dan HC terlerak pada suhu $300\text{ }^\circ\text{C}$
6. Nilai optimal keseluruhan reduksi emisi gas kendaraan bermotor dengan parameter CO, HC, SO_x , NO_x , Pb dan Partikel oleh adsorben zeolit terpillarisasi TiO_2 dengan menggunakan gaya sentrifugal terletak pada suhu pemanasan $300\text{ }^\circ\text{C}$ dengan 10% TiO_2 .

5.2. Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya, dalam pembuatan media adsorben menggunakan gaya sentrifugal sedapat mungkin pencetakan adsorben dengan cara mekanik agar dihasilkan adsorben dengan bentuk dan struktur yang seragam.
2. Selain penelitian penurunan kadar emisi dengan metode gaya sentrifugal, perlu juga diteliti akibat dari metode ini terhadap daya motor dan aliran udara yang keluar dari knalpot
3. Perlunya pemerintah menetapkan baku mutu emisi gas buang kendaraan bermotor untuk SO_x , walaupun kadar SO_x yang keluar dari kendaraan bermotor kecil akan tetapi sekecil apapun polutan yang dikeluarkan akan menimbulkan polusi secara kumulatif yang dapat merusak kesehatan manusia dan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1987. *Penuntun Pelajaran Kimia*, Ganeca Exact, Bandung.
- Anonim, 1997. Undang-undang RI No. 23 Tahun 1997, tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup, Jakarta
- Anonim, 1999. Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999, tentang Pencemaran Udara, Jakarta
- Anonim, . *Buku Cara Uji Udara*
- Anonim, 2000. *Kimia 2000 Jilid IB*, Erlangga, Jakarta.
- Anonim, 2001. *Intisari*
- Anonim, 2003. *Car Free Day*
- Anonim, 2003. *Pertambangan*
- Anonim, 2004. *Kajian dan Karakteristik Bahan Baku Semen Pozolan Kapur (SPK) di daerah Padaherang Kabupaten Ciamis Jawa Barat*, BPPT, Jakarta
- Anonim, 2004. *Pengendalian Pencemaran Udara, Sistem Informasi Lingkungan Hidup DKI Jakarta*, BAPEDALDA, Jakarta
- Anonim, 2004. *Zeolit Bahan Pembunuh Tanah*, Harian Umum Suara Merdeka
- Anonim, 2005. *Hidrokarbon*, Ensiklopedia Umum Wikipedia
- Anonim, 2005. Keputusan Gubernur DIY no, 167 tahun 2003, "*BAKU MUTU EMISI SUMBER BERGERAK KENDARAAN BERMOTOR DI PROP. DIY*", BAPEDALDA, DIY
- Agustina, A,M, 2004. Skripsi, *Pengaruh Penambahan Kerosin Dalam Premium Terhadap Emisi Sisa Hidrokarbon (HC) Pada Kendaraan Bermotor Roda Dua*, STTL, Yogyakarta
- Fardiaz, S., 1992. *Polusi Air dan Udara*, Kanisius, Yogyakarta
- Gunlazuardi, J., 2001. *Fotokatalis Pada Permukaan TiO₂*, Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Indonesia, Jakarta

- Guntoro, P dkk, 2004, Bentonit Terpilir TiO_2 (*Library Research*), Yogyakarta.
- Las, T, DR, 2004. *Potensi Zeolit untuk Mengubah Limbah Industri dan Radioaktif*, BATAN-P2PLR, Jakarta.
- Margono dkk, 1991. Buku Pedoman Pengajar Mata Ajaran Kimia Lingkungan, DEPkes RI, Jakarta
- Moestikahadi, 1999. *Kumpulan Karya Ilmiah Mengenai Pencemaran Udara*, ITB, Bandung..
- Rohmanti, I, 2005. Skripsi, *Rekayasa Zeolit Dengan Katalis TiO_2 Terhadap Penurunan Gas Buang SO_x Pada Knalpot Kendaraan Bermotor Mesin 2 Tak*, STTL, Jogjakarta
- Sears dkk., 1987, *Fisika Universitas, Edisi ke Enam*, Erlangga, Jakarta.
- Soedomo, M. 2001, *Kumpulan Karya Ilmiah Mengenai Pencemaran Udara*, ITB, Bandung.
- Tresna, A, 1991. *Pencemaran Lingkungan*. Cetakan Pertama. Rineka Cipta, Jakarta.
- Wardhana, W, A., 1994. *Dampak Pencemaran Lingkungan*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Yulisa, F., 2005. 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



**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 jo 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 jo 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.

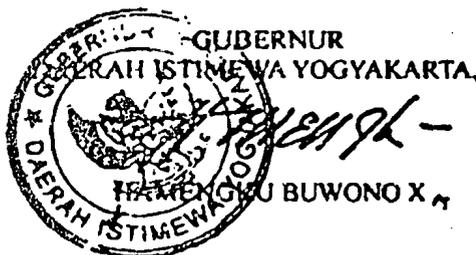
Pasal 9

Keputusan ini mulai berlaku pada tanggal diundangkan.

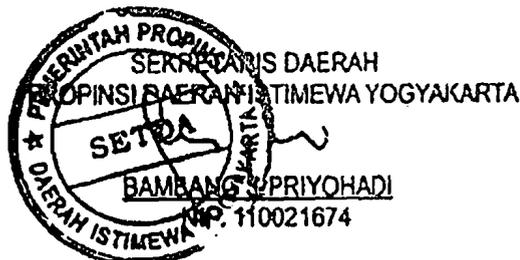
Agar setiap orang dapat mengetahuinya memerintahkan pengundangan Keputusan ini dengan penempatannya dalam Lembaran Daerah Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.

Ditetapkan di Yogyakarta

pada tanggal 23 Desember 2003



Diundangkan di Yogyakarta
pada tanggal 23 Desember 2003

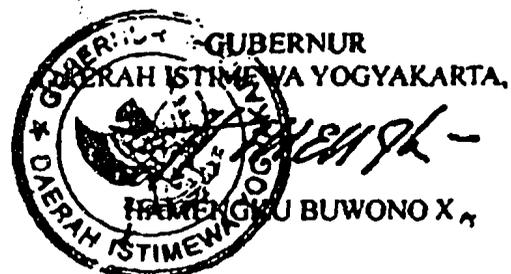


LEMBARAN DAERAH PROPINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA
TAHUN 2003 NOMOR 41 SERI E

LAMPIRAN
KEPUTUSAN GUBERNUR
DAERAH ISTIMEWA
YOGYAKARTA
NOMOR 167 TAHUN 2003
TANGGAL 23 DESEMBER 2003

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

Jenis Sumber Emisi	CO (%)	Hidrokarbon (ppm)	NO ₂ (ppm)	Pb (ppb)	Opasitas
1	3	4	5	7	8
Kendaraan Bermotor					
A. Sepeda Motor					
a. 2 langkah	4,5	3.000	850	10	30 % (D= 102 mm)
b. 4 langkah	4,5	2.400	700	10	-
B. Kendaraan Bermotor selain Sepeda Motor					
Berbahan Bakar Bensin					
a. Kendaraan 2 langkah					
- 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. Kendaraan 4 langkah					
1. Sistem Carburator					
- 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	-
2. Sistem Injeksi					
- 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	-
C. Kendaraan 4 langkah Berbahan Bakar Solar					
- 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)



LAMPIRAN 2

Lampiran 2. Alat dan Kegiatan Penelitian

Proses Mencetak Adsorben



(a) Model Cetakan



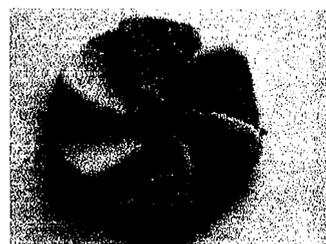
(b) As dan tulangan dalam



(c) Adsorben



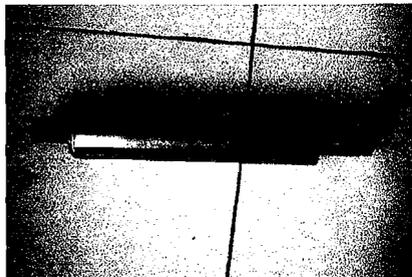
(d) Pengikisan (*finishing*) Adsorben



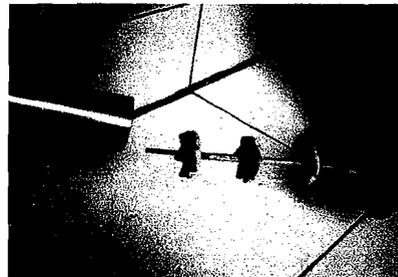
(e) Adsorben yang telah diaktifkan

Lampiran 2. Alat dan Kegiatan Penelitian

Reaktor dan Alat Penunjang



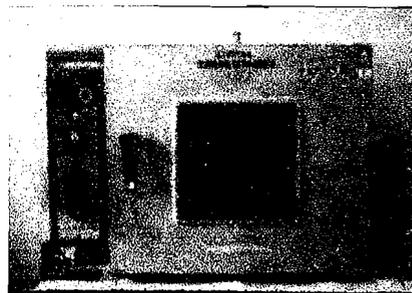
(a) Reaktor



(b) Susunan dalam reaktor



(c) Homogenezer



(d) Furnies

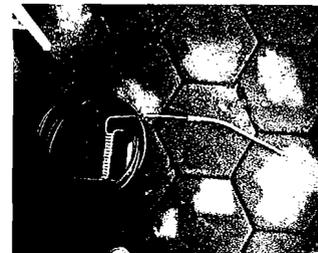
Alat Analisa Hidrokarbon



(a) AutoChek



(b) Filter



(c) Selang Inlet

Lampiran 2. Alat dan Kegiatan Penelitian

Kegiatan Pembuatan Adsorben dan Uji Tekan



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



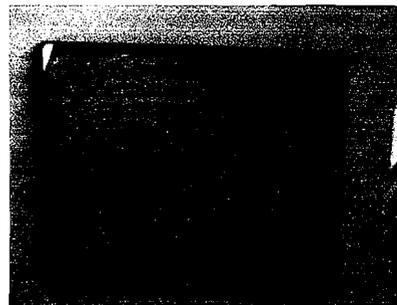
Kegiatan uji tekan bahan-bahan perekat dengan menggunakan alat uji tekan hidrolis

Lampiran 2. Alat dan Kegiatan Penelitian

Analisa Hidrokarbon



Kegiatan pengambilan sampel untuk konsentrasi HC dengan alat Autocheck

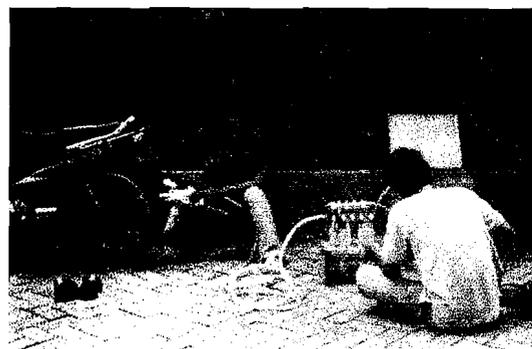


Monitor penunjukan nilai konsentrasi

Analisa SO_x



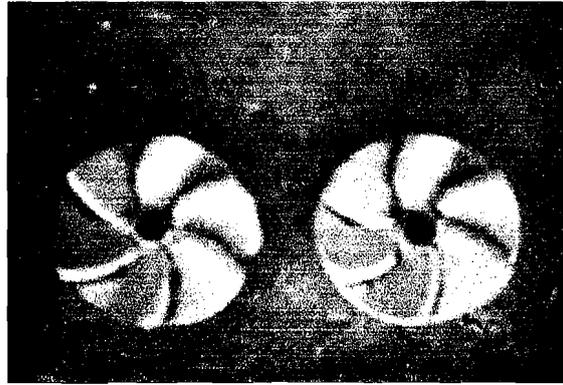
(a) Pengisian tabung impinger dengan reagent penyerap



(b) penyamplingan SO_x

Lampiran 2. Alat dan Kegiatan Penelitian

Adsorben Zeolit Terpilar TiO_2



(A) sebelum dan; (B) sesudah melewati gas buang

LAMPIRAN 3

Lampiran 3. Uji Perekat

1. Uji Tekan

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

Lampiran 3. Uji Perekat

2. Uji Visual

Jenis Media	Keterangan			
	Sangat kurang baik	Kurang baik	Baik	Baik sekali
Zeolit murni 200° C - gula - semen - glatin - kanji	√ √	√	√	√
Zeolit murni 400° C - gula - semen - glatin - kanji	√ √	√	√	√
Zeolit terpillar 200° C - gula - semen - glatin - kanji	√ √	√	√	√
Zeolit terpillar 400° C - gula - semen - glatin - kanji	√ √	√	√	√

LAMPIRAN 4

Lampiran 4. Perhitungan Titik Jenuh Teoritis

Dari keenam parameter yang diteliti oleh :

- Aldy H K (NOx dan Pb)
- Meidy P (SOx dan HC)
- Gatot P A (CO dan Partikel)

Diketahui zeolit dengan konsentrasi TiO₂ 10% pada suhu 300°C merupakan nilai yang terbaik dibandingkan dengan konsentrasi TiO₂ 5% dan 15% serta suhu pengaktifan 200°C dan 400°C.

Diketahui :

Nilai konsentrasi pada suhu 300°C dan 10% TiO₂

Parameter	Kontrol(ppm)	outlet(ppm)	Selisih (ppm)
CO	29.000	13.400	15.600
HC	65,67	37,00	28,67
NOx	13,06	11,42	1,64
SOx	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 gram x 67,79%

X = 26,947 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 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 4. Perhitungan Titik Jenuh Teoritis

Perhitungan biaya operasi penggunaan adsorben zeolit terpilariasi TiO_2

- Zeolit dengan konsentrasi TiO_2 10%
Zeolit 1 kg = Rp 3000,00
 TiO_2 1kg = Rp 25.000,00
1 lempeng adsorben, terdiri :
zeolit = $13,112 \text{ gram} \times 1 \text{ kg}/1000 \text{ gram} \times \text{Rp } 3000,00$
= Rp 39,35,-
 TiO_2 = $1,325 \text{ gram} \times 1 \text{ kg}/1000 \text{ gram} \times \text{Rp } 25.000,00$
= Rp 33,125,-
- Mur = @ Rp 50,00
- Tulangan dalam = @ Rp 25,00

Jadi biaya operasi penggunaan adsorben zeolit terpilariasi $\text{TiO}_2/14$ hari
= 3 lempeng x (Rp 39,35,- + Rp 33,125,- + Rp 50,00 + 25,00)/lempeng
= Rp 442,425,-/14 hari