



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**REKAYASA MASKER ANTI POLUTAN  
GAS BUANG KENDARAAN  
BERBASIS KATALIS KOMPOSIT  $\text{TiO}_2$ -AC-ZAL**

**SKRIPSI**

**IKHA MULIAWATI  
0706269836**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JUNI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**REKAYASA MASKER ANTI POLUTAN  
GAS BUANG KENDARAAN  
BERBASIS KATALIS KOMPOSIT TiO<sub>2</sub>-AC-ZAL**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**IKHA MULIAWATI  
0706269836**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JUNI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama** : Ikha Muliawati  
**NPM** : 0706269836  
**Tanda Tangan** :   
.....  
**Tanggal** : 4 Juli 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Ikha Muliawati  
NPM : 0706269836  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul Skripsi : Rekayasa Masker Anti Polutan Gas Buang  
Kendaraan Berbasis Katalis Komposit TiO<sub>2</sub>-AC-  
ZAL

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Slamet, MT.  
Penguji : Ir. Dewi Tristantini, MT., PhD  
Penguji : Ir. Setiadi, M.Eng  
Penguji : Prof. Dr. Ir. Yulianto, M.Sc



Three handwritten signatures are shown, each on a horizontal line. The first signature is at the top, the second in the middle, and the third at the bottom. The signatures are in blue ink and appear to be cursive.

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 4 Juli 2011

## KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan rahmat-Nya, Skripsi dengan judul **“Rekayasa Masker Anti Polutan Gas Buang Kendaraan Berbasis Katalis Komposit TiO<sub>2</sub>-AC-ZAL”** ini dapat diselesaikan dengan baik oleh Penulis. Skripsi ini disusun dalam rangka pemenuhan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Dalam penyusunan skripsi ini, Penulis mendapatkan banyak bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan yang Maha Esa yang telah menyertai Penulis dalam pembuatan skripsi Penulis.
2. Bapak Prof.Dr. Ir. Slamet, MT selaku dosen pembimbing dalam penelitian ini. Terima kasih atas ide cemerlang, saran, solusi, dan arahan yang diberikan kepada Penulis selama Penulis mengerjakan penelitian ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA selaku ketua Departemen Teknik Kimia FTUI.
4. Prof. Ir. Yulianto Sulisty Nugroho, M.Sc., Ph.D, selaku dosen Departemen Teknik Mesin yang telah berkenan memberikan izin penggunaan alat *Portable Gas Analyzer* di Laboratorium Departemen Teknik Mesin dan memberikan arahan bagi Penulis dalam kegiatan penelitian ini.
5. Bapak Syarif, selaku teknisi di Departemen Teknik Mesin atas bantuannya dalam mengawasi penggunaan alat *Portable Gas Analyzer*, serta atas sarannya dalam hal desain kotak uji.
6. Kang Jajat, Mang Ijal, dan Mas Eko, yang selalu membantu Penulis, saat Penulis membutuhkan bantuan, baik mengenai perancangan alat maupun penyediaan bahan-bahan yang dipakai.

7. Kedua orang tua tercinta yang tak putus-putusnya berdoa untuk Penulis agar kegiatan penelitian untuk penulisan skripsi ini berjalan lancar, dan selalu mendukung Penulis dalam hal moril dan materil.
8. Kedua adik Penulis, Yohanes dan Friska, yang telah banyak membantu penulis dalam melakukan kegiatan penelitian di Laboratorium di Departemen Teknik Mesin.
9. Rahma Muthia, Teknik Kimia 2007, yang telah meminjamkan motornya sebagai sumber penghasil asap polutan dalam penelitian ini dan memberikan semangat pada Penulis, terutama saat Penulis sedang sakit.
10. Dhinda Prinita Sari dan Valentina, yang sangat perhatian dan selalu memberikan semangat pada Penulis saat Penulis sedang sakit, sehingga Penulis mampu menyelesaikan skripsinya.
11. Ayuko Cheeryo Sinaga, Winda Jayanthi Saragi, dan Edi Suhendra. Terima kasih atas semangatnya.
12. Teman-teman Teknik Kimia UI angkatan 2007 & 2008 atas semangatnya.
13. Teman-teman Ekstensi Mesin UI, Riza, Ehul, Raksa, dll atas kerja samanya dalam pengaturan jadwal pemakaian *gas analyzer*.
14. Pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu Penulis menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Untuk itu, Penulis sangat terbuka untuk menerima saran dan kritik agar peneliti berikutnya pun dapat melakukan penelitian dengan lebih baik lagi

Depok, 13 Juni 2011

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ikha Muliawati  
NPM : 0706269836  
Program Studi : Teknik Kimia  
Departemen : Teknik Kimia  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**REKAYASA MASKER ANTI POLUTAN  
GAS BUANG KENDARAAN  
BERBASIS KATALIS KOMPOSIT TiO<sub>2</sub>-AC-ZAL**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 4 Juli 2011  
Yang menyatakan



(Ikha Muliawati)

## ABSTRAK

Nama : Ikha Muliawati  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Rekayasa Masker Anti Polutan Gas Buang Kendaraan Berbasis Katalis Komposit  $\text{TiO}_2$ -AC-ZAL

Telah dilakukan sintesis katalis komposit yang dapat mengeliminasi polutan gas buang kendaraan yaitu CO,  $\text{NO}_x$ , dan HC secara simultan, sehingga bisa diaplikasikan sebagai masker. Komposit yang terdiri dari Titanium Dioksida ( $\text{TiO}_2$ ), Karbon Aktif (AC), dan Zeolit Alam Lampung (ZAL), dibuat dengan metode *mechanical mixing*, kemudian di-coating ke *aluminium foil* dan serat nanas. Didapatkan komposisi terbaik untuk mengeliminasi polutan adalah  $\text{TiO}_2$ 10%-AC8,2%-ZAL81,8%. Namun, komposisi tersebut bukanlah komposisi optimal karena komposit tetap dapat mengeliminasi polutan dengan baik pada komposisi berapapun dengan mekanisme eliminasi dominan tergantung komposisinya. Didapatkan juga bahwa kinerja komposit dengan berat 10 g lebih efektif dibanding 6,7 g. Semakin banyak konsentrasi awal polutan juga membuat laju eliminasi polutan semakin besar.

Kata Kunci:

Masker Anti Polutan, CO,  $\text{NO}_x$ , HC, Katalis Komposit,  $\text{TiO}_2$ -AC-ZAL

## ABSTRACT

Name : Ikha Muliawati  
Study Programm : Chemical Engineering  
Title : Mask Modification for Anti Vehicle Exhaust Gas Pollutant  
Based on TiO<sub>2</sub>-AC-ZAL Composite Catalyst

Composite catalysts has been synthesized to eliminate vehicle exhaust gas pollutant such as CO, NO<sub>x</sub>, and HC simultaneously, so that it can be applied as a mask. Composite consisting of Titanium Oxide (TiO<sub>2</sub>), Active Carbon (AC), and Lampung Natural Zeolite (ZAL), created by mechanical mixturing method, then coated to aluminum foil and pineapple leaf fiber. It was found the best composition to eliminate the pollutant is TiO<sub>2</sub>10%-AC8,2%-ZAL81,8%. However, the composition is not optimal because the composite composition can still eliminate pollutants by whatever its composition regardless of the dominant elimination mechanism depends on its composition. It also was found that the performance of the composite with a weight of 10 g is more effective than 6.7 g. The more the initial concentration of pollutants also create a greater rate of elimination of pollutants.

*Keywords:*

*Anti Polutant Mask, CO, NO<sub>x</sub>, HC, Composite Catalysts, TiO<sub>2</sub>-AC-ZAL*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	vi
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Karbon Monoksida.....	7
2.2 Oksida Nitrogen .....	7
2.3 Hidrokarbon .....	8
2.4 Penelusuran Paten Desain Masker .....	9
2.4.1 Inhaler atau Alat Pelindung Paru-paru .....	9

2.4.2 Masker Gas Stenhouse.....	9
2.4.3 Masker Pernafasan Pemadam Kebakaran.....	10
2.4.4 Masker Pernafasan Barton.....	11
2.4.5 Masker Neally Penghilang Asap.....	11
2.4.6 Masker Cup.....	12
2.4.7 Masker Pernafasan Loeb.....	13
2.4.8 Masker Pernafasan Muntz.....	13
2.4.9 Masker Fotokatalitik.....	14
2.5 Fotokatalisis untuk Degradasi CO, NO <sub>x</sub> , dan HC.....	15
2.5.1 Fotokatalis TiO <sub>2</sub> .....	19
2.6 Adsorpsi.....	20
2.6.1 Karbon Aktif.....	20
2.6.2 Adsorben Zeolit.....	21
2.7 Sinergitas Fotokatalisis dan Adsorpsi.....	22
2.8 Kinetika Reaksi Degradasi CO, NO <sub>x</sub> , dan HC secara Fotokatalitik...	23
2.9 Serat Daun Nanas.....	24
2.10 Metode <i>Mechanical Mixturing</i> untuk Preparasi Katalis Komposit....	25
2.11 Metode Coating Katalis Komposit pada Substrat.....	26
2.12 Karakterisasi Katalis Komposit.....	27
2.12.1 XRF.....	27
2.12.2 BET.....	28
2.12.3 XRD.....	29
2.12.4 SEM-EDX.....	30
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	31
3.1 Metode Pelaksanaan Penelitian.....	31
3.2 Peralatan Penelitian.....	33

3.2.1	Peralatan Konstruksi Masker .....	33
3.2.2	Peralatan Konstruksi Kotak Uji Kinerja Masker .....	33
3.2.3	Peralatan <i>Treatment</i> Serat Nanas .....	33
3.2.4	Peralatan <i>Treatment</i> Zeolit Alam Lampung (ZAL).....	34
3.2.5	Peralatan Preparasi Katalis Komposit TiO <sub>2</sub> -AC-ZAL.....	35
3.2.6	Peralatan <i>Coating</i> Katalis Komposit TiO <sub>2</sub> -AC-ZAL pada Substrat .....	35
3.2.7	Peralatan Karakterisasi Katalis Komposit dan Zeolit Alam Lampung.....	35
3.2.8	Peralatan Analisis Perubahan Konsentrasi Sampel .....	36
3.3	Bahan Penelitian.....	37
3.3.1	Bahan Konstruksi Masker.....	37
3.3.2	Bahan Konstruksi Alat Uji Kinerja Masker.....	37
3.3.3	Bahan <i>Treatment</i> Serat Nanas .....	37
3.3.4	Bahan <i>Treatment</i> Zeolit Alam Lampung .....	37
3.3.5	Bahan Preparasi Katalis Komposit.....	38
3.3.6	Bahan <i>Coating</i> Katalis Komposit.....	38
3.4	Prosedur Penelitian.....	39
3.4.1	Konstruksi Masker.....	39
3.4.2	Konstruksi Alat Uji Kinerja Masker.....	40
3.4.3	Prosedur <i>Treatment</i> Serat Nanas .....	42
3.4.4	Prosedur <i>Treatment</i> Zeolit Alam Lampung .....	43
3.4.5	Prosedur Preparasi Katalis Komposit TiO <sub>2</sub> -AC-ZAL .....	44
3.4.6	Prosedur <i>Coating</i> Katalis Komposit pada Substrat .....	45
3.5	Kalibrasi <i>Gas Analyzer</i> .....	47
3.6	Uji Kinerja Alat.....	47

3.7	Parameter Penelitian.....	48
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>49</b>
4.1	Karakterisasi XRF.....	49
4.2	Karakterisasi XRD.....	51
4.3	Karakterisasi BET.....	53
4.4	Karakterisasi SEM dan EDX.....	54
4.5	Pengaruh Keberadaan Adsorben dan Fotokatalis terhadap Proses Eliminasi Polutan.....	55
4.5.1	Polutan CO.....	56
4.5.2	Polutan NO <sub>x</sub> .....	57
4.5.3	Polutan HC.....	59
4.6	Pengaruh Berat Total Katalis Komposit terhadap Proses Eliminasi Polutan.....	60
4.7	Pengaruh Komposisi Katalis Komposit terhadap Proses Eliminasi Polutan.....	61
4.7.1	Polutan CO.....	62
4.7.2	Polutan NO <sub>x</sub> .....	63
4.7.3	Polutan HC.....	64
4.7.4	Penentuan <i>Loading</i> TiO <sub>2</sub> Optimal untuk Eliminasi Polutan.....	66
4.8	Pengaruh Konsentrasi Awal Polutan terhadap Proses Eliminasi Polutan.....	68
4.8.1	Kinetika Reaksi Degradasi CO, NO <sub>x</sub> , dan HC secara Fotokatalitik.....	71
4.8.2	Perhitungan Waktu Degradasi.....	75
4.8.3	Analisis Kelayakan Masker.....	78
4.10	Perbandingan Efisiensi Masker.....	78
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>		<b>80</b>

5.1 Kesimpulan .....	80
5.2 Saran .....	81
DAFTAR REFERENSI.....	82



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Masker buatan John Stenhouse .....	9
Gambar 2.2	Masker buatan John Tyndall.....	10
Gambar 2.3	Masker buatan Samuel Barton (US Patent #148.868).....	11
Gambar 2.4	Masker I dan II buatan Neally (US Patent # 195.300 dan # 212.969) .....	12
Gambar 2.5	Masker buatan Hutson Hurd (US Patent # 218.976).....	12
Gambar 2.6	Masker buatan Loeb Berlin (US Patent # 533.854) .....	13
Gambar 2.7	Masker buatan Muntz (US Patent # 703.948).....	14
Gambar 2.8	Masker fotokatalitik .....	14
Gambar 2.9	Aplikasi Fotokatalisis .....	15
Gambar 2.10	Fotokatalis yang Teradiasi Sinar UV .....	16
Gambar 2.11	Mekanisme Fotooksidasi NO <sub>x</sub> .....	18
Gambar 2.12	Mekanisme Reaksi Fotooksidasi CO sesuai persamaan 2.12 ...	18
Gambar 2.13	Fotokatalis TiO <sub>2</sub> .....	19
Gambar 2.14	Serat daun nanas.....	25
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian .....	32
Gambar 3.2	<i>Gas analyzer</i> .....	36
Gambar 3.3	Dua jenis <i>buffle</i> aluminium.....	39
Gambar 3.4	Desain Masker (a) Tiga dimensi; (b) Dua Dimensi .....	40
Gambar 3.5	Rangkaian alat uji kinerja masker .....	41
Gambar 3.6	Diagram alir <i>treatment</i> serat nanas.....	43
Gambar 3.7	Diagram alir <i>treatment</i> Zeolit Alam Lampung .....	44
Gambar 3.8	Diagram alir preparasi katalis komposit TiO <sub>2</sub> -AC-ZAL .....	45
Gambar 3.9	Diagram alir <i>coating</i> komposit pada penyangga.....	46
Gambar 4.1	Spektrum hasil analisis dengan XRF.....	49
Gambar 4.2	Hasil Karakterisasi XRD .....	52
Gambar 4.3	Hasil Karakterisasi SEM Katalis Komposit yang Tercoating pada Penyangga .....	55
Gambar 4.4	Grafik Pengaruh Keberadaan Adsorben & Fotokatalis terhadap Eliminasi Konsentrasi CO .....	57

Gambar 4. 5	Grafik Pengaruh Variasi Bahan Pengeliminasi Polutan terhadap Eliminasi Konsentrasi $\text{NO}_x$ .....	58
Gambar 4. 6	Grafik Pengaruh Variasi Bahan Pengeliminasi Polutan terhadap Eliminasi Konsentrasi HC. ....	59
Gambar 4. 7	Grafik Pengaruh Berat Total Katalis Komposit terhadap Eliminasi Konsentrasi CO .....	60
Gambar 4. 8	Grafik Pengaruh Komposisi Katalis Komposit $\text{TiO}_2$ -AC-ZAL terhadap Eliminasi Konsentrasi CO.....	62
Gambar 4. 9	Grafik Pengaruh Komposisi Katalis Komposit $\text{TiO}_2$ -AC-ZAL terhadap Eliminasi Konsentrasi $\text{NO}_x$ .....	63
Gambar 4. 10	Grafik Pengaruh Komposisi Katalis Komposit $\text{TiO}_2$ -AC-ZAL terhadap Eliminasi Konsentrasi HC.....	65
Gambar 4. 11	Grafik & Trendline Pengaruh Loading $\text{TiO}_2$ pada katalis .....	66
Gambar 4. 12	Grafik Pengaruh Konsentrasi Awal terhadap Eliminasi Konsentrasi CO .....	69
Gambar 4. 13	Grafik Pengaruh Konsentrasi Awal terhadap Eliminasi Konsentrasi $\text{NO}_x$ .....	69
Gambar 4. 14	Grafik Pengaruh Konsentrasi Awal terhadap Eliminasi Konsentrasi HC .....	70
Gambar 4. 15	Grafik C vs.t pada setiap konsentrasi awal gas CO.....	71
Gambar 4. 16	Grafik C vs.t pada setiap konsentrasi awal gas $\text{NO}_x$ .....	72
Gambar 4. 17	Grafik C vs.t pada setiap konsentrasi awal gas HC.....	72
Gambar 4. 18	Grafik $1/r_o$ Vs. $1/[\text{CO}]_o$ .....	74
Gambar 4. 19	Grafik $1/r_o$ Vs. $1/[\text{NO}_x]_o$ .....	74
Gambar 4. 20	Grafik $1/r_o$ Vs. $1/[\text{HC}]_o$ .....	74
Gambar 4. 21	Grafik Waktu degradasi hingga baku mutu Vs. konsentrasi awal gas CO.....	77
Gambar 4. 22	Grafik Waktu degradasi hingga baku mutu Vs. konsentrasi awal gas $\text{NO}_x$ .....	77
Gambar 4. 23	Grafik Waktu degradasi hingga baku mutu Vs. konsentrasi awal gas HC.....	77

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Jenis teknik pelapisan dan aplikasinya .....	27
Tabel 3. 1	Peralatan konstruksi rongga masker.....	33
Tabel 3. 2	Peralatan konstruksi alat uji kinerja masker .....	33
Tabel 3. 3	Peralatan <i>treatment</i> serat nanas.....	33
Tabel 3. 4	Peralatan <i>treatment</i> Zeolit Alam Lampung .....	34
Tabel 3. 5	Peralatan preparasi katalis komposit TiO <sub>2</sub> -AC-ZAL .....	35
Tabel 3. 6	Peralatan pembuatan film katalis komposit pada substrat.....	35
Tabel 3. 7	Variasi komposisi katalis komposit.....	44
Tabel 4. 1	Hasil karakterisasi XRF pada ZAL-T .....	50
Tabel 4. 2	Perbandingan Si/Al dari ZAL-NT dan ZAL-T .....	50
Tabel 4. 3	Luas Permukaan Katalis Komposit dan Komponen Penyusunnya .....	53
Tabel 4. 4	Hasil EDX pada Aluminium Foil.....	54
Tabel 4. 5	Penotasian katalis komposit berdasarkan komposisinya .....	62
Tabel 4. 6	Nilai r <sub>0</sub> untuk setiap Co polutan.....	73
Tabel 4. 7	Nilai k, K, dan persamaan laju degradasi polutan.....	75
Tabel 4. 8	Persamaan waktu degradasi sebagai hasil integrasi persamaan laju degradasi .....	75
Tabel 4. 9	Persamaan waktu degradasi setiap polutan.....	77
Tabel 4. 10	Perbandingan efisiensi masker.....	78

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Data hasil penelitian .....	88
Lampiran B. Hasil Karakterisasi XRF Zeolit Alam Lampung	
Hasil <i>Treatment</i> .....	95
Lampiran C. Hasil XRD Zeolit Alam Lampung Hasil <i>Treatment</i> .....	97
Lampiran D. Hasil XRD Katalis Komposit	
TiO <sub>2</sub> 50%-AC 4,5%-ZAL 45,5% .....	98
Lampiran E. Hasil BET Zeolit Alam Hasil <i>Treatment</i> .....	99
Lampiran F. Hasil BET Katalis Komposit	
TiO <sub>2</sub> 10%-AC 8,2%-ZAL 81,8% .....	101
Lampiran G. Hasil EDX Katalis Komposit TiO <sub>2</sub>	
10%-AC 8,2%-ZAL 81,8 % .....	103
Lampiran H. Lembar Spesifikasi Gas Analyzer .....	106
Lampiran I. Dokumentasi Kegiatan Penelitian .....	107
Lampiran J. Metode Standar Pengujian Masker .....	110
Lampiran K. Perhitungan Waktu Degradasi hingga Mencapai Baku Mutu ..	115

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Polusi udara bukanlah suatu hal yang asing lagi di Indonesia, terutama di kota besar seperti Jakarta. Berdasarkan data yang dipublikasikan oleh Pemprov DKI Jakarta (2009), Jakarta menempati urutan ketiga sebagai kota dengan tingkat polusi udara tertinggi di dunia setelah Meksiko dan Thailand (Novalsyah, 2009). 70% polutan udara di kota Jakarta disumbangkan oleh sektor transportasi (Ubaidillah, 2009; Maragoya, 2010). Polutan yang dihasilkan dari sektor ini didominasi oleh gas buang kendaraan seperti karbon monoksida (CO), oksida nitrogen ( $\text{NO}_x$ ), dan hidrokarbon (HC) (Sudrajad, 2008; Soehodo, 2005; World Bank, 2003).

CO merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa (Wikipedia, 2010). Jika CO terakumulasi secara simultan di dalam tubuh, maka manusia dapat mengalami gangguan denyut jantung, sesak nafas, nyeri dada, kerusakan janin, dan kerusakan otak (Sudrajad, 2008; Sumedi, 2006).  $\text{NO}_x$  juga merupakan gas yang tidak berwarna dan bersifat toksik karena dapat menyebabkan sulit bernafas, infeksi paru paru, dan asma (Sudrajad, 2008; Yuli, 2010). HC yang biasanya berupa gas metana juga sangat berbahaya bagi kesehatan karena dapat menyebabkan leukimia dan kanker (Sudrajad, 2008).

Untuk mengurangi risiko terkena penyakit yang disebabkan oleh polutan udara, masyarakat memerlukan masker (Yuli, 2010). Secara umum, terdapat tiga jenis masker berdasarkan caranya mengurangi kadar polutan udara yang masuk ke dalam tubuh, yaitu masker berprinsip filtrasi, adsorpsi, dan fotokatalisis. Pertama, masker berprinsip filtrasi, contohnya adalah masker medis (*surgical mask*) berbahan dasar kertas berpori. Masker ini merupakan masker yang paling banyak digunakan oleh masyarakat. Namun, masker ini hanya dapat memfilter partikulat dan tidak dapat memfilter partikel gas polutan (Prasadja, 2008) seperti CO,  $\text{NO}_x$ , dan  $\text{HC}_x$ .

Kedua, masker berprinsip adsorpsi (Brain, 2010), contohnya adalah masker moncong babi yang menggunakan karbon aktif berdesain *fix bed* sebagai

adsorbennya. Masker ini dapat menghilangkan bau, dapat mengadsorpsi polutan berwujud gas, dan harganya juga relatif terjangkau, yaitu sekitar Rp.40.000. Akan tetapi, desain masker ini sangat kaku, berat, dan ukurannya terlalu besar sehingga kurang nyaman dipakai. Selain itu, untuk kondisi udara seperti Jakarta masker ini kurang ekonomis karena filter karbon aktifnya juga perlu diganti setiap tiga minggu sekali. Harga filter karbon aktif masker ini sekitar Rp.10.000 per buah (Prasadja, 2008). Contoh lain dari masker berprinsip adsorpsi yaitu masker totobobo. Masker ini dapat mengadsorp polutan gas dengan sangat baik (Totobobo, 2009). Intinya, permasalahan dasar dari masker berprinsip adsorpsi adalah ketidakmampuan adsorben dalam mendegradasi polutan karena pada dasarnya adsorben hanya dapat memindahkan polutan dari udara ke dalam adsorben (Alfat, 2009).

Ketiga, masker berprinsip fotokatalisis, contohnya adalah *photocatalyst mask*. Fotokatalis yang digunakan dalam masker ini ada dua macam yaitu titanium oksida ( $\text{TiO}_2$ ) dan juga senyawa aktif keramik. Masker ini dapat mendegradasi polutan gas yang berbahaya secara *in situ* sehingga masker ini dapat dipakai dalam jangka waktu yang cukup lama. Akan tetapi, karena masker ini memanfaatkan prinsip fotokatalisis maka masker ini memiliki kelemahan yaitu daya adsorpsi fotokatalis terhadap polutan sangat rendah (Chun, 2008; Durgakumari, 2002) sehingga polutan yang terdegradasi pun sedikit. Selain itu, desain *photocatalyst mask* mirip dengan masker medis sehingga waktu kontak antara polutan dengan fotokatalis juga masih relatif singkat, akibatnya degradasi polutan menjadi tidak maksimal.

Berdasarkan penjelasan di atas, terlihat bahwa setiap masker memiliki kelebihan dan kekurangan yang berbeda. Oleh karena itu, diperlukan suatu terobosan baru yang dapat mengatasi seluruh kekurangan masker-masker yang telah ada. Terobosan baru ini dapat dimulai dengan merekayasa sebuah masker yang memiliki performa yang lebih baik dalam mendegradasi polutan.

Rekayasa masker dapat dilakukan dengan dua cara. Cara pertama yaitu membuat suatu material pendegradasi polutan. Saat ini, material pendegradasi polutan yang sangat potensial untuk dikembangkan adalah katalis komposit yang merupakan kombinasi antara fotokatalis dan adsorben (Chun, 2008; Yanjun,

2006; Ichiura, 2002). Keberadaan adsorben dalam katalis komposit akan meningkatkan kontak antara fotokatalis dengan polutan. Sedangkan, keberadaan fotokatalis dalam katalis komposit akan membuat polutan terdegradasi, sehingga adsorben tidak cepat jenuh oleh polutan (W.C. Oh, 2007; Torimoto, 1996; Matsuoka, 2003). Jadi, keberadaan fotokatalis dan adsorben dalam suatu katalis komposit memiliki fungsi yang saling mendukung dalam proses degradasi polutan. Agar kinerja katalis komposit semakin maksimal perlu didapatkan komposisi katalis komposit yang optimal dalam mendegradasi polutan. Dalam membuat katalis komposit, pemilihan adsorben dan fotokatalis harus disesuaikan dengan jenis senyawa yang ingin didegradasi. CO dan NO<sub>x</sub> merupakan polutan inorganik, sehingga lebih cocok diadsorpsi oleh adsorben zeolit bukan karbon aktif. Selain itu, zeolit juga bersifat polar (Maurin, 2007) sehingga dapat mendukung proses fotokatalisis dalam menyerap CO dan NO<sub>x</sub> yang juga bersifat polar. Berbeda dengan CO dan NO<sub>x</sub>, HC adalah polutan organik dan juga bersifat non-polar, sehingga diperlukan juga adsorben yang memiliki adsorpsi yang baik bagi senyawa organik non-polar, seperti karbon aktif (Knaebel, n.d.; Amora, 2009).

Karbon aktif, dipilih sebagai adsorben untuk HC<sub>x</sub> karena karbon aktif memiliki luas permukaan dan volume pori yang besar (Amora, 2009). Zeolit alam Lampung dipilih sebagai adsorben dalam katalis komposit ini karena ketersediaannya yang sangat melimpah di Indonesia (Suwardi, 2010), sedangkan TiO<sub>2</sub> dipilih sebagai fotokatalis dalam katalis komposit ini karena dapat mendegradasi CO, NO<sub>x</sub>, dan HC dengan baik (Gustafsson, 2006; Lin, 1996; Toma, 2004; Maggos, 2005), bersifat non toksik, dan harganya terjangkau.

Cara kedua dalam merencanakan masker adalah dengan mendesain struktur masker. Dalam penelitian ini, karena material pendegradasi polutan yang akan direkayasa memanfaatkan proses degradasi polutan secara fotokatalitik, maka struktur masker yang didesain harus dapat mendukung proses degradasi polutan secara fotokatalitik di mana polutan, sumber foton, dan fotokatalis dapat bertemu.

Oleh karena itu, dengan adanya penelitian ini, diharapkan katalis komposit dan desain struktur masker anti polutan yang direkayasa dapat dikembangkan dan diuji lebih lanjut agar di kemudian hari dapat diaplikasikan oleh masyarakat

sehingga udara yang kita hirup bebas dari polutan dan tingkat kesehatan masyarakat pun meningkat.

## 1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dipelajari dalam penelitian ini adalah bagaimana mendapatkan komposisi katalis komposit  $\text{TiO}_2\text{-AC-ZAL}$  yang optimal untuk mengeliminasi  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ , dan  $\text{HC}$ . Selanjutnya, bagaimana pengaruh berat komposit dan konsentrasi awal polutan terhadap kinerja komposit dalam mengeliminasi polutan. Rumusan masalah berikutnya adalah bagaimana mendesain struktur masker yang memiliki waktu kontak yang lebih lama antara katalis komposit dengan polutan sehingga proses degradasi polutan secara fotokatalitik semakin efektif. Dan rumusan masalah terakhir yaitu bagaimana mendapatkan persamaan laju reaksi eliminasi polutan dan persamaan waktu degradasi sehingga waktu untuk mengeliminasi polutan pun dapat dihitung.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan komposisi katalis komposit  $\text{TiO}_2\text{-AC-ZAL}$  yang optimal untuk mendegradasi  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ , dan  $\text{HC}_x$ .
2. Mengetahui pengaruh berat komposit dan konsentrasi awal polutan terhadap kinerja katalis komposit  $\text{TiO}_2\text{-AC-ZAL}$ .
3. Mendapatkan desain masker anti polutan berbasis katalis komposit  $\text{TiO}_2\text{-AC-ZAL}$  yang dapat mendukung kinerja degradasi  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ , dan  $\text{HC}$  secara fotokatalitik.
4. Mendapatkan persamaan laju degradasi  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ , dan  $\text{HC}$  secara fotokatalitik dan persamaan waktu degradasi, sehingga dapat dihitung waktu yang dibutuhkan oleh masker untuk mendegradasi polutan hingga ke baku mutunya.

#### 1.4 Batasan Masalah

Batasan dari penelitian ini adalah:

1. Rekayasa masker yang akan dilakukan hanya mencakup desain material pendegradasi polutan dan desain struktur masker.
2. Katalis komposit yang akan dibuat merupakan kombinasi dari fotokatalis  $\text{TiO}_2$ , adsorben karbon aktif (AC), dan zeolit alam Lampung (ZAL).
3. Fotokatalis  $\text{TiO}_2$  dalam katalis komposit adalah fotokatalis yang sudah aktif yaitu  $\text{TiO}_2$  P-25 dari Degussa, Jerman.
4. Metode preparasi katalis komposit yang akan digunakan adalah *mechanical mixturing*.
5. Metode yang digunakan untuk meng-*coating* katalis komposit pada *aluminium foil* adalah *spray coating*, dan pada serat nanas adalah *dip coating*.
6. Polutan yang akan didegradasi adalah CO,  $\text{NO}_x$ , dan HC
7. Karakterisasi katalis komposit yang dilakukan adalah XRF, BET, XRD, SEM, dan EDX

#### 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam makalah seminar ini yaitu terdiri dari:

##### BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang penelitian, perumusan masalah yang dibahas, tujuan dilakukannya penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan.

##### BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang karbon monoksida, nitrogen oksida, hidrokarbon penelusuran paten desain masker, fotokatalisis untuk degradasi CO,  $\text{NO}_x$ , dan HC, fotokatalis  $\text{TiO}_2$ , adsorpsi, adsorben karbon aktif dan zeolit alam, sinergitas fotokatalis dan adsorpsi, kinetika reaksi fotokatalisis untuk degradasi CO,  $\text{NO}_x$ , dan HC, serat daun nanas, metode *mechanical mixturing*, metode *coating* katalis komposit, dan karakterisasi katalis.

### BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang metode pelaksanaan penelitian, peralatan penelitian, bahan penelitian, prosedur penelitian, kalibrasi *gas analyzer*, uji kinerja alat, dan parameter penelitian.

### BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang pemaparan hasil dari penelitian yang telah diolah dan dianalisis. Hasil penelitian yang didapat dan dibahas mencakup karakterisasi XRF, karakterisasi XRD, karakterisasi BET, karakterisasi SEM & EDX, pengaruh keberadaan adsorben dan fotokatalis terhadap proses eliminasi polutan, pengaruh berat total katalis komposit terhadap proses eliminasi polutan, pengaruh komposisi katalis komposit terhadap proses eliminasi polutan, pengaruh konsentrasi awal polutan terhadap proses eliminasi polutan, kinetika reaksi degradasi polutan secara fotokatalitik, perhitungan waktu degradasi, analisis kelayakan masker, dan perbandingan efisiensi masker.

### BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang didapat dari penelitian dan juga saran yang patut diperhatikan jika penelitian ini dilanjutkan.

### DAFTAR REFERENSI

Terdiri dari acuan pustaka dan referensi baik dari literatur, jurnal ilmiah, maupun sumber lain yang digunakan sebagai rujukan dalam penulisan makalah seminar ini.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Karbon Monoksida**

Karbon monoksida (CO) merupakan senyawa berwujud gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa. Karbon monoksida merupakan hasil dari reaksi oksidasi parsial senyawa yang mengandung karbon. Dari reaksi tersebut, dihasilkan berbagai macam konsentrasi karbon monoksida, misalnya 7.000 ppm dari gas buang kendaraan tanpa konverter katalitik dan 30.000 ppm dari asap rokok (Gosink, 1983). Oleh karena itu, tidaklah mengherankan jika kadar karbon monoksida di Jakarta semakin meningkat dan melebihi ambang batasnya di atmosfer, yaitu 15 ppm (Fairbanks NSBES, 2010).

Karbon monoksida dapat mengganggu kesehatan baik dalam jangka panjang maupun pendek (Sudrajad, 2008; Sumedi, 2006). Ketika karbon monoksida masuk ke dalam tubuh, molekul gas ini akan bergabung dengan hemoglobin membentuk senyawa karboksihemoglobin. Pembentukan senyawa karboksihemoglobin ini 200 kali lebih cepat dari pada pembentukan oksihemoglobin, sehingga fungsi darah sebagai penyalur oksigen ke seluruh jaringan tubuh menjadi tidak maksimal. Dengan konsentrasi 667 ppm saja, karbon monoksida dapat mengubah lebih dari 50% hemoglobin menjadi karboksihemoglobin (Wikipedia, 2010).

#### **2.2 Oksida Nitrogen**

Oksida Nitrogen (NO<sub>x</sub>) dapat berupa NO dan NO<sub>2</sub>. NO<sub>x</sub> yang berasal dari emisi gas buang didominasi oleh NO. Jika kadar NO dalam tubuh berlebihan, maka jaringan tubuh kita bisa rusak, kanker, dan menyebabkan infeksi seperti sklerosis, artritis, bahkan diabetes juvenile (Sukarto, 2006). NO termasuk ke dalam radikal bebas yang memiliki reaktivitas yang tinggi. Seperti CO, NO juga tidak berwarna. Di udara, NO bisa teroksidasi menjadi NO<sub>2</sub> yang merupakan salah satu senyawa yang menyebabkan hujan asam.

Nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) merupakan gas berwarna coklat kemerahan, memiliki bau yang tajam, dan termasuk ke dalam senyawa polutan di atmosfer yang bersifat toksik. Namun, keberadaan  $\text{NO}_2$  ini dapat kita deteksi dengan indera penciuman kita karena baunya yang tajam.  $\text{NO}_2$  terutama dihasilkan oleh pembakaran dalam mesin, *thermal power station*, *gas heater and stoves*. Seperti  $\text{NO}$ , sifat  $\text{NO}_2$  yang toksik dapat menyebabkan infeksi paru-paru, asma, dan edema (Sudrajad, 2008; Yuli, 2010), dapat membius hidung pada konsentrasi 4 ppm, dan dalam jangka waktu yang lama menghirup  $40\text{-}100 \mu\text{g}/\text{cm}^3$  dapat menyebabkan gangguan serius pada kesehatan (Wikipedia, 2010).

Gas  $\text{NO}_x$  dapat terbentuk atas tiga fungsi yaitu temperatur, waktu reaksi, dan konsentrasi oksigen. Dan, sekitar 90% dari emisi  $\text{NO}_x$  disebabkan oleh proses termal. Proses termal berkaitan dengan suhu, adanya gas nitrogen yang teroksidasi pada suhu tinggi ( $T > 1800 \text{ K}$ ) di dalam ruang bakar mengakibatkan terbentuknya gas  $\text{NO}_x$ .

### 2.3 Hidrokarbon

Hidrokarbon (HC) merupakan bahan bakar dari kendaraan bermotor. Namun, hidrokarbon yang dimaksud dalam penelitian ini adalah hidrokarbon yang tidak terbakar, biasa disebut *Unburned Hydrocarbons*, (UHC) dalam ruang pembakaran di mesin. Hal ini diakibatkan karena adanya bahan bakar yang posisinya jauh dari *flame zones*, misalnya di dekat piston, atau bisa juga karena pencampuran bahan bakar yang jelek (USC Viterbi, 2011). Biasanya UHC ini terdiri dari:

- Metana,
- Senyawa parafinik seperti etana
- Senyawa aromatik seperti metaxylene
- 1,3-butadiena
- Senyawa polisiklik aromatik

Efek hidrokarbon terhadap kesehatan sangatlah serius karena berpotensi untuk menimbulkan penyakit leukimia dan kanker (Sudrajad, 2008).

## 2.4 Penelusuran Paten Desain Masker

Masker merupakan suatu alat bantu pemurni udara yang terus mengalami evolusi sejak ditemukan di abad 19. Berikut ini adalah sejarah evolusi masker pernafasan (Barker, 1926):

### 2.4.1 Inhaler atau Alat Pelindung Paru-paru

Diciptakan oleh Lewis P. Haslett dari Louisville pada tahun 1847. Penemuan ini mendapatkan paten pertama sebagai *air purifying respirator* yaitu dengan US Patent #6529 pada tahun 1849. Alat ini memungkinkan manusia untuk bernafas melalui hidung atau mulut. Alat ini dilengkapi dengan dua katup satu arah, yaitu satu katup untuk menghirup udara yang akan melalui saringan berbentuk bola, dan satu katup lainnya untuk menghembuskan udara langsung ke atmosfer. Bahan filter berupa wol atau zat berpori lainnya yang dibasahi oleh air. Filter ini sangat cocok untuk menyingkirkan debu atau partikel padat lainnya, tetapi tidak efektif terhadap gas.

### 2.4.2 Masker Gas Stenhouse



Gambar 2.1 Masker buatan John Stenhouse

Sumber: <http://www33.brinkster.com>

Diciptakan oleh seorang kimiawan Skotlandia, John Stenhouse pada tahun 1854. Awalnya pada tahun 1850, John Stenhouse meneliti kekuatan berbagai bentuk arang untuk menangkap dan menahan volume sejumlah volume besar gas. Kemudian, dengan berbekal pengetahuan dasar tersebut, John Stenhouse berusaha

untuk mengaplikasikannya ke dalam masker sehingga masker tersebut mampu menangkal gas beracun dari udara yang masuk. Filter dari masker ini terdiri dari dua lapisan yang berisi bubuk arang. Dua lapisan ini berbentuk dua kubah kawat kasa yang menutupi hidung dan mulut pemakainya. Penemuan ini sangat berguna bagi aplikasi teknologi modern lantaran saat ini prinsip arang atau karbon aktif sebagai media filter paling banyak digunakan untuk masker gas (Wikipedia,2010).

#### **2.4.3 Masker Pernafasan Pemadam Kebakaran**

Diciptakan oleh fisikawan terkemuka Inggris John Tyndall pada tahun 1871. Beliau menggabungkan fitur pelindung dari masker Stenhouse dengan perangkat pernafasan lainnya. Masker yang diciptakan oleh Tyndall ini terdiri dari ruang katup dan tabung filter yang panjangnya sekitar 4 inchi. Filtornya terdiri dari kapas yang jenuh dengan gliserin, kapur, dan arang. Kapur dapat menyerap asam karbonat yang merupakan salah satu produk pembakaran. Gliserin dapat menyerap partikel asap, sedangkan arang dapat menyerap uap air. Masker Tyndall ini diciptakan khusus untuk pemadam kebakaran.

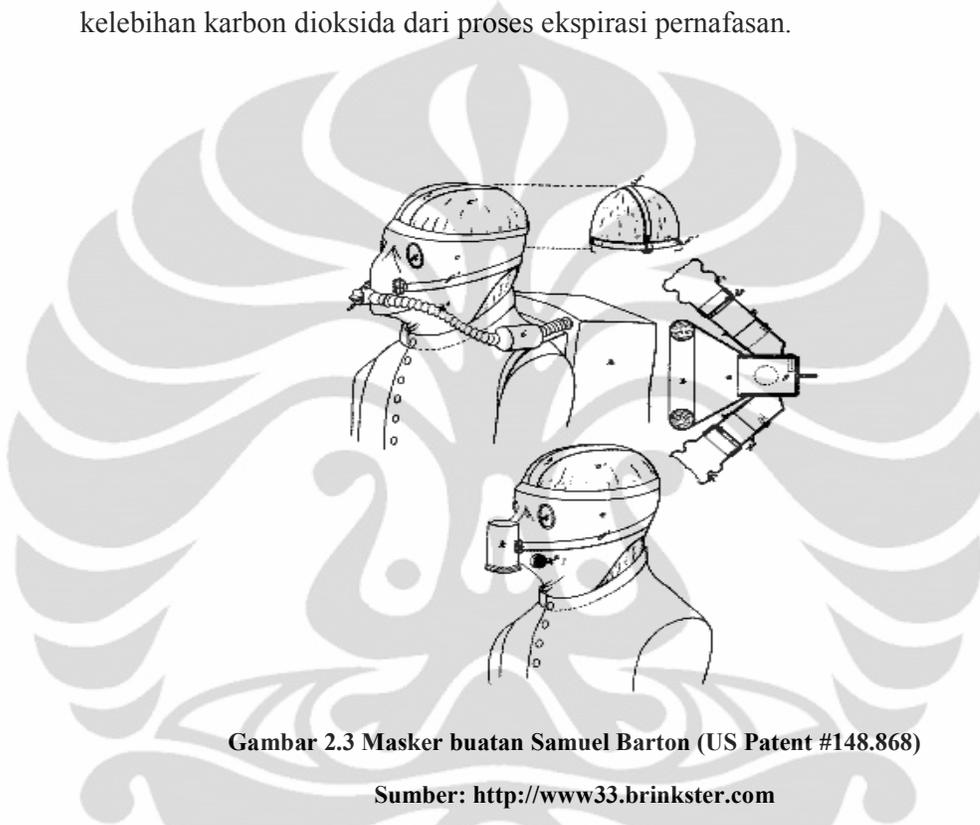


**Gambar 2.2 Masker buatan John Tyndall**

Sumber: <http://www33.brinkster.com>

#### **2.4.4 Masker Pernafasan Barton**

Diciptakan oleh Samuel Barton dari Inggris pada tahun 1874. Masker ini menutup seluruh bagian wajah dengan karet dan logam. Sebuah tabung logam yang merupakan komponen masker ini berisikan filter yang terdiri dari kapas yang terbasahi, arang, kapur, dan gliserin. Kapur digunakan untuk menghilangkan kelebihan karbon dioksida dari proses ekspirasi pernafasan.



**Gambar 2.3 Masker buatan Samuel Barton (US Patent #148.868)**

Sumber: <http://www33.brinkster.com>

#### **2.4.5 Masker Neally Penghilang Asap**

Diciptakan oleh Neally pada tahun 1877 dengan target konsumennya adalah pemadam kebakaran. Ada dua macam masker yang diciptakan oleh Neally. Pertama, masker yang menutupi wajah secara rapat yang bahannya terbuat dari mika. Pada alat pertama ini, udara dihirup dari tabung karet yang dipasang dibagian dada. Kedua, masker yang juga menutupi wajah secara rapat ini, alat filternya langsung dipasang di bagian wajah.



Gambar 2.4 Masker I dan II buatan Neally (US Patent # 195.300 dan # 212.969)

Sumber: <http://www33.brinkster.com>

#### 2.4.6 Masker Cup

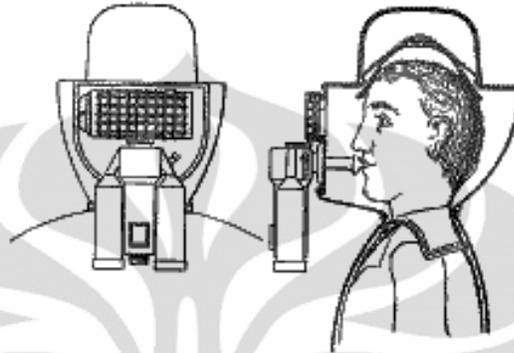
Masker ini dirancang oleh R. Hutson Hurd pada tahun 1879 untuk menangkal gas beracun berbahaya, debu, dan partikel lainnya ke dalam saluran pernafasan manusia. Masker ini mirip moncong babi ketika dipakai. Desain masker ini menutupi mulut dan hidung penggunanya, dan menggunakan tali sebagai pengikat masker ke kepala. Masker ini di bagian depannya juga terdapat filter. Jenis masker ini merupakan masker yang paling meluas penggunaannya untuk keperluan industri.



Gambar 2.5 Masker buatan Hutson Hurd (US Patent # 218.976)

Sumber: <http://www33.brinkster.com>

#### **2.4.7 Masker Pernafasan Loeb**



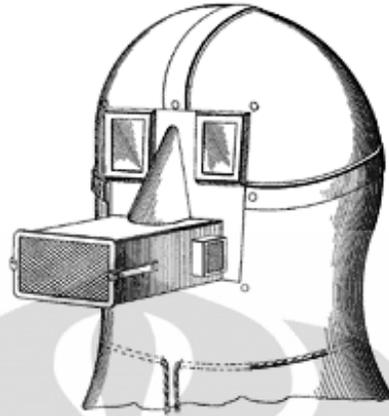
**Gambar 2.6 Masker buatan Loeb Berlin (US Patent # 533.854)**

**Sumber: <http://www33.brinkster.com>**

Dirancang oleh Loeb Berlin, seorang berkebangsaan Jerman, pada tahun 1891. Masker ini dirancang untuk memurnikan udara kotor, menghilangkan bau asap, menghilangkan debu, gas beracun, serta uap. Salah satu komponen masker ini mencakup tabung logam yang diikatkan di bagian pinggang. Tabung logam ini berisi sistem penyaringan yang mengandung bahan kimia cair, dan gumpalan arang yang berpori-pori halus. Kemudian, komponen selanjutnya adalah sebuah selang tabung fleksibel yang terhubung ke mulut. Oleh karena itu, pemakai alat ini harus menghirup udara bersih melalui mulutnya.

#### **2.4.8 Masker Pernafasan Muntz**

Dirancang oleh Louis Muntz dari Minnesota pada tahun 1902. Masker ini didesain menutupi kepala secara penuh. Komponen masker ini berupa saluran katup, filter spons, dan adsorben berbasis karbon.

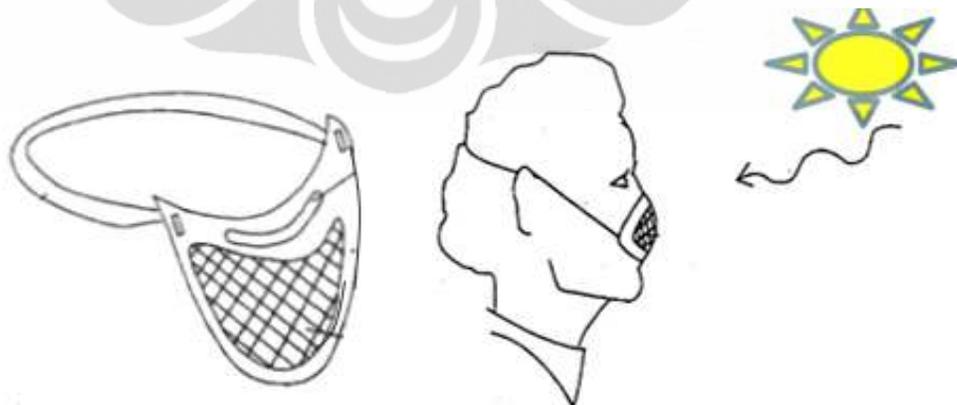


**Gambar 2.7 Masker buatan Muntz (US Patent # 703.948)**

Sumber: <http://www33.brinkster.com>

#### **2.4.9 Masker Fotokatalitik**

*US Patent* No.5,744,407 yang berjudul “*Photocatalytic Face Mask*” ditemukan oleh Ali Tabatabaie Raissi, Nazim Z. Muradov, serta Philip W. Fairey pada tahun 1998. Paten ini menerangkan suatu membran kimia yang diletakkan di dalam masker yang berfungsi untuk mendegradasi senyawa VOC, khususnya formaldehid dan terpena. Lapisan membran yang dibuat berbasis fotokatalisis heterogen yang hanya membutuhkan cahaya tampak dari matahari agar reaksi fotokatalisis terjadi. Berikut ini adalah gambar dari masker fotokatalitik tersebut:



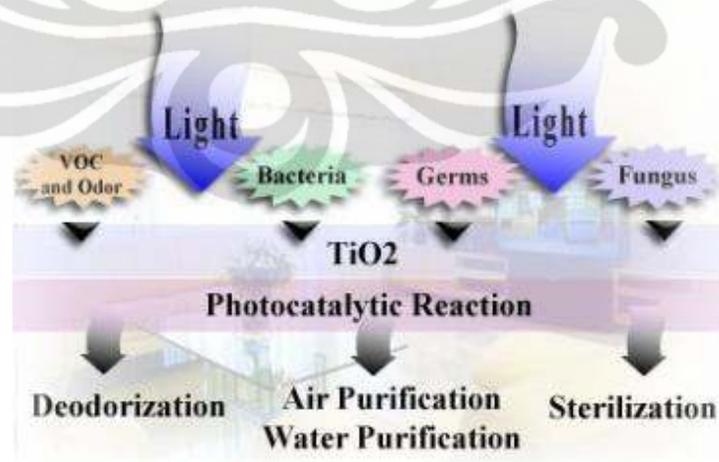
**Gambar 2.8 Masker fotokatalitik**

Sumber: <http://www.freepatentsonline.com/57444047.html>

Dari paten tersebut, terdapat beberapa hal yang perlu dievaluasi, pertama desain struktur masker tersebut menyebabkan waktu kontak antara polutan dengan fotokatalis sangat singkat. Waktu kontak merupakan faktor penting dalam konversi, jika waktu kontak semakin lama maka konversi akan semakin meningkat (Fogler, 1992). Kedua, yaitu dari material pendegradasi polutan VOC hanya terdiri dari fotokatalis  $\text{TiO}_2$  padahal daya adsorpsi  $\text{TiO}_2$  terhadap polutan sangat rendah. Kedua hal ini menyebabkan konversi polutan VOC menjadi senyawa  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  kecil.

## 2.5 Fotokatalisis untuk Degradasi $\text{CO}$ , $\text{NO}_x$ , dan HC

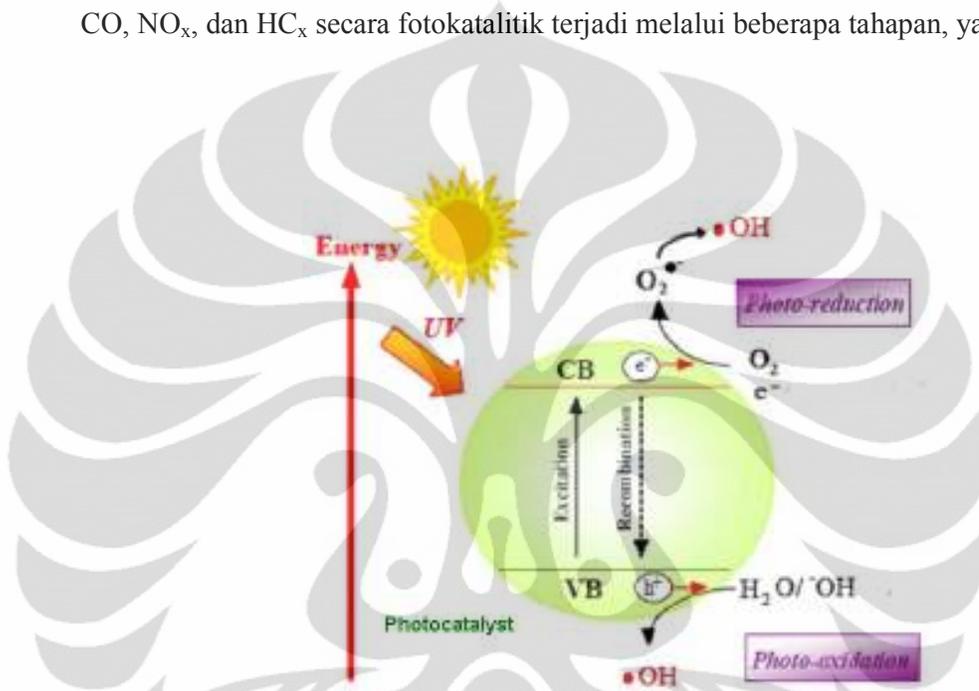
Fotokatalisis merupakan suatu proses kombinasi antara fotokimia dan katalis, yaitu suatu proses transformasi kimiawi dengan melibatkan cahaya sebagai pemicu dan katalis yang dapat mempercepat proses transformasi tersebut (Fujishima, 1999). Fotokatalisis, memiliki berbagai macam fungsi, misalnya untuk purifikasi air, purifikasi udara, sterilisasi, penghilangan bau, dan anti-fogging (Herrman, 2007).



Gambar 2. 9 Aplikasi Fotokatalisis

Sumber: [www.labnano.org.mx](http://www.labnano.org.mx)

Dalam penelitian ini, yang dimanfaatkan adalah fungsi fotokatalisis untuk purifikasi udara, yaitu dengan mendegradasi polutan emisi kendaraan seperti CO, NO<sub>x</sub>, dan HC<sub>x</sub>. Telah diteliti bahwa, proses fotokatalisis memiliki performa yang cukup baik dalam mendegradasi CO (Bosc, 2007; Wonyong, 2003), NO<sub>x</sub> (Ibusuki, 2002; Toma, 2004; Pichat, 2007; Hunger, 2008), dan HC (Chen, 2004). Degradasi CO, NO<sub>x</sub>, dan HC<sub>x</sub> secara fotokatalitik terjadi melalui beberapa tahapan, yaitu:

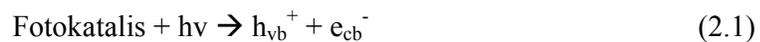


Gambar 2.10 Fotokatalis yang Teradiasi Sinar UV

Telah diolah kembali dari: Rana, 2009

#### 1. Absorpsi sinar ultraviolet dan produksi pasangan *electron-hole*

Ketika fotokatalis teriluminasi oleh sinar ultraviolet, fotokatalis tersebut menyerap energi ( $h\nu$ ) yang dimiliki oleh sinar ultraviolet. Jika energi yang diserap melebihi dari *band gap* fotokatalis, maka elektron ( $e^-$ ) dalam fotokatalis akan tereksitasi dari pita valensi (VB) ke pita konduksi (CB), dan pada pita konduksi pun terbentuk *hole* ( $h^+$ ). Lihat persamaan 1 berikut:



## 2. Reaksi fotoreduksi dan fotooksidasi oleh *electron-hole*.

Elektron dan *hole* yang terbentuk dapat berekombinasi kembali baik di dalam maupun di permukaan partikel fotokatalis. Namun, ada juga elektron dan *hole* yang dapat bertahan sampai di permukaan. Elektron dan *hole* yang sampai di permukaan ini akan menginisiasi reaksi reduksi dan oksidasi senyawa yang ada di sekitarnya (Venturini, 2009).

## 3. Reaksi fotooksidasi senyawa polutan

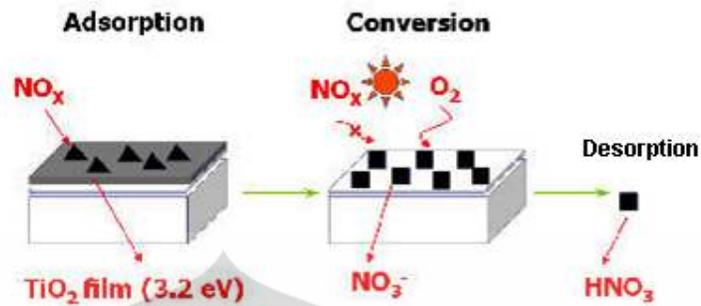
Elektron dan *hole* yang bertahan sampai di permukaan ketika bertemu dengan molekul uap air ( $H_2O$ ) akan bereaksi membentuk senyawa-senyawa radikal seperti radikal hidroksil ( $\cdot OH$ ), radikal superoksida ( $\cdot O_2^-$ ) mengikuti persamaan berikut ini (Venturini, 2009):



Senyawa radikal hidroksil berada dalam fasa teradsorpsi di permukaan fotokatalis dan merupakan oksidator kuat, karena memiliki potensial oksidasi sebesar 2,8 eV. Potensial oksidasi sebesar 2,8 eV ini sudah cukup untuk mengoksidasi senyawa polutan, seperti  $NO_x$ ,  $HC_x$ , dan CO dengan mekanisme reaksi sebagai berikut:

### a. Mekanisme reaksi fotooksidasi $NO_x$ (Ao, 2005)





Gambar 2. 11 Mekanisme Fotooksidasi  $\text{NO}_x$

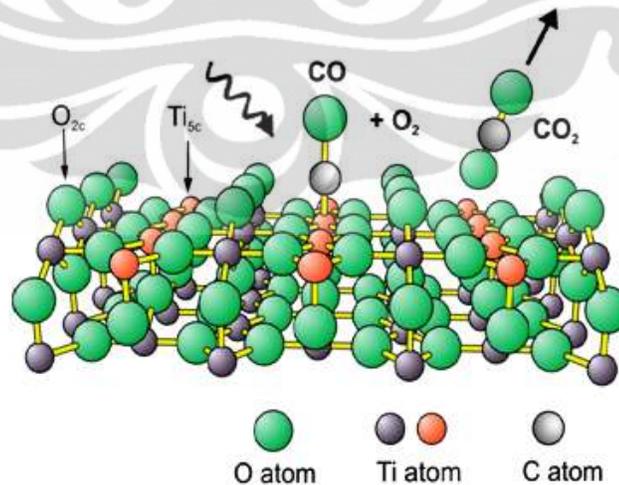
Sumber: Qingping, 2005

b. Mekanisme reaksi fotooksidasi HC

Salah satu hidrokarbon yang termasuk kedalam UHC adalah metana ( $\text{CH}_4$ ). Berikut ini adalah mekanisme reaksi fotooksidasi metana (Chen, 2004):

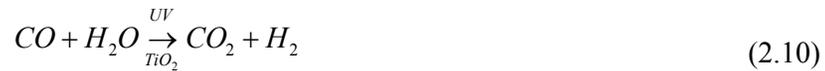


c. Mekanisme reaksi fotooksidasi CO (Sangman, 2003)



Gambar 2. 12 Mekanisme Reaksi Fotooksidasi CO sesuai persamaan 2.12

Sumber: Woll, n.d.



Reaksi pada persamaan 2.10 terkadang diabaikan karena lajunya yang sangat lambat. Reaksi yang terjadi biasanya sesuai dengan persamaan 2.11 dan 2.12

### **2.5.1 Fotokatalis TiO<sub>2</sub>**

Fotokatalis merupakan semikonduktor memegang peranan penting dalam reaksi fotokatalisis. Fotokatalis yang biasa digunakan dalam proses fotooksidasi diantaranya adalah TiO<sub>2</sub>, ZnO, CdS, dan Fe (III). Namun, fotokatalis yang paling sering digunakan adalah TiO<sub>2</sub>. Fotokatalis ini memiliki berbentuk bubuk berwarna putih (lihat Gambar .



**Gambar 2. 13 Fotokatalis TiO<sub>2</sub>**

TiO<sub>2</sub> memiliki keunggulan, diantaranya aktivitas fotokatalis, indeks refraktif dan konstanta dielektrik yang tinggi, tidak beracun, transmitansi baik pada daerah infra merah dan cahaya tampak, stabilitas kimia dan cahaya baik, dapat mengatur kelembaban udara sekitar, dan harganya relatif murah (Ao, 2005; Salvado, 2007; Slamet, 2007). Selain itu, TiO<sub>2</sub> dapat menghasilkan *hole* yang

potensial oksidasinya sangat tinggi, yaitu +2,53 eV terhadap SHE, dan juga menghasilkan elektron yang dapat berperan sebagai agen pereduksi karena potensial reduksinya cukup besar, yaitu -0,52 eV terhadap SHE (Birnie,n.d.).

## 2.6 Adsorpsi

Adsorpsi adalah sebuah proses yang terjadi ketika sejumlah gas atau cairan terkonsentrasi pada suatu permukaan padatan atau cairan, membentuk lapisan molekular maupun atom (Ruthven, 2007). Substansi yang teradsorpsi dinamakan adsorbat dan berada pada fasa teradsorpsi, sedangkan padatan atau cairan yang mengadsorpsi substansi disebut adsorben, salah satu contoh adsorben yaitu zeolit alam. Banyaknya adsorbat gas polutan yang dapat diserap oleh adsorben padat dipengaruhi oleh beberapa faktor (Slamet, 2007), yaitu:

### 1. Jenis adsorben dan adsorbat

Ditinjau dari ukuran molekulnya, molekul yang dapat teradsorpsi adalah molekul yang diameternya sama atau lebih kecil dari pori-pori adsorben. Kemudian, jika ditinjau dari kepolaran adsorben dan adsorbat, adsorben polar seperti zeolit dan silica gel, cenderung mengadsorpsi molekul polar dan bersifat hidrofilik, sedangkan adsorben non polar seperti karbon aktif cenderung menarik molekul non polar dan bersifat hidrofobik.

### 2. Luas permukaan adsorben

Semakin luas permukaan adsorben maka jumlah adsorbat yang teradsorpsi juga akan semakin banyak.

### 3. Kemurnian adsorben

Semakin murni adsorben maka daya adsorpsinya akan semakin baik.

### 2.6.1 Karbon Aktif

Karbon aktif (AC) merupakan senyawa amorf yang biasa dimanfaatkan sebagai adsorben. Karbon aktif memiliki kemampuan mengadsorpsi gas dan senyawa kimia tertentu, tergantung pada volume pori dan luas permukaannya. Karbon yang sangat baik untuk mengeliminasi polutan organik (Corbitt, 1990). Berdasarkan bentuk fisiknya karbon aktif terdiri dari berbagai jenis, diantaranya:

1. *Powdered Activated Carbon* (PAC), merupakan karbon aktif yang berbentuk bubuk memiliki luas permukaan yang sangat besar dan volume pori yang sangat besar.
2. *Granular Activated Carbon* (GAC), merupakan karbon aktif yang berbentuk granular, sehingga ukuran partikelnya lebih besar dari PAC, dan luas permukaan yang lebih kecil dibanding PAC.
3. *Extruded Activated Carbon* (EAC), merupakan karbon yang mengombinasikan PAC dengan senyawa pengikat lalu dimasukkan ke silinder berdiameter 0,8 – 130 mm.

Daya adsorpsi dari karbon aktif bergantung dari *magnitude* permukaan internal, distribusi ukuran dan bentuk pori. Keunggulan karbon aktif dibanding adsorbennya adalah luas permukaannya yang sangat besar, berkisar antara 100-1000 m<sup>2</sup>/g karena memiliki banyak pori. Kemudian, telah dibuktikan oleh Amora (2009) bahwa campuran hidrokarbon dapat diadsorpsi dengan baik oleh karbon aktif.

### **2.6.2 Adsorben Zeolit**

Zeolit merupakan adsorben berbentuk kristalin berpori alumina-silikat dari logam alkali dan alkali tanah seperti natrium, kalium, dan kalsium (Cejka, 2007). Zeolit memiliki karakteristik yang berbeda dari adsorben lainnya, diantaranya distribusi pori zeolit sangat seragam (Ruthven, n.d.), luas permukaannya besar, dan stabilitas termalnya tinggi. Zeolit juga memiliki sifat *shape selectivity*, artinya molekul-molekul zat dengan diameter tertentu saja yang dapat melewati dan menempati pori-pori dan rongga dari zeolit, sementara molekul yang terlalu besar akan ditolak (De Moor, 1998). Kemampuan adsorpsi zeolit tergantung dari rasio Si/Al dalam zeolit. Makin rendah rasionya, maka zeolit akan cenderung memilih molekul-molekul yang polar untuk diadsorpsi, begitu juga sebaliknya (Maurin, 2007). Dalam penelitian ini, zeolit yang digunakan adalah zeolit alam Lampung (ZAL). Pemilihan zeolit alam sebagai adsorben didasarkan atas ketersediaan zeolit alam di Indonesia yang melimpah dan harga zeolit alam juga murah (Suwardi, 2002). Kemampuan zeolit dalam mengadsorpsi NO<sub>x</sub> telah

dibuktikan oleh Despres (2003), Huuhtanen (2006) . Zeolit juga dapat digunakan untuk mengadsorpsi  $HC_x$  (Muraza, 2004). Kemudian, zeolit juga memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi CO seperti yang telah dibuktikan oleh Tezel (1993).

Selain sebagai adsorben, zeolit juga dapat berfungsi sebagai penyangga katalis (Lee, 2005). Dispersi katalis/logam aktif ke permukaan zeolit dapat memperluas permukaan katalis dan memperbanyak jumlah situs aktif. Dengan demikian, diharapkan kontak antara reaktan dan katalis akan semakin banyak, sehingga reaksi akan berlangsung mudah dan cepat. Selain itu, penggunaan penyangga katalis ditujukan untuk mengatur jumlah katalis/logam aktif yang dibutuhkan serta meningkatkan aktivitas katalis serta daya tahan kerja katalis.

## 2.7 Sinergitas Fotokatalisis dan Adsorpsi

Dari penelitian yang telah dilakukan, ternyata penggunaan adsorben sebagai penyangga fotokatalis melalui berbagai metode dapat meningkatkan laju degradasi senyawa polutan (Torimoto, 1996; Matsuoka, 2003; Ibadurrohman, 2008).

Kinerja kombinasi antara adsorben dan fotokatalis ini ditentukan oleh daya adsorpsi adsorben dan kemampuan difusi adsorbat ke fotokatalis (Torimoto, 1996). Semakin tinggi daya adsorpsi adsorben, maka laju degradasi polutan juga semakin meningkat. Oleh karena itu, pemilihan adsorben harus dilakukan secermat mungkin untuk menghasilkan laju degradasi yang optimal.

Tingkat aktivitas fotokatalis yang digabungkan dengan adsorben sebagai penyangga sangat dipengaruhi oleh jumlah konsentrasi atau *loading* fotokatalis  $TiO_2$  ke adsorben penyangga (Ichiura, 2002). Aktivitas akan semakin baik apabila fotokatalis terdispersi merata (Matsuoka, 2003) ke seluruh permukaan adsorben. Pada jumlah konsentrasi  $TiO_2$  yang cukup tinggi, diperoleh laju fotodegradasi senyawa  $CO_2$  dan  $NO_x$  yang rendah. Hal ini karena  $TiO_2$  menggerombol pada bagian tertentu dari penyangga. Karena  $TiO_2$  menggerombol, maka selain adanya ikatan  $TiO$ , terbentuk pula ikatan  $Ti-O-Ti$ . Adanya ikatan ini menyebabkan koordinat  $TiO_2$  berbentuk oktahedral. Ternyata koordinat  $TiO_2$  yang berbentuk

oktahedral ini kurang aktif karena struktur ini memungkinkan terjadinya interaksi antar TiO<sub>2</sub> sehingga TiO<sub>2</sub> tidak aktif sebagai fotokatalis (Slamet, 2007).

Kombinasi antara TiO<sub>2</sub>, AC, dan ZAL untuk mengeliminasi berbagai polutan telah dibuktikan melalui penelitian yang dilakukan oleh Durgakumari (2002) dan Zainuddin (2010). Keduanya mengombinasikan TiO<sub>2</sub> dengan zeolit untuk mendegradasi fenol. Kombinasi TiO<sub>2</sub>-AC juga telah diuji sinergitasnya untuk mengeliminasi rodamin (He Zhong, 2009), toluena (Matos, 2010; Yanjun, 2006), metilen biru (Won, 2008).

## 2.8 Kinetika Reaksi Degradasi CO, NO<sub>x</sub>, dan HC secara Fotokatalitik

Proses degradasi polutan CO, NO<sub>x</sub>, dan HC mengikuti mekanisme Langmuir-Hinselwood (Hwang, 2003; Kachina, 2008; Hunger 2010). Persamaan reaksi yang paling sederhana untuk reaksi monomolekular adalah:

$$r = -\frac{dC}{dt} = \frac{kKC}{1+KC} \quad (2.13)$$

dengan  $r$  adalah laju degradasi (ppm menit<sup>-1</sup>),  $C$  adalah konsentrasi dari gas polutan (ppm),  $k$  adalah konstanta kesetimbangan reaksi (ppm menit<sup>-1</sup>), dan  $K$  adalah koefisien adsorpsi Langmuir (ppm<sup>-1</sup>).

Persamaan 2.13 dapat dilinearisasi menjadi persamaan 2.14 berikut:

$$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{kK}\right)\left(\frac{1}{C}\right) + \left(\frac{1}{k}\right) \quad (2.14)$$

Permodelan kinetika reaksi fotokatalitik yang cukup rumit biasanya disederhanakan dengan cara menggunakan metode analisis laju awal (*initial rate*) dari reaksi degradasi secara fotokatalitik. Perhitungan berdasarkan metode *initial rate* didasarkan atas konsentrasi minimum yang dapat diamati saat waktu kontak dengan reaktan juga minimum, misalnya saat  $t = 0$ , sehingga persamaan 2.14 dapat dinyatakan menjadi persamaan 4.3 berikut ini:

$$\frac{1}{r_0} = \left(\frac{1}{kK}\right)\left(\frac{1}{C_0}\right) + \left(\frac{1}{k}\right) \quad (2.15)$$

dengan

$$r_0 = - \left. \frac{dC}{dt} \right|_{t=0} \quad (2.16)$$

Nilai  $k$  dan  $K$  dapat dengan mudah dicari melalui persamaan 2.15 jika nilai  $r_0$  telah diketahui untuk setiap nilai  $C_0$ . Nilai  $r_0$  seperti yang ditunjukkan persamaan 2.16 dapat dihitung dengan cara menurunkan persamaan grafik  $C$  vs.  $t$ , dengan  $C$  adalah konsentrasi dan  $t$  adalah waktu. Setelah persamaan tersebut diturunkan, langkah berikutnya adalah memasukkan  $t=0$  ke persamaan turunan tersebut, sehingga didapatkan nilai  $r_0$ . Kemudian setelah nilai  $r_0$  didapatkan, dapat dibuat kurva invers dari  $r_0$  terhadap invers  $C_0$ . Dengan meregresi kurva tersebut secara linier, maka akan didapatkan garis linier dengan bentuk seperti persamaan 2.15. Dengan demikian, nilai  $k$  dan  $K$  dapat dihitung.

## 2.9 Serat Daun Nanas

Serat daun nanas (*pineapple leaf fibre*) merupakan salah satu jenis serat yang diperoleh dari bagian daun tanaman nanas. Tanaman nanas banyak dibudidayakan di Indonesia, yaitu di daerah Subang, Majalengka, Bengkulu, Lampung, dan Palembang. Potensi pemanfaatan tanaman nanas ini semakin didukung oleh luasnya perkebunan tanaman nanas yang dimiliki oleh Indonesia, misalnya perkebunan nanas yang terdapat di Palembang seluas 26.345 Ha, Subang 4000 Ha, dan Lampung 52.000 Ha. Setiap dua atau tiga kali panen, tanaman nanas akan nanas yang lama akan diganti dengan tanaman nanas yang baru, sehingga daun nanas menjadi limbah yang jumlahnya terus terakumulasi. Sayangnya, limbah daun nanas ini jarang dimanfaatkan. Biasanya limbah daun nanas dikembalikan lagi ke lahan untuk digunakan sebagai pupuk. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah daun nanas secara tidak langsung dapat memberikan nilai tambah pada limbah ini (Asbani, 2004).

Secara morfologi, jumlah serat dalam daun nanas terdiri dari beberapa ikatan serat (*bundle of fibres*) dan masing-masing ikatan terdiri dari beberapa serat (*multi-celluler fibre*). Berdasarkan pengamatan mikroskop sel-sel serat daun nanas memiliki diameter 10  $\mu\text{m}$  dan panjang rata-rata 4,5 mm dengan rasio

perbandingan antara panjang dan diameter adalah 450. Rata-rata ketebalan dinding sel dari serat daun nanas adalah 8,3  $\mu\text{m}$  (Asbani, 2010).



**Gambar 2. 14 Serat daun nanas**

Ministry of Textiles, Government of India (n.d.) menyatakan hasil pengamatan dengan sinar X bahwa serat daun nanas memiliki derajat kristalinitas yang tinggi dengan sudut puntiran serat sekitar  $15^\circ$ . Pada daerah kristalin molekul-molekulnya tersusun lebih kuat atau kencang oleh ikatan hidrogen dan gaya Van der Waals. Oleh karena itu, kekuatan serat nanas relatif lebih tinggi dibanding serat kapas, begitu juga dengan *flexural rigidity* dan *torsional rigidity* yang relatif lebih tinggi dari serat kapas. Hal ini menyebabkan serat cenderung tidak segera tergintir, sifat serat yang kaku. Serat nanas juga bersifat lebih porous dan menggelembung sehingga serat nanas memiliki kemampuan dicelup yang tinggi. Selain itu, karena sifat porousnya serat nanas juga bersifat lebih higroskopis jika dibandingkan dengan serat kapas, abaka, dan yute. Sifat ini menunjukkan kemampuan serat untuk mengikat uap air. Kapas hanya mampu menyerap 7-8%, sedangkan nanas lebih dari 10 % (Mwaikambo, 2006).

#### **2.10 Metode *Mechanical Mixturing* untuk Preparasi Katalis Komposit**

Metode pencampuran secara mekanik (*mechanical mixturing*) biasanya menggunakan alat seperti *magnetic stirer plates* dan *motor-driven stirring blades*.

*Magnetic stirrer plates* digunakan bersama *stirrer bar*, di mana *stirrer bar* ini akan ditempatkan di dalam larutan yang akan dicampur. Ukuran *stirrer bar* yang digunakan harus disesuaikan dengan wadah pencampuran. Berbeda dengan *magnetic stirrer plates*, yang biasa digunakan untuk pencampuran dalam volume kecil dengan cairan sebagai komponen utama pencampuran, *motor-driven stirring blades* digunakan untuk pencampuran dalam volume yang besar di mana padatan menjadi komponen utama dalam pencampuran (www.chem.wisc.edu).

Dalam penelitian ini, seluruh campuran yang akan digunakan didominasi oleh komponen cairan dan volumenya pun tidak terlalu banyak. Oleh karena itu *magnetic stirrer plates* dipilih sebagai alat yang akan digunakan untuk pencampuran. Terkadang, hasil pencampuran dari *magnetic stirrer plates* ini masih kurang homogen karena masih adanya agregat-agregat yang terbentuk. Untuk memecah agregat dari komponen padatan dalam campuran, sehingga campuran menjadi lebih homogen digunakan bantuan alat *ultrasonic processor*.

### **2.11 Metode Coating Katalis Komposit pada Substrat**

Untuk dapat membentuk lapisan katalis komposit  $\text{TiO}_2\text{-AC-ZAL}$  pada substrat, dilakukan proses *coating*. Berdasarkan tujuan aplikasinya, teknik *coating* ada berbagai jenis seperti yang diperlihatkan dalam Tabel 2.1.

Umumnya, pemilihan teknik *coating* didasarkan atas karakteristik substrat yang akan di-*coating*. Dalam penelitian ini substrat yang akan digunakan berupa *aluminium foil* dan serat daun nanas. *Aluminium foil* memiliki bentuk yang sederhana atau tidak kompleks dan juga datar, maka proses *coating* dapat dilakukan dengan cara *spray coating*. Metode *spray coating* dilakukan dengan memasukkan *slurry* katalis komposit ke suatu alat yang disebut sebagai *spray coater*. Berbeda dengan *aluminium foil*, serat nanas yang akan di-*coating* jumlahnya cukup banyak dan bentuknya juga sederhana. Oleh karena itu, agar seluruh permukaan serat dapat terlapsi oleh katalis komposit, metode yang dapat digunakan adalah metode *dip coating*.

Metode *dip coating* sangat cocok digunakan untuk jumlah substrat yang cukup banyak dan memiliki bentuk yang sederhana seperti serat nanas. Metode ini

juga sangat cocok digunakan untuk material yang poros yang memiliki permeabilitas. Transfer efisiensi dari metode ini juga sangat tinggi. Hal ini memungkinkan seluruh permukaan substrat ter-*coating* tanpa terkecuali. Selain itu, karena metodenya sederhana, maka alat-alat yang dibutuhkan pun juga sangat sederhana dan sedikit.

**Tabel 2. 1 Jenis teknik pelapisan dan aplikasinya**

No.	Teknik <i>Coating</i>	Aplikasi
1.	<i>Chain on edge</i>	Untuk bagian luar atau dalam diameter suatu substrat
2.	<i>Hand spray coating</i>	Untuk seluruh bagian dari permukaan substrat yang kaya akan seng, molydisulfida, dan PTFE
3.	<i>Tumble spray</i>	Untuk substrat yang besar maupun kecil dalam konfigurasi yang kontinyu (tak berujung)
4.	<i>Dip coating</i>	Untuk substrat yang jumlahnya banyak dan bentuknya sederhana
5.	<i>Dip and spin coating</i>	Untuk substrat yang berukuran kecil yang memiliki kontur khusus seperti paku, klip, o-ring, baut, dan mur
6.	<i>Dip and drain coating</i>	Pada bagian yang terlalu besar untuk <i>dip and spin coating</i> Pada bagian yang terlalu mudah pecah Pada bagian yang hanya bisa dijangkau dengan cara khusus Pada bagian tertentu saja dari substrat ( <i>partial coating</i> )
7.	<i>Flow coating</i>	Untuk substrat yang ukurannya besar dan memiliki bentuk yang ganjil atau susah untuk di- <i>coating</i> dengan <i>dip coating</i> .

## 2.12 Karakterisasi Katalis Komposit

### 2.12.1 XRF

XRF adalah alat untuk menganalisis kandungan unsur dalam bahan baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Keunggulan XRF adalah metode analisisnya yang lebih sederhana, lebih cepat, dan tidak memerlukan preparasi yang rumit

dibanding analisis dengan alat lain. Selain itu, alat uji XRF sifatnya *non-destructive* terhadap sampel.

XRF merupakan pemancaran sinar X dari atom tereksitasi yang dihasilkan oleh tumbukan elektron berenergi tinggi, partikel-partikel lain, atau suatu berkas utama dari sinar X lain. Fluoresensi sinar X digunakan pada beberapa teknik seperti pada mikroanalisis dengan kuar elektron (Widyawati, 2010).

Dalam penelitian ini, XRF digunakan untuk mengetahui kandungan unsur dari zeolit alam Lampung (ZAL) setelah proses *treatment*. Dengan demikian, dapat dilihat pengaruh dari proses *treatment* terhadap perubahan kandungan unsur dalam zeolit.

### 2.12.2 BET

Dengan karakterisasi BET, dapat diketahui luas permukaan partikel, diameter dan volume pori. Karakterisasi BET biasanya digunakan untuk padatan yang tidak berpori, macroporous dan mesoporous. Metode yang ditemukan oleh Brunauer, Emmet dan Teller ini didasarkan pada penentuan volume molekul yang teradsorp ( $V_m$ ) secara fisika setebal satu lapis molekul (*monolayer*) pada permukaan padatan.

BET juga dapat diaplikasikan untuk adsorpsi *multilayer* dengan  $V_m$  adalah jumlah volume lapisan terluar. Persamaan BET yang digunakan dapat dilihat di persamaan 2.13 (Maron, 1990).

$$\frac{\left(\frac{P}{P_0}\right)}{V\left(1-\frac{P}{P_0}\right)} = \frac{1}{C.V_m} + \left[\frac{(C-1)}{C.V_m}\right]\left(\frac{P}{P_0}\right) \quad (2.13)$$

dengan,

- P : tekanan gas saat adsorpsi
- $P_0$  : tekanan jenuh adsorbat gas pada temperatur percobaan
- V : volume gas yang diadsorp pada tekanan P
- $V_m$  : volume gas yang diadsorb untuk monolayer

- C : konstanta sebagai fungsi eksponensial dari panas adsorpsi dan panas pencairan,  $C = \exp (Q_a - Q_p)/R$
- $Q_a$  : panas adsorpsi pada *layer* pertama
- $Q_b$  : panas pencairan gas pada *layer* yang lain

Biasanya, gas yang digunakan untuk analisis BET sebagai adsorbat adalah gas dengan ukuran molekul kecil seperti nitrogen, gas krypton, argon ataupun karbondioksida. Dan, tipe adsorpsi yang terjadi dapat dilihat dengan melihat karakteristik persamaan BET yang digunakan.

### **2.12.3 XRD**

*X-ray diffraction* atau metode difraksi sinar X digunakan untuk mengetahui struktur kristal dari katalis yang terbentuk (Andayani, 2006). Teknik difraksi sinar x juga digunakan untuk menentukan ukuran kristal, regangan kisi, komposisi kimia dan keadaan lain yang memiliki orde yang sama. Kemudian kita juga dapat menentukan orientasi dari kristal tunggal dan secara langsung dapat mendeteksi struktur kristal dari suatu material yang belum diketahui komposisinya. Sinar X-ray memiliki kemampuan penetrasi ke dalam suatu material. Panjang gelombang X-ray pun memiliki orde magnitude yang sama sebagai jarak interatom dalam suatu padatan. Oleh karena itu, difraksi sinar X-ray oleh fasa kristalin dalam sampel dapat terjadi menurut Hukum Bragg, yaitu:

$$n\lambda = 2d \sin\theta \quad (2.14)$$

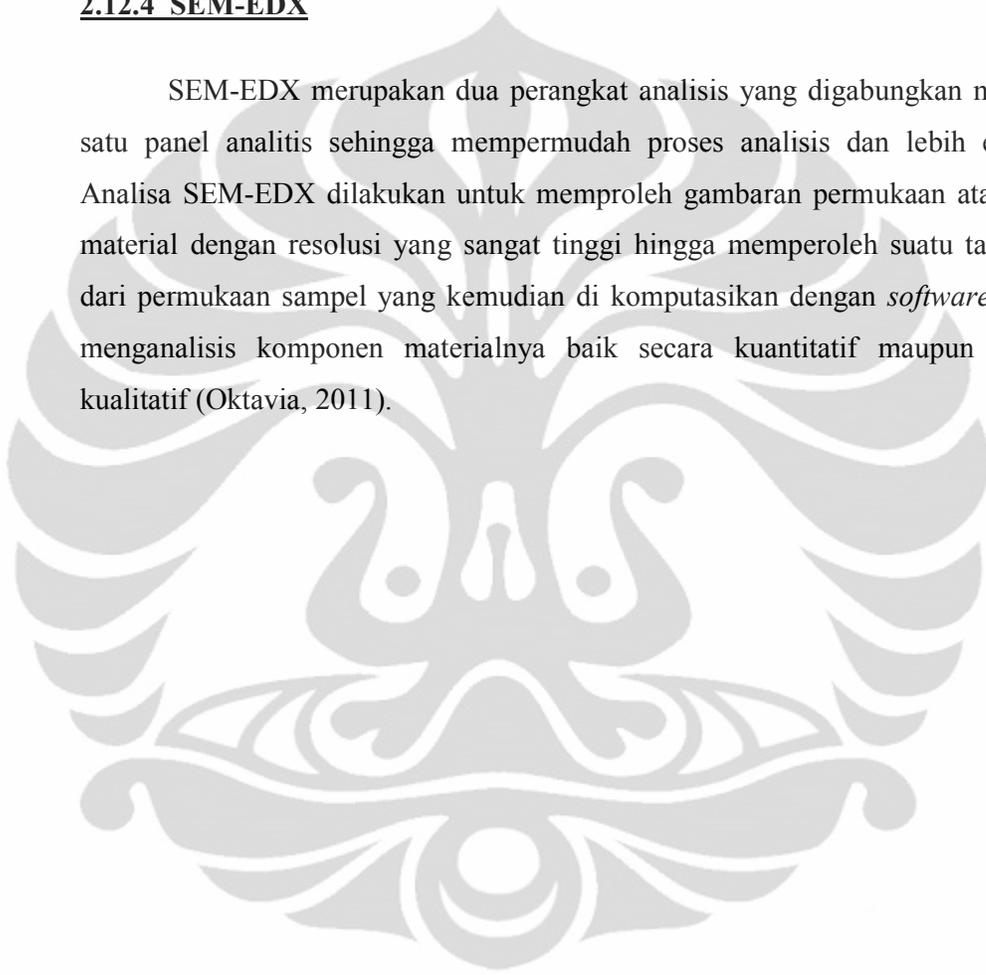
dengan:

- n : orde difraksi
- $\lambda$  : panjang gelombang X-ray
- d : jarak antara dua atom secara mendatar dalam fasa kristalin
- $\theta$  : sudut datang difraksi

Keuntungan utama penggunaan sinar-X dalam karakterisasi material adalah kemampuan penetrasinya, sebab sinar-X memiliki energi sangat tinggi akibat panjang gelombangnya yang pendek.

#### 2.12.4 SEM-EDX

SEM-EDX merupakan dua perangkat analisis yang digabungkan menjadi satu panel analitis sehingga mempermudah proses analisis dan lebih efisien. Analisa SEM-EDX dilakukan untuk memperoleh gambaran permukaan atau fitur material dengan resolusi yang sangat tinggi hingga memperoleh suatu tampilan dari permukaan sampel yang kemudian di komputasikan dengan *software* untuk menganalisis komponen materialnya baik secara kuantitatif maupun secara kualitatif (Oktavia, 2011).



## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Metode Pelaksanaan Penelitian

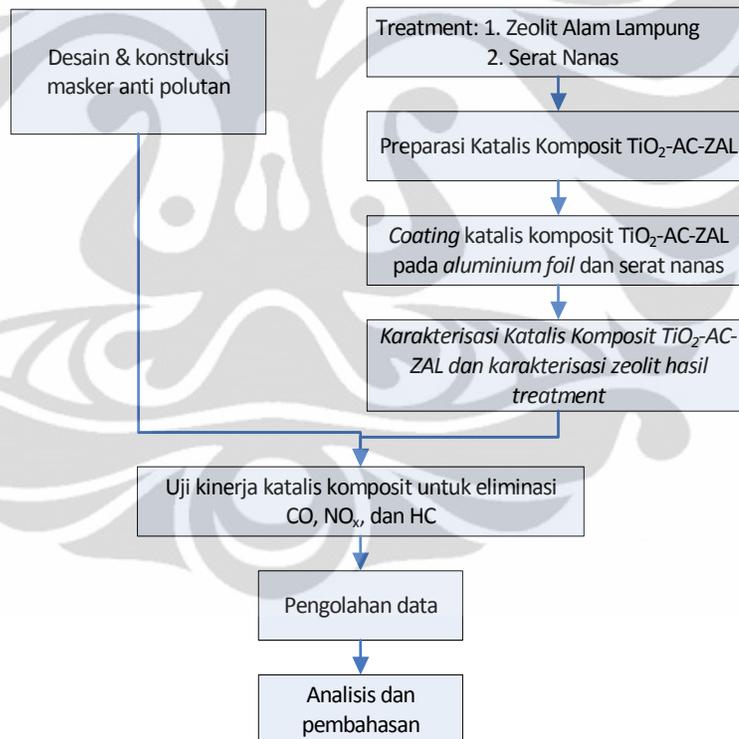
Untuk dapat merekayasa suatu masker anti polutan yang dapat mendegradasi CO, NO<sub>x</sub>, dan HC, maka hal yang paling penting dilakukan dalam penelitian ini adalah membuat suatu material yang memiliki kemampuan untuk mendegradasi CO, NO<sub>x</sub>, dan HC<sub>x</sub> dengan menyinergikan fungsi adsorpsi dan fotokatalisis. Material tersebut adalah katalis komposit TiO<sub>2</sub>-AC-ZAL yang akan di-*coating* ke substrat berupa *aluminium foil* dan serat nanas.

Penelitian ini dimulai dengan mendesain struktur rongga masker anti polutan, merancang kotak uji kinerja masker, dan mengonstruksi keduanya. Tahapan selanjutnya adalah tahapan persiapan dengan melakukan *treatment* pada ZAL untuk meningkatkan rasio Si/Al, sehingga sifat polaritas ZAL pun meningkat. Pengaruh dari proses *treatment* ini akan diketahui setelah dilakukan karakterisasi XRF pada zeolit alam yang telah di-*treatment*, yang dinotasikan dengan ZAL-T. Karakterisasi XRF ini ditujukan untuk mengetahui kandungan unsur yang menyusun zeolit, sehingga rasio Si/Al dari ZAL-T dapat dihitung.

Selain itu, pada tahapan persiapan juga dilakukan *treatment* pada serat nanas agar serat nanas bebas dari pengotor, sehingga lebih mudah bagi katalis komposit untuk menempel pada bagian permukaan serat nanas. *Treatment* pada serat nanas juga bertujuan untuk mengubah struktur fisik serat dari makrofibril menjadi mikrofibril (Cao, 2007), sehingga luas permukaan dari serat nanas pun menjadi bertambah. Tahapan berikutnya adalah membuat material pendegradasi CO, NO<sub>x</sub>, dan HC, yaitu katalis komposit TiO<sub>2</sub>-AC-ZAL. Katalis komposit dibuat dengan metode *mechanical mixturing*. Setelah jadi, katalis komposit akan di-*coating* ke substrat *aluminium foil* dan serat nanas. Katalis komposit yang terbentuk akan dikarakterisasi dengan XRD untuk mengetahui jenis dan kandungan kristal katalis komposit. Kemudian komposit juga dikarakterisasi dengan SEM untuk menguji morfologi katalis komposit yang telah terlapisi di *aluminium foil* dan serat nanas. Karakterisasi selanjutnya adalah BET yang

dilakukan untuk mengetahui luas permukaan, volume dan diameter pori dari katalis komposit dan ZAL-T.

Setelah material pendegradasi polutan jadi, maka tahapan selanjutnya adalah melakukan uji kinerja komposit yang dimasukkan ke dalam rongga masker. Berbagai variabel yang akan diuji adalah pengaruh keberadaan adsorben dan fotokatalis, komposisi katalis komposit, berat katalis komposit, dan konsentrasi awal polutan. Pengujian kinerja komposit akan dilakukan secara kuantitatif dengan cara mencatat perubahan konsentrasi masing-masing polutan. Dalam penelitian ini, untuk menganalisis konsentrasi CO, NO<sub>x</sub>, dan HC digunakan *Gas Analyzer*. Berikut ini adalah diagram alir penelitian secara umum:



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

## 3.2 Peralatan Penelitian

### 3.2.1 Peralatan Konstruksi Masker

Tabel 3. 1 Peralatan konstruksi rongga masker

No.	Jenis Alat	Spesifikasi/ Jumlah Alat	Kegunaan Alat
1.	Pensil	1 buah	Untuk menggambar bentuk <i>buffle</i> di <i>aluminium foil</i>
2.	Penggaris	1 buah	Untuk mengukur dimensi <i>buffle</i>
3.	Jangka	1 set	Untuk membuat pola lingkaran
4.	Gunting	1 buah	Untuk memotong <i>aluminium foil</i>
5.	Palu	1 buah	Untuk memukul <i>hole puncher</i>
6.	Solder	1 buah	Untuk melubangi masker
7.	Kawat Kecil	1 buah	Untuk menstabilkan ukuran lubang masker
8.	<i>Hole Puncher</i>	1 buah, diameter 1 cm	Untuk membuat lubang pada <i>buffle</i> dengan ukuran tertentu

### 3.2.2. Peralatan Konstruksi Kotak Uji Kinerja Masker

Tabel 3. 2 Peralatan konstruksi alat uji kinerja masker

No.	Jenis Alat	Spesifikasi/ Jumlah Alat	Kegunaan Alat
1.	Pensil	1 buah	Untuk menggambar garis potong akrilik
2.	Penggaris	1 buah	Untuk mengukur potongan akrilik
3.	<i>Cutter acrylic</i>	1 buah	Untuk memotong akrilik
4.	Gergaji besi	1 buah	Untuk memotong akrilik
5.	Mesin Bor	1 set	Untuk membuat lubang pada akrilik
6.	Lem Silikon	1 tabung	Untuk merekatkan akrilik
7.	Lem Korea	2 buah	Untuk merekatkan akrilik
8.	Kikir	2 buah	Untuk menghaluskan potongan akrilik
9.	Lakban	1 gulung	Untuk melekatkan penyangga masker

### 3.2.3 Peralatan *Treatment* Serat Nanas

Tabel 3. 3 Peralatan *treatment* serat nanas

No.	Jenis Alat	Spesifikasi/ Jumlah Alat	Kegunaan Alat
1.	Beaker glass	1000 ml (2 buah)	Untuk wadah larutan
2.	Timbangan Digital	Ketelitian sampai 0,01 g, di Lab.POT I	Untuk mengukur massa NaOH & serat nanas
3.	Batang pengaduk	Panjang 30 cm (1 buah)	Untuk mengaduk larutan NaOH
4.	<i>Atmospheric furnace</i>	Spesifikasi mesin furnace Lab.RPKA	Untuk pengeringan dan kalsinasi ZAL

### 3.2.4 Peralatan *Treatment* Zeolit Alam Lampung (ZAL)

Tabel 3. 4 Peralatan *treatment* Zeolit Alam Lampung

No.	Jenis Alat	Spesifikasi/ Jumlah Alat	Kegunaan Alat
1.	Tumbukan dan mortar	Masing-masing 1 buah	Untuk menumbuk zeolit alam
2.	Gelas ukur kaca dan plastik	100 ml (1 buah), 10 ml (1 buah)	Untuk mengukur volume larutan HF, HCl, dan NH <sub>4</sub> Cl
3.	Timbangan Digital	Ketelitian sampai 0,01 g, di Lab.POT I	Untuk mengukur massa zeolit alam
4.	Batang pengaduk	Panjang 30 cm (1 buah)	Untuk mengaduk larutan
5.	Beaker glass	1000 ml (2 buah), 300 ml (1 buah)	Untuk wadah larutan
6.	<i>Magnetic stirrer plate &amp; stirrer bar</i>	Masing-masing 1 buah	Untuk mengaduk larutan
7.	Kertas saring		Untuk memfilter ZAL dari larutan
8.	Burner dan bunsen	Masing-masing 1 buah	Untuk sterilisasi alat
9.	Cawan evaporasi	Cawan berukuran besar (1 buah)	Wadah ZAL
10.	<i>Atmospheric furnace</i>	Spesifikasi mesin furnace Lab.RPKA	Untuk pengeringan dan kalsinasi ZAL
11.	Spatula	1 buah yang berukuran besar	Untuk mengambil padatan ZAL
12.	Pompa Vakum	1 set di Lab. Proses Dasar Kimia	Untuk mempercepat filtrasi larutan
13.	Erlenmeyer	1000 ml (1 buah)	Untuk wadah larutan saat dealuminasi
14.	Botol plastik tebal	1 buah	Wadah larutan HF
15.	<i>Wrap plastic</i>	1 gulung	Untuk menutup wadah larutan
16.	Termometer	1 buah	Untuk mengukur suhu larutan
17.	Kondenser	1 buah	Untuk mengondensasi larutan saat dealuminasi
18.	Selang plastik	1 meter	Untuk menghubungkan rangkaian alat refluks
19.	<i>Centrifuge</i>	1 unit	Untuk memisahkan larutan dengan padatan ZAL
20.	Pot plastik	2 buah	Untuk wadah ZAL
21.	Ember plastik	1 buah	Untuk mencuci larutan HF dan wadah air pendingin

### **3.2.5 Peralatan Preparasi Katalis Komposit TiO<sub>2</sub>-AC-ZAL**

**Tabel 3. 5 Peralatan preparasi katalis komposit TiO<sub>2</sub>-AC-ZAL**

No.	Jenis Alat	Spesifikasi/ Jumlah Alat	Kegunaan Alat
1.	Gelas ukur	100 ml (1 buah)	Untuk mengukur volume larutan air demin dan volume <i>slurry</i>
2.	Timbangan Digital	Ketelitian sampai 0,01 g, di Lab.POT I	Untuk mengukur massa TiO <sub>2</sub> , AC, dan ZAL
3.	<i>Magnetic stirrer plates &amp; stirrer bar</i>	Masing-masing 1 buah	Untuk mengaduk <i>slurry</i> komposit
4.	<i>Beaker glass</i>	300 ml (2 buah)	Untuk wadah larutan
5.	<i>Ultrasonic processor</i>		Untuk melakukan sonikasi

### **3.2.6 Peralatan Coating Katalis Komposit TiO<sub>2</sub>-AC-ZAL pada Substrat**

**Tabel 3. 6 Peralatan pembuatan film katalis komposit pada substrat**

No.	Jenis Alat	Spesifikasi/ Jumlah Alat	Kegunaan Alat
1.	Timbangan Digital	Ketelitian sampai 0,01 g, di Lab.POT I	Untuk mengukur massa serat nanas
2.	Wadah aluminium	2 buah	Untuk wadah larutan untuk <i>dip coating</i>
3.	Kasa Kawat	2 lembar	Untuk penyangga serat saat <i>dip coating</i>
4.	Kawat	50 cm	Untuk mengikat kasa kawat ke alat <i>dip coater</i> , dan mengikat <i>buffle</i> agar bisa tergantung pada saat <i>spray coating</i>
5.	<i>Dryer</i>	1 buah	Untuk mengeringkan lapisan komposit
6.	<i>Stopwatch</i>	1 buah	Untuk mengukur waktu
7.	Kertas koran bekas	30 lembar	Untuk alas <i>spray coating</i>
8.	Lakban	1,5 m	Untuk merekatkan koran dan kawat penggantung <i>buffle</i> agar tidak bergerak.
9.	<i>Spray coater</i>	1 unit dari Lab. POT	Untuk melakukan <i>spray coating</i> pada <i>aluminium foil</i>
10.	<i>Dip coater</i>	1 unit dari Lab.RPKA	Untuk melakukan <i>dip coating</i> pada substrat

### **3.2.7 Peralatan Karakterisasi Katalis Komposit dan Zeolit Alam Lampung**

Karakterisasi merupakan tahapan yang sangat penting karena dengan melakukan karakterisasi maka dapat diketahui keefektivan dari *treatment* ZAL dan keefektivan preparasi komposit. Alat analisis yang digunakan untuk karakterisasi ZAL dan katalis komposit adalah:

1. XRF, di Laboratorium Material, Pasca Sarjana Departemen Fisika UI
2. XRD, di BATAN
3. BET, di laboratorium RPKA, Departemen Teknik Kimia UI

- SEM-EDX, di laboratorium Material, Pasca Sarjana Departemen Fisika UI dan di Laboratorium Uji, Departemen Metalurgi dan Material UI

### **3.2.8 Peralatan Analisis Perubahan Konsentrasi Sampel**

Alat yang digunakan untuk menganalisis perubahan konsentrasi polutan CO, NO<sub>x</sub>, dan HC secara simultan adalah *Gas Analyzer* TecnoTest Multigas milik Departemen Teknik Mesin UI. Alat ini mengukur CO dalam satuan % vol, sedangkan NO<sub>x</sub> dan HC dalam ppm vol. Spesifikasi lengkap dari *gas analyzer* ini dapat dilihat pada Lampiran 8.



Gambar 3. 2 *Gas analyzer*

### 3.3 Bahan Penelitian

#### 3.3.1 Bahan Konstruksi Masker

Berikut ini adalah bahan yang digunakan untuk mengonstruksi masker:

- |                   |                    |
|-------------------|--------------------|
| 1. Aluminium foil | 3. Lampu LED-UV    |
| 2. Serat Nanas    | 4. Catridge Masker |

#### 3.3.2 Bahan Konstruksi Alat Uji Kinerja Masker

Berikut ini adalah bahan yang digunakan untuk menguji kinerja masker:

- |                                |                                |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 1. Acrylic                     | 7. Jepit buaya kecil           |
| 2. Connector Brass Kuningan ¼" | 8. Kabel                       |
| 3. Ball Valve ½"               | 9. Plosok, ½"x1"; 1"x2", 2"x3" |
| 4. Sokdrat luar dan dalam, ½"  | 10. Selang bensin              |
| 5. Double naple, ½"            | 11. Selang plastik             |
| 6. Adaptor                     |                                |

#### 3.3.3 Bahan Treatment Serat Nanas

Berikut ini adalah bahan yang digunakan untuk men-*treatment* serat nanas:

1. Kristal NaOH
2. Air Demin

#### 3.3.4 Bahan Treatment Zeolit Alam Lampung

Berikut ini adalah bahan yang digunakan untuk men-*treatment* zeolit alam lampung:

- |                        |                             |
|------------------------|-----------------------------|
| 1. Zeolit Alam Lampung | 4. HF 2 %                   |
| 2. Air Demin           | 5. NH <sub>4</sub> Cl 0,1 M |
| 3. HCl 6 M             |                             |

### **3.3.5 Bahan Preparasi Katalis Komposit**

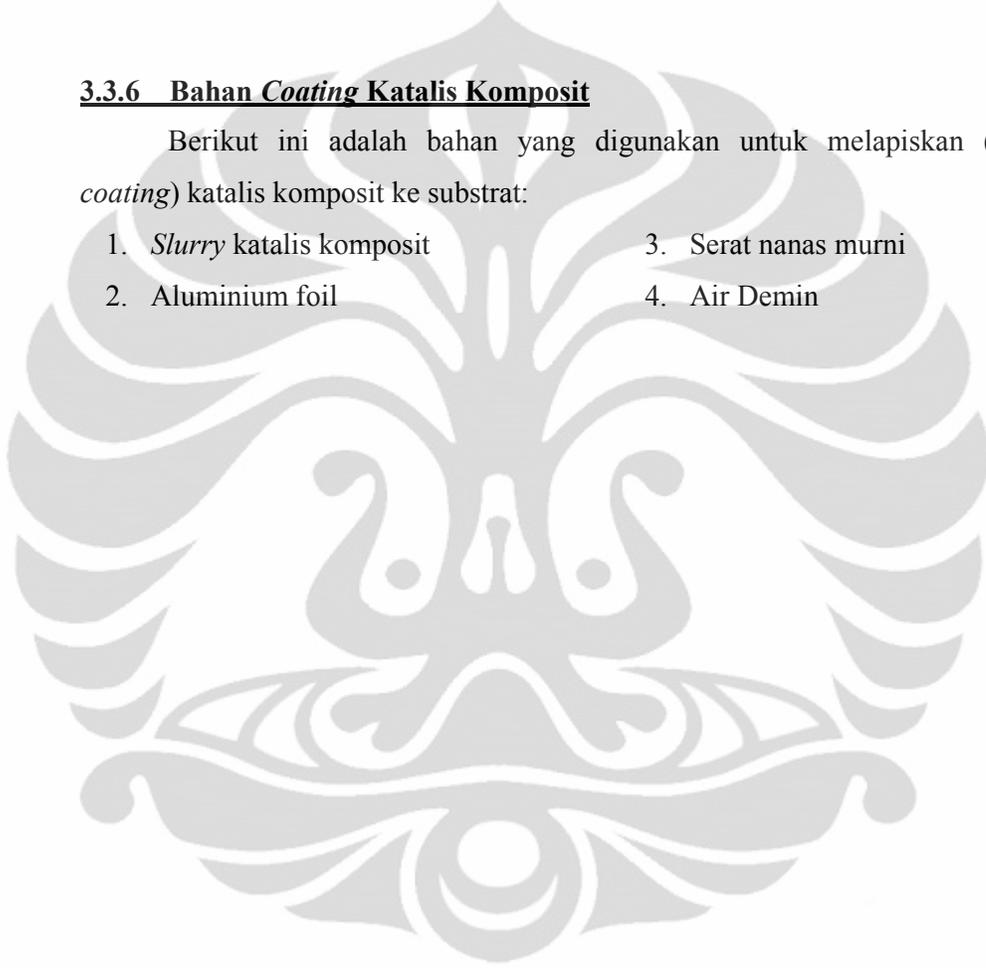
Berikut ini adalah bahan yang digunakan untuk preparasi katalis komposit:

1. TiO<sub>2</sub> P-25 Degussa
2. Karbon Aktif (AC)
3. Zeolit *treatment* (ZAL-T)
4. Air demin
5. HNO<sub>3</sub>
6. TEOS

### **3.3.6 Bahan Coating Katalis Komposit**

Berikut ini adalah bahan yang digunakan untuk melapiskan (*coating*) katalis komposit ke substrat:

1. *Slurry* katalis komposit
2. Aluminium foil
3. Serat nanas murni
4. Air Demin



### 3.4 Prosedur Penelitian

#### 3.4.1 Konstruksi Masker

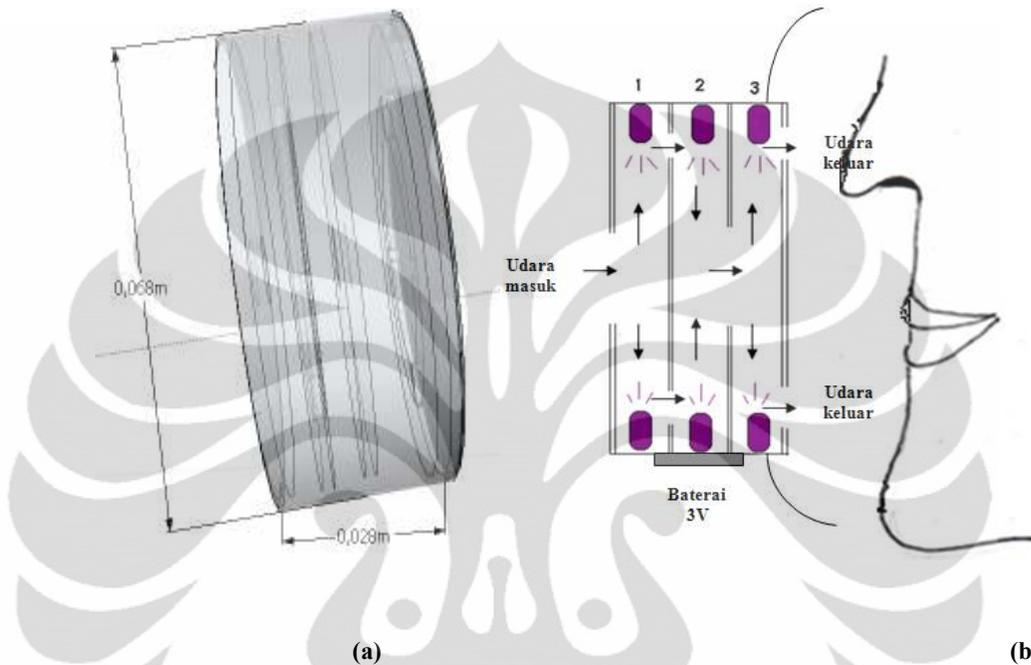
Tahapan awal dalam penelitian ini adalah merancang desain struktur masker. Pada dasarnya, tujuan dari desain masker adalah untuk mendapatkan masker yang dapat mengeliminasi polutan sebanyak-banyaknya, minimal sampai konsentrasi polutan mencapai baku mutu polutan. Metode eliminasi polutan yang diterapkan pada masker adalah prinsip adsorpsi dan fotokatalisis. Oleh karena itu, desain masker harus dapat mengoptimalkan kontak antara fotokatalis, reaktan, dan foton. Gambar desain masker yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 3.4. Masker ini memiliki dimensi diameter 6,8 cm dan tebalnya 2,8 cm.



Gambar 3. 3 Dua jenis *baffle* aluminium

Dari Gambar 3.4, dapat dilihat adanya saluran-saluran (*channel*) yang dibuat di dalam masker. *Channel* ini berfungsi sebagai alur masuk dari gas polutan. Masker ini terdiri dari tiga *channel*, yang diantara *channel-channel*nya dibatasi oleh *baffle* dengan jumlah total ada empat *baffle* (lihat Gambar 3.4a). *Baffle* ini berupa *aluminium foil* dengan tebal  $\frac{1}{2}$  mm. *Baffle* yang dibuat didesain dengan dua jenis berdasarkan bentuk lubangnya (lihat Gambar 3.3), kemudian kedua jenis *baffle* ini diposisikan berselang-seling untuk memperlama aliran udara yang masuk dari *channel* satu ke *channel* berikutnya. *Baffle* aluminium ini adalah *baffle* yang sudah dilapisi oleh katalis komposit. Konsep desain masker yang seperti terlihat pada Gambar 3.4 ini selain dapat meningkatkan waktu kontak antara fotokatalis, polutan, dan juga foton, desain seperti ini juga memiliki

*pressure drop* yang rendah dan luas permukaan yang besar terhadap rasio volumenya.



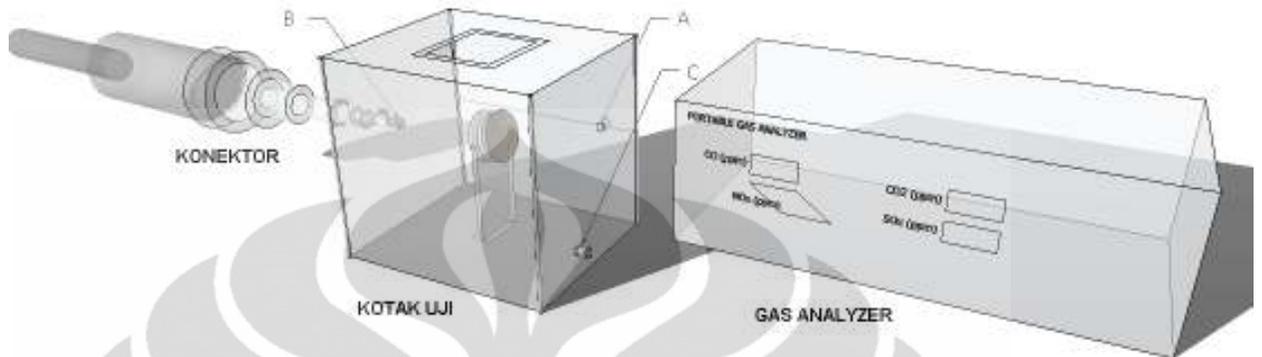
Gambar 3. 4 Desain Masker (a) Tiga dimensi; (b) Dua Dimensi

Kemudian di setiap *channel* juga akan diisi dengan serat nanas yang telah dilapisi katalis komposit. Pemilihan penyangga serat ini didasarkan pada penelitian Pichal (2000) bahwa matriks dari serat dapat meningkatkan luas permukaan kontak antara fotokatalis, polutan, dan foton.

Untuk memenuhi syarat terjadinya proses fotokatalisis, maka di setiap *channel* difasilitasi dengan sumber foton, yaitu dua buah lampu mini LED-UV 1,5 V. Jadi, satu buah masker ini memiliki enam buah lampu mini LED-UV (lihat Gambar 3.4b).

### **3.4.2 Konstruksi Alat Uji Kinerja Masker**

Alat uji kinerja masker merupakan rangkaian alat yang terdiri dari *gas analyzer*, kotak uji, dan konektor (lihat Gambar 3.5).



Gambar 3. 5 Rangkaian alat uji kinerja masker

*Gas analyzer* adalah alat yang dapat mengemisi polutan gas buang kendaraan, seperti CO, NO<sub>x</sub>, dan HC<sub>x</sub> secara simultan. Kemudian kotak uji adalah kotak dengan dimensi 27 cm x 29,5 cm x 25 cm. Kotak uji yang terbuat dari bahan *acrylic* ini memiliki tiga buah saluran. Saluran pertama (A) berdiameter ¼” terletak di sisi tegak kotak uji. A merupakan saluran tempat keluarnya udara dari kotak uji menuju *port gas in analyzer* untuk dianalisis. Kemudian saluran kedua (B) berdiameter ½” terletak di salah satu sisi tegak kotak. B merupakan saluran tempat masuknya asap motor. Terakhir adalah saluran ketiga (C) berdiameter ¼” terletak di sisi yang berhadapan dengan B. C berfungsi sebagai saluran tempat masuknya kembali udara keluaran dari *port gas out analyzer*.

Pada sisi atas kotak terdapat tutup kotak yang berdimensi 12 cm x 12 cm. Tutup kotak ini selalu di lem mati dengan lem silikon ketika masker akan diuji. Lem mati tutup kotak dengan silikon dapat menjamin ketidkebocoran kotak uji. Di dekat tutup kotak juga terdapat kabel yang menghubungkan bagian dalam kotak dengan bagian luar kotak. Ujung kabel di bagian luar kotak adalah adaptor. Adaptor ini berfungsi sebagai pengatur voltase listrik yang mengalir ke lampu masker. Untuk menyalakan 6 buah lampu mini LED-UV dengan intensitas sinar yang cukup terang hanya dibutuhkan energi sebesar 3 V. Kemudian, ujung kabel di bagian dalam kotak adalah dua pasang jepit buaya yang terhubung langsung dengan kutub positif dan kutub negatif semua lampu masker. Pada bagian dalam

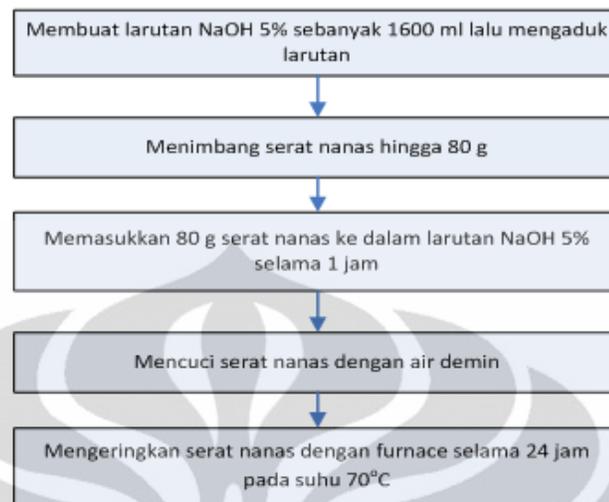
kotak terdapat penyangga masker yang juga terbuat dari *acrylic* dengan dimensi 9 cm x 12 cm. Penyangga ini diletakkan berdiri tegak menghadap C. Di atas penyangga inilah diletakkan masker yang akan diuji.

Bagian perangkat alat uji yang juga penting adalah konektor. Konektor ini merupakan saluran yang menghubungkan kotak uji dengan knalpot motor. Penyusun konektor ini adalah *double niple* ½", lalu disambung dengan *ball valve* ½", dilanjutkan dengan *water mur* ½". Setelah *water mur*, terdapat rangkaian plosok dengan ukuran ½" x 1"; 1" x 2"; 2" x 3". Bagian ujung dari plosok inilah yang akan berhubungan langsung dengan knalpot yang diameter knalpotnya berukuran 3,5".

### **3.4.3 Prosedur Treatment Serat Nanas**

*Treatment* serat nanas yang dilakukan pada penelitian ini adalah *alkali treatment*. Larutan alkali diketahui dapat melarutkan senyawa lignoselulosa dan senyawa pengotor yang terdapat pada ikatan serat, sehingga porositas serat pun meningkat. Selain itu, larutan alkali dapat membuat serat mudah terurai dari ikatannya (*bundle of fibre*), sehingga serat yang tadinya berukuran makrofibril berubah menjadi mikrofibril (Hidayat, 2008).

Proses *treatment* ini diawali dengan memasukkan serat nanas ke dalam larutan NaOH 5%<sub>wt</sub> selama 1 jam pada suhu lingkungan. Perbandingan antara berat serat nanas dengan larutan NaOH adalah 1: 20. Setelah itu, larutan dicuci dengan air demin untuk menetralkan kandungan basa. Kemudian, serat yang sudah dicuci dikeringkan pada suhu 70°C selama 24 jam. Berikut ini adalah diagram alir dari *treatment* serat nanas:

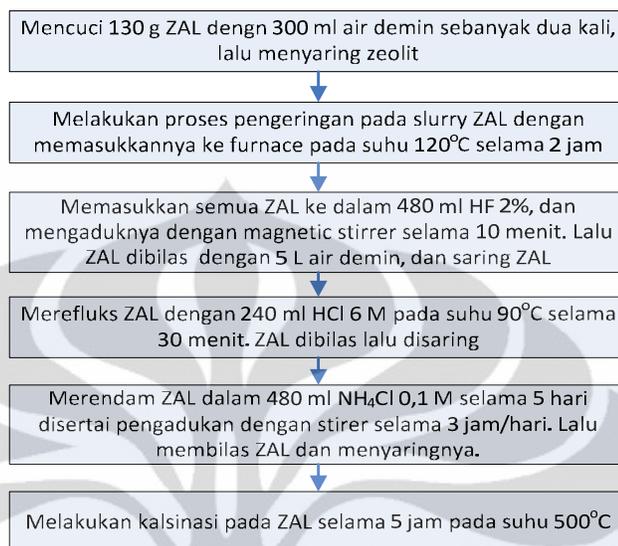


Gambar 3. 6 Diagram alir *treatment* serat nanas

#### 3.4.4 Prosedur *Treatment* Zeolit Alam Lampung

Tahapan *treatment* zeolit alam diperlukan untuk memperoleh zeolit yang murni dengan daya adsorpsi yang baik karena zeolit alam yang digunakan dalam penelitian ini bukan zeolit murni melainkan zeolit yang mengandung banyak partikel oksida pengotor. Pemurnian zeolit dilakukan dengan merendam zeolit dalam air demin untuk melarutkan pengotor-pengotor yang dapat larut dengan air, sehingga pada tahapan *treatment* selanjutnya hasilnya akan lebih baik. Setelah itu, zeolit dikeringkan dalam *furnace* selama 2 jam pada suhu 120°C. Zeolit yang sudah kering kemudian dimasukkan ke dalam larutan HF untuk melarutkan oksida-oksida pengotor yang tidak larut dengan air.

Selanjutnya, dilakukan perendaman zeolit dengan larutan HCl untuk meningkatkan rasio Si/Al. Berikutnya, dilakukan perendaman zeolit dalam NH<sub>4</sub>Cl untuk memperkuat struktur baru zeolit yang terbentuk. Langkah terakhir yaitu mengeringkan zeolit dengan *furnace* agar kandungan air yang terperangkap dalam kristal zeolit dapat teruapkan secara sempurna. Dengan zeolit yang murni dan rasio Si/Al yang tepat, maka daya adsorpsi zeolit terhadap polutan CO dan NO<sub>x</sub> akan semakin meningkat. Diagram alir *treatment* zeolit alam dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut ini:



Gambar 3. 7 Diagram alir *treatment* Zeolit Alam Lampung

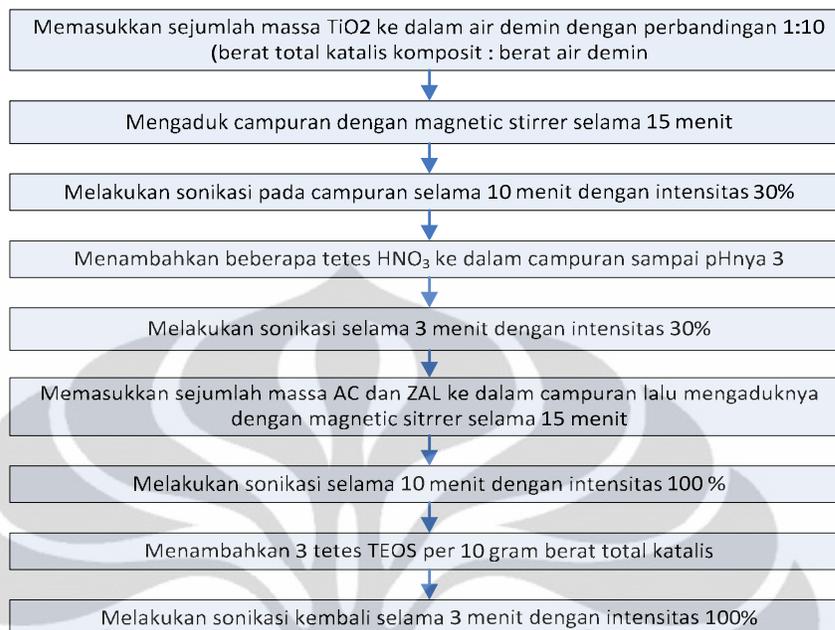
### 3.4.5 Prosedur Preparasi Katalis Komposit TiO<sub>2</sub>-AC-ZAL

Metode yang digunakan untuk membuat katalis komposit TiO<sub>2</sub>-AC-ZAL adalah *mechanical mixing*. Pada prosedur ini, akan dilakukan variasi komposisi komposit dengan cara memvariasikan *loading* TiO<sub>2</sub> pada berat komposit yang tetap dengan perbandingan AC dan ZAL juga tetap yaitu 1:10. Berikut ini adalah tabel variasi komposisi katalis komposit yang akan dilakukan dalam penelitian ini:

Tabel 3. 7 Variasi komposisi katalis komposit

% Loading TiO <sub>2</sub>	Berat Karbon Aktif (g)	Berat ZAL (g)	Berat TiO <sub>2</sub> (g)	Total Berat Komposit
0	0,90	9,10	0,00	10,00
10	0,82	8,18	1,00	10,00
30	0,64	6,36	3,00	10,00
50	0,45	4,55	5,00	10,00
70	0,27	2,73	7,00	10,00

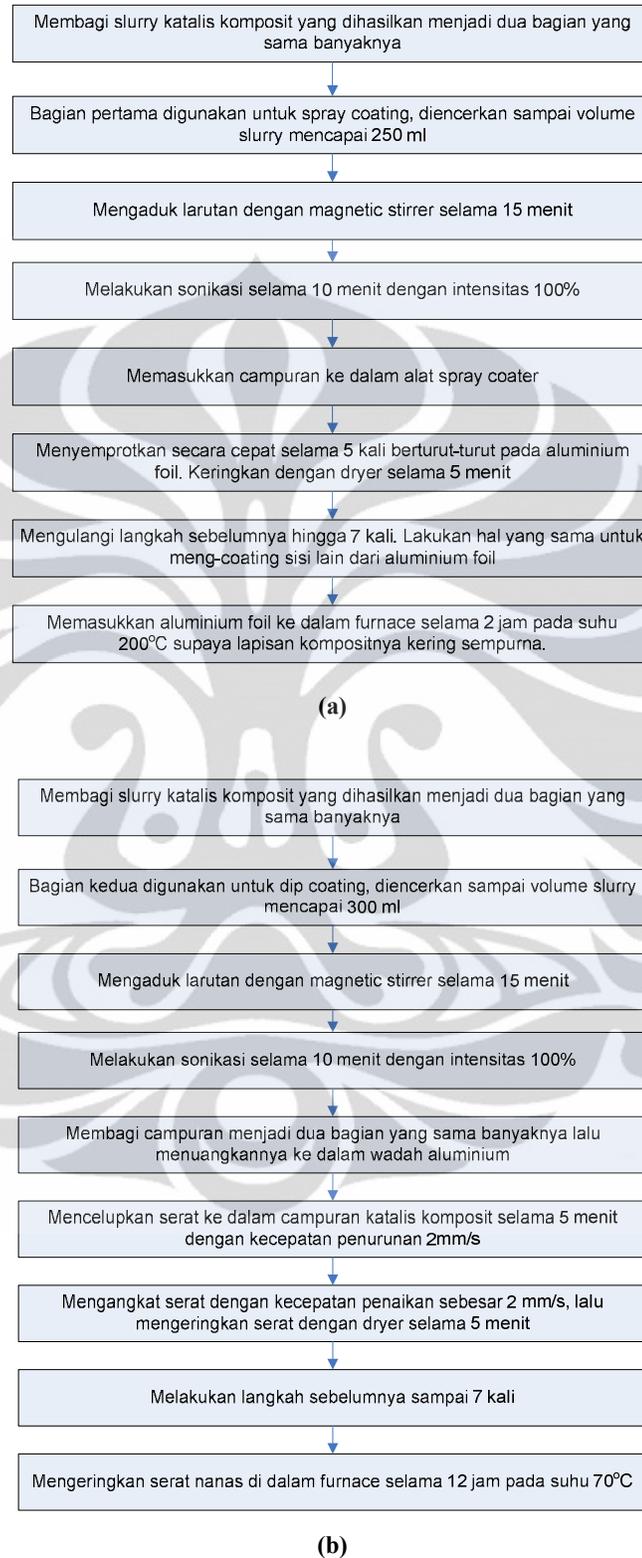
Diagram alir preparasi katalis komposit dapat dilihat pada Gambar 3.8 berikut ini:



**Gambar 3. 8 Diagram alir preparasi katalis komposit TiO<sub>2</sub>-AC-ZAL**

#### **3.4.6 Prosedur *Coating* Katalis Komposit pada Substrat**

Pada tahapan ini, metode *coating* yang akan digunakan adalah metode *spray* dan *dip coating*. Katalis komposit akan di-*coating* hingga membentuk lapisan tipis ke seluruh permukaan substrat yaitu serat nanas. Diagram alir proses *coating* katalis komposit pada substrat dapat dilihat pada Gambar 3.9a dan 3.9b:



**Gambar 3. 9** Diagram alir *coating* komposit (a) pada *aluminium foil*; (b) pada serat nanas

### 3.5 Kalibrasi *Gas Analyzer*

Sebelum melakukan uji kinerja masker, alat *gas analyzer* dikalibrasi dahulu. Alat ini sudah di-*setting* untuk melakukan kalibrasi secara otomatis setiap 10 menit sebanyak 3 kali setelah alat tersebut dinyalakan. Kalibrasi otomatis yang dilakukan oleh mesin disebut sebagai *Auto Zero Calibration*. Prinsip kerja dari kalibrasi otomatis ini adalah pada interval waktu tertentu, mesin di-*setting* untuk mengirimkan gas *zero* yaitu nitrogen dari udara, dan masuk melalui port di bagian belakang mesin *gas analyzer*. Selanjutnya, sistem kalibrasi otomatis terus berlanjut setiap selang waktu 30 menit. Selain itu, *gas analyzer* ini memang secara rutin di-*maintenance* dan dikalibrasi oleh teknisinya, sehingga dapat langsung digunakan untuk mengukur konsentrasi polutan.

### 3.6 Uji Kinerja Alat

Pengujian kinerja katalis komposit TiO<sub>2</sub>-ZAL akan dilakukan dengan prosedur sebagai berikut:

1. Memasukkan masker yang akan diuji dan menutup kotak uji dengan lem mati
2. Membuka *ball valve* pada saluran konektor
3. Menyalakan *gas analyzer*, diamkan selama 30 menit hingga kinerja analisis *analyzer* telah stabil
4. Menutup *ball valve*
5. Memasukkan sejumlah polutan dari asap kendaraan bermotor ke dalam kotak uji
6. Mengukur konsentrasi awal dari polutan CO, NO<sub>x</sub>, dan HC dengan menekan tombol (X) pada *analyzer*. Tunggu sampai 15 detik, catat angka konsentrasi polutan yang terbaca
7. Matikan pompa *gas analyzer* dengan menekan tombol (O) untuk menghindari kevakuman kotak uji.

### 3.7 Parameter Penelitian

Parameter dalam penelitian ini mencakup:

#### 1. Variabel Bebas

- Komposisi katalis komposit, yaitu dengan memvariasikan *loading*  $\text{TiO}_2$  dalam katalis komposit yang beratnya tetap, dengan menjaga perbandingan adsorben AC dan ZAL juga tetap, yaitu 1: 10
- Berat katalis komposit. Dengan mevariasikan berat katalis komposit dapat diketahuji pengaruh berat total katalis komposit terhadap kinerja komposit dalam mengeliminasi polutan.
- Konsentrasi awal dan jenis polutan. Polutan yang akan digunakan adalah CO,  $\text{NO}_x$ , dan HC. Ketiga polutan ini konsentrasi awalnya divariasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kinerja eliminasi polutan.

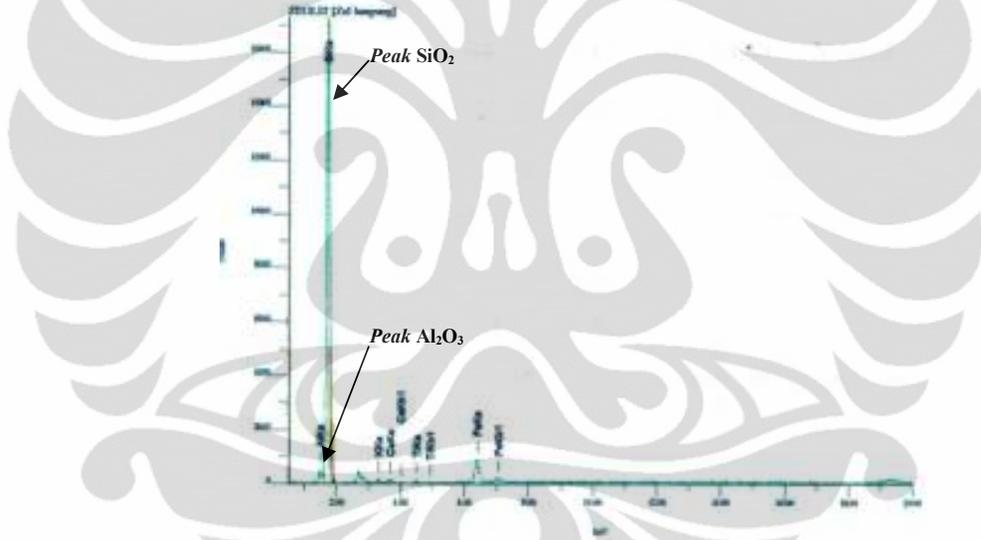
#### 2. Variabel Terikat

- Konsentrasi CO,  $\text{NO}_x$ , dan HC setiap selang waktu tertentu

## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Karakterisasi XRF

Dengan karakterisasi XRF, dapat diketahui komposisi kimia dari zeolit alam Lampung non-*treatment* (ZAL-NT) dan zeolit alam Lampung yang telah di-*treatment* (ZAL-T). Berikut ini adalah gambar spektrum hasil analisis ZAL-T dengan XRF.



**Tabel 4. 1 Hasil karakterisasi XRF pada ZAL-T**

Formula Kimia	% Berat	Formula Kimia	% Berat
Al	3,0489	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,4103
Si	92,413	SiO <sub>2</sub>	94,7729
K	1,3587	K <sub>2</sub> O	0,4933
Ca	0,9045	CaO	0,3753
Ti	0,3785	TiO <sub>2</sub>	0,1838
Fe	1,8964	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,7644

Dari Tabel 4.1, dapat dihitung rasio Si/Al dari ZAL-T yaitu 27,79. Untuk mengetahui pengaruh proses *treatment* pada zeolit alam Lampung, dapat dilihat perbandingan rasio Si/Al antara zeolit non-*treatment* (ZAL-NT) dengan zeolit hasil *treatment* (ZAL-T) pada Tabel 4.2 di bawah ini:

**Tabel 4. 2 Perbandingan Si/Al dari ZAL-NT dan ZAL-T**

Jenis Sampel	Rasio Si/Al
ZAL-NT	6,8
ZAL-T	27,79

Dari Tabel 4.2, dapat disimpulkan bahwa ternyata proses *treatment* pada zeolit alam Lampung dapat meningkatkan Si/Al zeolit alam sampai empat kali lipat. Hal ini terutama diakibatkan oleh adanya proses dealuminasi dengan larutan HCl dalam rangkaian proses *treatment* zeolit alam Lampung. Dealuminasi adalah proses lepasnya atom Al dari kerangka zeolit. Dengan lepasnya atom Al, maka jumlah situs asam dari zeolit akan meningkat. Artinya, keaktifan dari zeolit itu sendiri akan bertambah karena situs asam zeolit ini tidak lain merupakan sisi aktif dari zeolit itu sendiri. Proses dealuminasi dilakukan dengan melakukan penambahan larutan HCl karena larutan asam ini memiliki kemampuan untuk mengekstrak Al dengan cara bereaksi dengan Al (Weitkamp, 1999).

Zeolit yang baik digunakan sebagai adsorben harus memiliki rasio Si/Al dari 10-100 (Rini, 2010). Nilai Si/Al ini juga akan menentukan sifat dari zeolit. Jika Si/Al nilainya semakin tinggi maka zeolit akan cenderung bersifat hidrofobik dan non-polar, sedangkan jika nilai Si/Alnya semakin rendah maka zeolit akan semakin bersifat hidrofilik dan polar (Saputra, 2006).

Dalam penelitian ini, zeolit alam diharapkan dapat menyerap senyawa CO (karbon monoksida), NO<sub>x</sub> (Nitrogen Oksida), dan HC (hidrokarbon) yang berasal dari emisi gas buang kendaraan dengan baik. CO dan NO<sub>x</sub> merupakan senyawa polar, sedangkan HC merupakan senyawa non-polar (*chemwiki.ucdavis.edu*). Oleh karena itu, untuk menyerap ketiga gas polutan tersebut secara simultan, diperlukan zeolit alam dengan Si/Al yang tidak terlalu tinggi dan tidak terlalu rendah, namun tetap condong ke sifat yang hidrofilik dan polar karena dua dari tiga jenis gas yang diinginkan untuk diserap bersifat polar. Nilai Si/Al dari ZAL-NT terlalu rendah yaitu hanya 6,8. Jadi, perlu dilakukan *treatment* untuk meningkatkan Si/Al nya. Nilai Si/Al yang didapat dari ZAL-T dalam penelitian ini yaitu 27,79, merupakan nilai yang cukup cocok untuk mengadsorp ketiga polutan ini secara simultan.

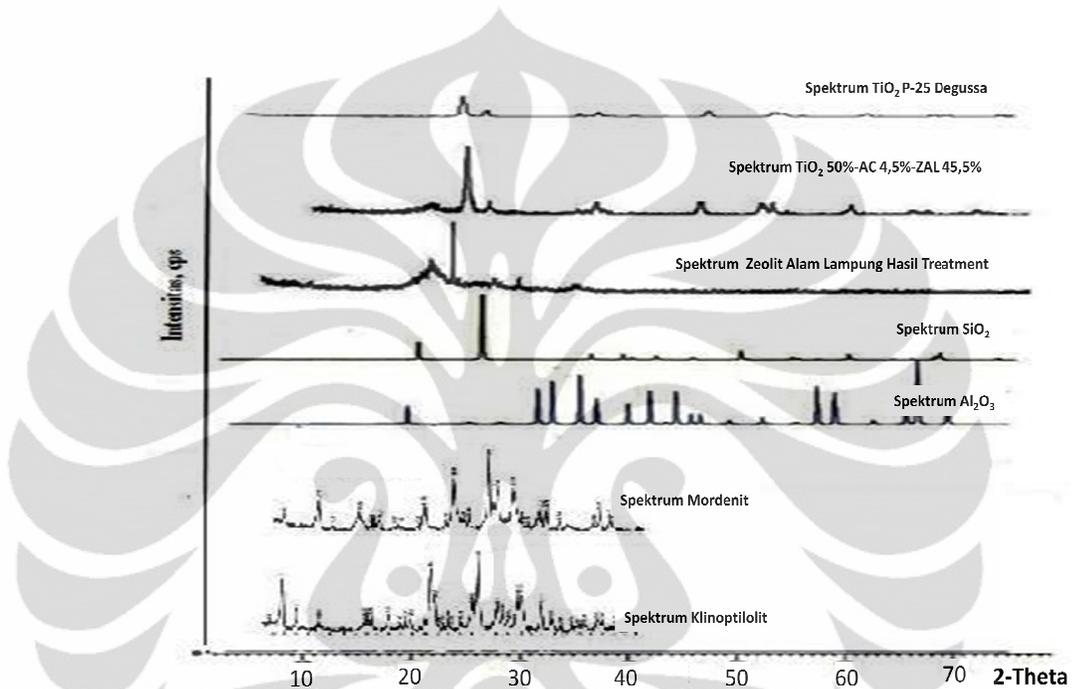
#### 4.2 Karakterisasi XRD

Karakterisasi XRD ditujukan untuk mengetahui jenis kristal yang terdapat pada material yang kita analisis. Selain itu, dari data XRD, juga dapat dihitung kristalinitas dan komposisi kristal.

Gambar 4.2 menunjukkan spektrum-spektrum yang dihasilkan oleh material yang berbeda-beda. Tiga Spektrum teratas merupakan spektrum dari material yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu TiO<sub>2</sub> P-25 Degussa (Gambar 4.2a), katalis komposit TiO<sub>2</sub>-AC-ZAL (Gambar 4.2b) dan ZAL-T (Gambar 4.2c). Katalis komposit yang dianalisis dengan XRD ini memiliki komposisi 50% TiO<sub>2</sub>, 4,5% AC, dan 45,5% ZAL-T. Kemudian, tiga spektrum berikutnya adalah spektrum-spektrum referensi yang menunjukkan karakteristik spektrum kristal SiO<sub>2</sub> (Gambar 4.2c), kristal Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Gambar 4.3d), dan struktur klinoptilolit (Gambar 4.e). Ketiga spektrum referensi tersebut digunakan sebagai spektrum pembandingan bagi spektrum katalis komposit dan spektrum ZAL-T. Berikut ini adalah analisis untuk spektrum katalis komposit TiO<sub>2</sub>-AC-ZAL:

1. Pada Gambar 4.2, yaitu pada spektrum TiO<sub>2</sub> 50%-AC 4,5 %-ZAL 45,5 % terlihat bahwa *peak* yang muncul di area  $\theta \geq 25^\circ$  adalah *peak* milik TiO<sub>2</sub>. Hal ini dapat dibuktikan dengan membandingkan *peak* tersebut dengan *peak*

referensi pada spektrum TiO<sub>2</sub> P-25 Degussa pada Gambar 4.2. Pada TiO<sub>2</sub> P-25 Degussa, *peak* yang muncul adalah *peak* anatase yang karakteristiknya berada pada sudut difraksi (2-Theta) 25,4°; 38,1°, 48,2°; 53,9°; 55,1° (Ngamsoparasiriskun, 2010)



maka spektrum Zeolit Alam Lampung memiliki karakteristik peak tertinggi yang sama dengan dengan klinoptilolit. Berdasarkan referensi juga telah dinyatakan bahwa zeolit alam yang memiliki *peak* pada  $10^\circ$ ,  $23^\circ$ , dan  $30^\circ$  adalah zeolit dengan struktur klinoptilolit (Orha, 2010). Dapat disimpulkan bahwa zeolit alam Lampung yang digunakan adalah zeolite berstruktur klinoptilolit. Kemudian untuk *peak* yang muncul di Theta  $20^\circ$ - $23^\circ$  dan  $36^\circ$  juga menunjukkan bahwa ZAL-T yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kristal  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang tidak lain merupakan komponen penyusun utama dari zeolit.

### 4.3 Karakterisasi BET

Dengan karakterisasi BET, dapat diketahui luas permukaan masing-masing komponen penyusun katalis komposit, yaitu  $\text{TiO}_2$ , Karbon Aktif (AC), dan zeolit alam Lampung hasil *treatment* (ZAL-T). Selain itu, juga dapat dibandingkan luas permukaan masing-masing komponen dengan luas permukaan katalis komposit yang diperoleh. Berikut ini dapat dilihat perbandingannya pada Tabel 4.3:

Tabel 4.3 Luas Permukaan Katalis Komposit dan Komponen Penyusunnya

Jenis Material	Luas Permukaan ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	Diameter Pori ( $\text{\AA}$ )
Komposit $\text{TiO}_2$ -AC-ZAL	45,50 <sup>a</sup>	112,90 <sup>a</sup>
$\text{TiO}_2$	53,60 <sup>b</sup>	69 <sup>b</sup>
AC	670 <sup>c</sup>	0-20 <sup>c</sup>
ZAL-T	58,53 <sup>d</sup>	92,48 <sup>d</sup>

<sup>a,d</sup> Hasil Karakterisasi BET dari Lab RPKA, Teknik Kimia UI

<sup>b</sup> Sumber: Widyanto, 2009

<sup>c</sup> Sumber: Deming, 2011

Komposit yang dianalisis dengan BET ini adalah komposit dengan komposisi  $\text{TiO}_2$  10%, AC 8,2%, dan ZAL-T 81,8%. Dari Tabel 4.3 di atas, dapat diketahui perubahan luas permukaan dari tiap-tiap komponen, yaitu  $\text{TiO}_2$ , AC, dan ZAL-T ketika ketiganya dicampur menjadi suatu komposit. Data pada Tabel 4.3 tersebut menunjukkan bahwa luas permukaan dari katalis komposit menjadi lebih kecil dibandingkan dengan komponen-komponen penyusunnya.

Hasil karakterisasi BET yang didapat tidak sesuai dengan teori yang dinyatakan oleh Durgakumari (2002) adanya multikomponen dalam suatu komposit akan membuat partikel dari masing-masing komponen akan saling menempel, dan luas permukaan pun bertambah. Seharusnya luas permukaan dari komposit minimal lebih besar dari luas permukaan terkecil dari komponennya yaitu  $\text{TiO}_2$  sebesar 53, 60  $\text{m}^2/\text{g}$ . Fenomena penurunan luas permukaan pada komposit ini disebabkan karena adanya proses *thermal treatment* yang dilakukan saat sintesis katalis komposit.

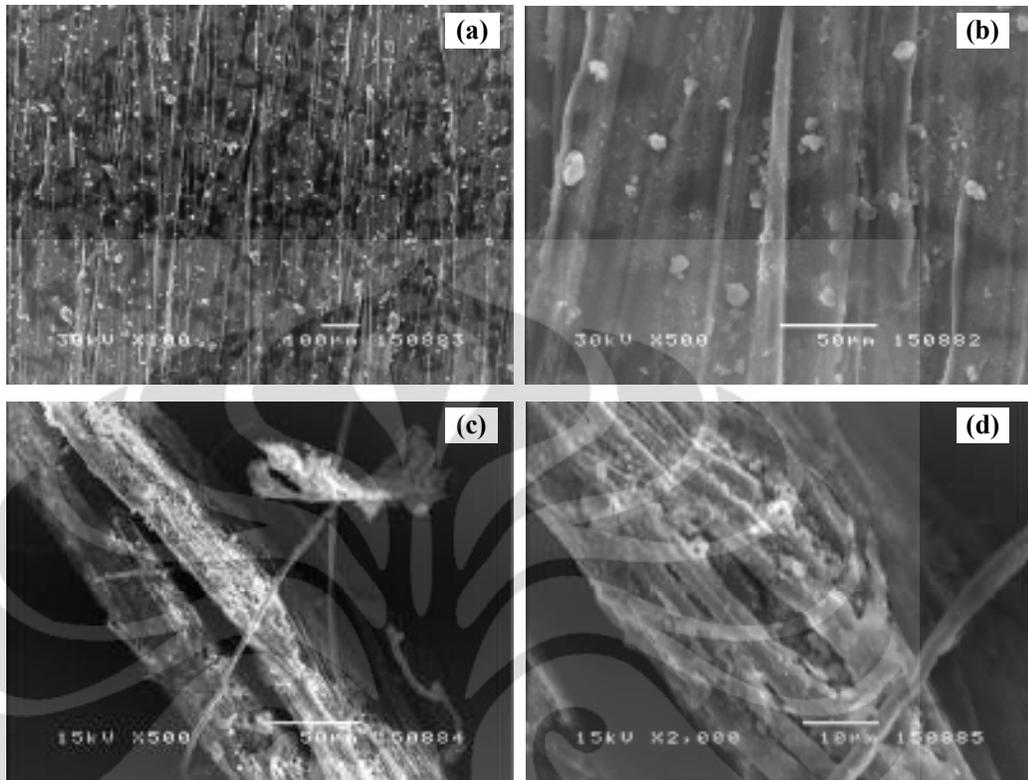
#### 4.4 Karakterisasi SEM dan EDX

Karakterisasi SEM digunakan untuk melihat morfologi permukaan pada penyangga yaitu aluminium dan serat nanas yang dilapisi oleh katalis komposit  $\text{TiO}_2$ -AC-ZAL. Sedangkan karakterisasi EDX digunakan untuk mengetahui kandungan unsur yang terdapat dalam komposit yang telah di-*coating* ke penyangga. Dalam penelitian ini, EDX dilakukan pada *aluminium foil* yang telah di-*coating* dengan komposit  $\text{TiO}_2$  10%-AC 8,2%-ZAL 81,8 %

Tabel 4. 4 Hasil EDX pada Aluminium Foil

Jenis Atom	Jumlah Atom Hasil EDX (%)			
	Jumlah Atom			Rata-rata
	Area 1	Area 2	Area 3	
C	0,61	0,62	0,68	0,64
O	51,88	29,77	34,11	38,59
Al	5,16	45,42	35,17	28,58
Si	36,25	21,13	26,36	27,91
Ti	5,69	2,80	3,44	3,98

Berdasarkan Tabel 4.4 dan Gambar 4.3, dapat dilihat bahwa proses katalis komposit telah berhasil ter-*coating* ke aluminium foil (Gambar 4.3a dan 4.3b) dengan *spray coating*. Kemudian komposit juga berhasil di-*coating* ke serat nanas (Gambar 4.3c dan 4.3d) dengan *dip coating*. Dengan metode *dip coating*, katalis komposit berhasil ter-*coating* pada fibril-fibril serat nanas baik pada fibril bagian luar maupun pada fibril yang ada di bagian dalam.



**Gambar 4.3 Hasil Karakterisasi SEM Katalis Komposit yang Tercoating pada Penyangga**  
**(a) Pada aluminium foil dengan perbesaran 100x, (b) Pada aluminium foil dengan**  
**perbesaran 500x, (c) Pada serat nanas dengan perbesaran 500x,**  
**(d) Pada serat nanas dengan perbesaran 2000x.**

#### **4.5 Pengaruh Keberadaan Adsorben dan Fotokatalis terhadap Proses Eliminasi Polutan**

Dalam penelitian ini, mekanisme yang diharapkan dapat mengeliminasi polutan adalah mekanisme adsorpsi dan fotokatalisis. Ada dua macam adsorben yang digunakan yaitu karbon aktif (AC) dan zeolit alam Lampung dari PT Minatama yang telah berhasil di-*treatment* (ZAL-T), sedangkan fotokatalis yang digunakan adalah TiO<sub>2</sub> komersial, yaitu TiO<sub>2</sub> P-25 dari Degussa. Baik adsorben maupun fotokatalis sama-sama diuji kinerjanya dalam mengeliminasi polutan gas buang, yaitu CO (karbon monoksida), NO<sub>x</sub> (nitrogen oksida), dan HC (hidrokarbon). Perubahan konsentrasi polutan terus diamati setiap selang waktu tertentu. Walaupun konsentrasi awal polutannya berbeda-beda untuk tiap material, tapi kinerja adsorben dan fotokatalis tetap dapat diamati dengan membuat grafik

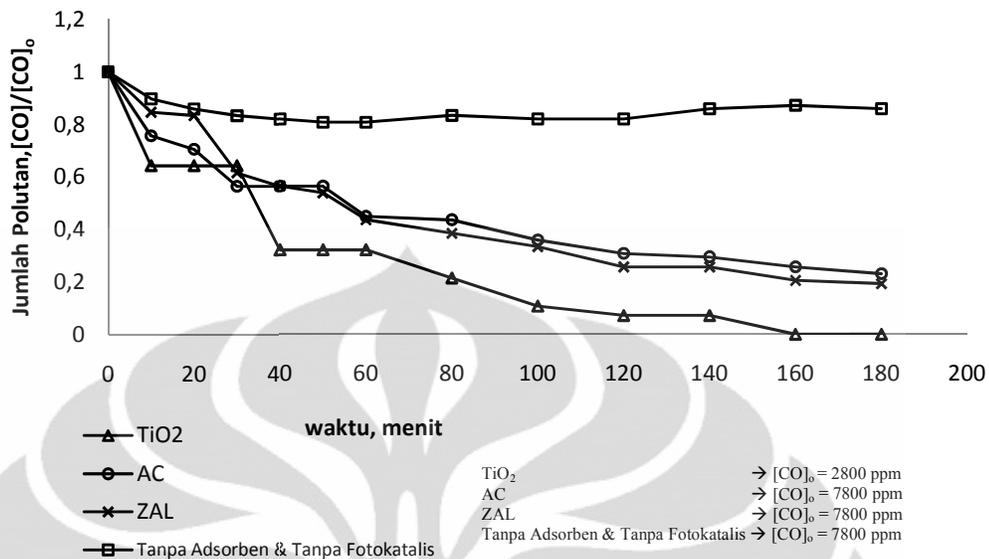
$C/C_0$  Vs. waktu, dengan  $C$  adalah konsentrasi polutan tiap selang waktu tertentu sedangkan  $C_0$  adalah konsentrasi awal polutan.

#### **4.5.1 Polutan CO**

Berdasarkan Gambar 4.4, dapat disimpulkan bahwa ternyata keberadaan adsorben dan fotokatalis sangat berpengaruh dalam mengeliminasi polutan CO. Hal ini dapat dilihat dengan cara membandingkan kurva “Tanpa Adsorben & Tanpa Fotokatalis” dengan ketiga kurva lainnya yang melibatkan adsorben dan fotokatalis. Kurva “Tanpa Adsorben & Tanpa Fotokatalis” terlihat menurun juga, namun setelah 40 menit kemudian, konsentrasi polutan terlihat lebih stabil, walaupun terkadang naik-turun. Pengurangan konsentrasi polutan di menit-menit awal ini disebabkan oleh mekanisme analisis yang diterapkan oleh *gas analyzer*. Mesin analisis ini menghisap polutan yang terdapat dalam kotak uji, sehingga mengurangi konsentrasi polutan dalam kotak uji, sampai konsentrasi tersebut mulai lebih stabil, mengindikasikan kinerja analisis mesin sudah stabil. Konsentrasi polutan tidak kembali ke jumlah semulanya. Oleh karena itu, kondisi seperti ini dianggap sebagai *losses* karena faktor kerja mesin. Kurva “Tanpa Adsorben & Tanpa Katalis” inilah yang akan menjadi acuan dalam menghitung persentase eliminasi polutan oleh adsorben dan fotokatalis.

Dari Gambar 4.4, terlihat bahwa mekanisme yang paling efektif dalam mengeliminasi polutan CO adalah secara fotokatalitik. Hal ini dapat dilihat dari kurva “TiO<sub>2</sub>” yang penurunannya lebih cepat dibanding dengan kurva “AC” dan kurva “ZAL.” Namun, dari grafik tersebut terdapat beberapa catatan penting, dimana konsentrasi awal untuk TiO<sub>2</sub> yaitu 2800 ppm jauh lebih kecil, kurang lebih dua setengah kali dari konsentrasi awal untuk AC dan ZAL, yaitu 7800 ppm. Jadi, belum dapat disimpulkan secara valid bahwa mekanisme fotokatalitik adalah mekanisme yang paling efektif dalam mengeliminasi polutan CO.

Berikutnya dari Gambar 4.4, juga dapat diketahui bahwa kinerja AC dan ZAL tidak jauh berbeda dalam mengeliminasi polutan CO, bahkan kinerja ZAL terlihat sedikit lebih baik dibanding AC. Hal ini terlihat dari kurva “ZAL” yang posisinya sedikit berada di bawah kurva “AC.”



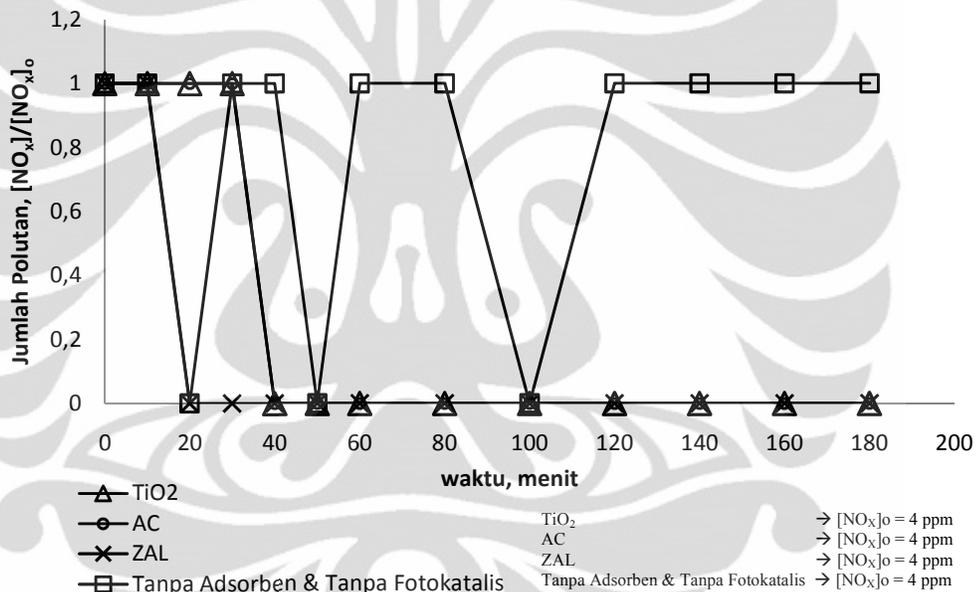
**Gambar 4. 4 Grafik Pengaruh Keberadaan Adsorben & Fotokatalis terhadap Eliminasi Konsentrasi CO. Berat total masing-masing bahan yang digunakan adalah 10 g**

Dari kedua kurva ini, dapat disimpulkan bahwa tujuan utama *treatment* ZAL telah tercapai, yaitu supaya ZAL lebih bersifat polar dan mampu mengadsorpsi polutan polar seperti CO dengan sangat baik. ZAL yang kepolaritasannya meningkat setelah proses *treatment* terkait dengan peningkatan rasio Si/Al (Rini, 2010), sehingga daya adsorpsi terhadap CO pun menjadi meningkat. Padahal, jika dilihat dari hasil BET, luas permukaan AC jauh lebih besar dibanding dengan luas permukaan ZAL. Jadi, sebenarnya yang berperan dalam AC untuk mengadsorpsi CO adalah luas permukaan yang besar, sedangkan yang berperan lebih besar dalam ZAL untuk mengadsorpsi CO adalah kepolaran ZAL.

#### **4.5.2 Polutan NO<sub>x</sub>**

Polutan yang digunakan dalam penelitian ini adalah polutan yang berasal dari emisi gas buang, yaitu CO, NO<sub>x</sub>, dan HC<sub>x</sub>. Jadi, ketiga polutan ini diuji secara simultan. CO dan NO<sub>x</sub> sama-sama polar, sehingga sesuai dengan teori akan lebih tertarik dengan adsorben polar seperti zeolit alam Lampung. Hal ini ditunjukkan

oleh kurva “ZAL” yang lebih cepat mengeliminasi  $\text{NO}_x$ , yaitu sudah nol pada menit ke-20, dibanding dengan “ $\text{TiO}_2$ ” dan “AC” yang baru mencapai titik nol di menit ke-40. Fenomena yang ditunjukkan oleh kurva “ZAL” sejalan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang menyatakan bahwa zeolit merupakan adsorben yang memiliki performa sangat baik dalam mengadsorpsi  $\text{NO}_x$  (Iman, 2011; Macala, 2007; Panov, 2010). Kemudian, fenomena yang ditunjukkan oleh kurva  $\text{TiO}_2$  juga diperkuat dengan teori bahwa konsentrasi  $\text{NO}_x$  yang kecil menyebabkan potensi bertemunya molekul gas  $\text{NO}_x$  dengan radikal hidroksil semakin rendah (C.H. Ao, 2005).

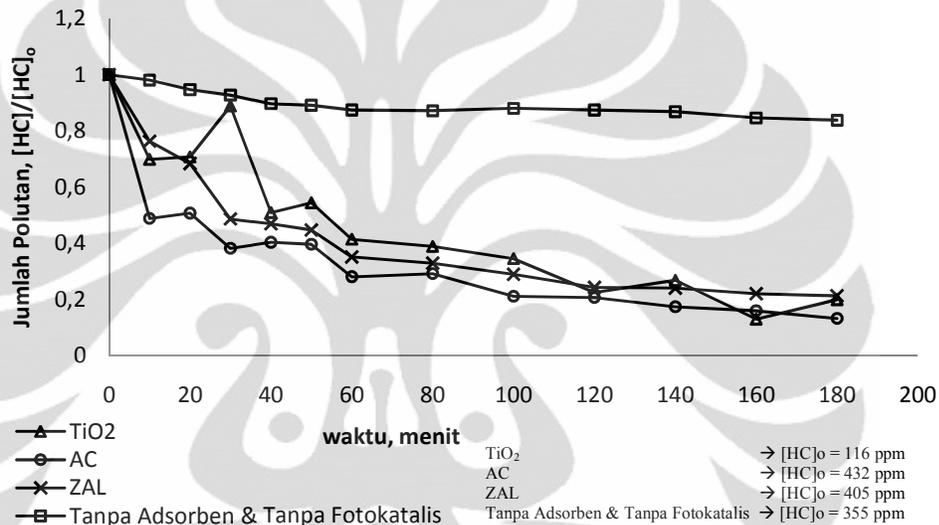


**Gambar 4. 5 Grafik Pengaruh Variasi Bahan Pengeliminasi Polutan terhadap Eliminasi Konsentrasi  $\text{NO}_x$ . Berat total masing-masing bahan yang digunakan adalah 10 g**

Berbeda dengan ketiga kurva lainnya, kurva “Tanpa Adsorben & Tanpa Fotokatalis” memiliki tren yang naik turun pada  $t < 30$  menit. Diduga bahwa dalam selang waktu 30 menit, kondisi eksperimen belum stabil. Hal ini dikarenakan oleh prosedur analisis dari *gas analyzer* yaitu menghisap gas polutan yang terdapat di kotak uji, kemudian di analisis di mesin *analyzer*, lalu dialirkan kembali ke kotak uji. Diduga penyebab konsentrasi  $\text{NO}_x$  sudah mencapai angka nol di menit ke-20 yaitu karena gas polutan dihisap seluruhnya oleh *gas analyzer*.

Kemudian pada menit ke-30,  $\text{NO}_x$  yang telah dianalisis telah masuk kembali ke kotak uji, sehingga konsentrasi  $\text{NO}_x$  di menit ke-30 kembali ke nilai konsentrasi awalnya. Oleh karena itu, data eksperimen pada  $t < 30$  menit, tidak akan diperhitungkan. Kemudian, terlihat di menit ke-120 sampai 180, konsentrasinya mulai terlihat stabil atau tidak berubah.

#### 4.5.3 Polutan HC



Gambar 4. 6 Grafik Pengaruh Variasi Bahan Pengeliminasi Polutan terhadap Eliminasi Konsentrasi HC. Berat total masing-masing bahan yang digunakan adalah 10 g

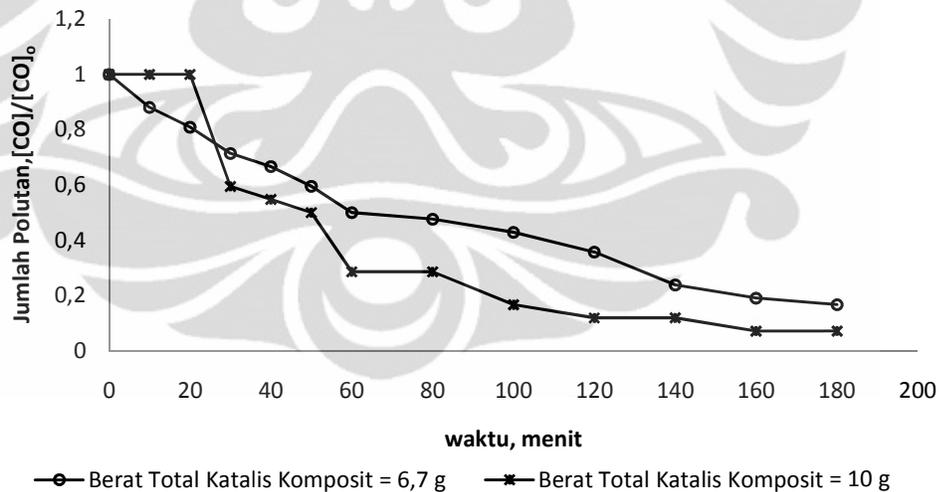
Berbeda dengan kedua polutan sebelumnya, HC merupakan polutan yang bersifat non polar, sehingga akan lebih tertarik dengan adsorben yang non-polar seperti karbon aktif. Hal ini ditunjukkan oleh kurva “AC” (lihat Gambar 4.6) yang mengalami penurunan kurva yang sedikit lebih cepat dibanding dengan kurva “TiO<sub>2</sub>” dan “ZAL.” Dari Gambar 4.6 juga kita dapat melihat perbandingan kurva “AC” dan “ZAL” yang tidak jauh berbeda. Hal ini juga menguatkan indikasi bahwa zeolit yang telah di-*treatment* juga telah berhasil mengadsorp polutan non-polar dengan baik, dan kinerja ZAL dalam mengadsorp hidrokarbon ( $\text{HC}_x$ ) juga tidak kalah dengan karbon aktif. Performa ZAL yang cukup baik dalam mengadsorpsi  $\text{HC}_x$  juga telah dibuktikan dengan penelitian yang dilakukan oleh

Yayat Iman dari LIPI pada tahun 2011, sedangkan kemampuan zeolit mengadsorpsi  $\text{HC}_x$  juga telah dievaluasi oleh Muraza pada tahun 2010.

Jika diperhatikan kurva “Tanpa Adsorben & Tanpa Fotokatalis” pada Gambar 4.6 juga mengalami *losses* sampai 16,34 % karena tuntutan mekanisme analisis mesin *gas analyzer*. Kurva ini juga akan menjadi acuan nantinya untuk menghitung persentase eliminasi polutan.

#### 4.6 Pengaruh Berat Total Katalis Komposit terhadap Proses Eliminasi Polutan

Dalam penelitian ini, juga dilakukan uji kinerja katalis komposit dengan variasi berat katalis. Katalis komposit yang digunakan adalah  $\text{TiO}_2$  10%-AC 8,2%-ZAL 81,8%. Ada dua variasi berat katalis yang digunakan yaitu 6,7 g dan 10 g. Konsentrasi awal polutan CO untuk masing-masing katalis dibuat sama yaitu 4200 ppm.



**Gambar 4.7** Grafik Pengaruh Berat Total Katalis Komposit terhadap Eliminasi Konsentrasi CO Katalis Komposit yang digunakan adalah  $\text{TiO}_2$  10%-AC 8,2%-ZAL 81,8% dengan berat total 10 g. Polutan yang digunakan adalah CO dengan konsentrasi awal sebesar 4200 ppm

Dari Gambar 4.7, dapat dinyatakan bahwa ternyata berat katalis komposit sangat berpengaruh pada kinerja katalis komposit dalam mengeliminasi polutan.

Semakin berat katalis komposit yang digunakan maka semakin meningkat kinerja katalis komposit tersebut dalam mengeliminasi polutan. Hal ini berhubungan dengan mekanisme itu sendiri, sampai batas tertentu, semakin berat katalis komposit yang digunakan, maka  $\text{TiO}_2$ , AC, dan ZAL yang melekat pada penyangga, yaitu aluminium foil dan serat nanas, juga akan semakin banyak. Dengan demikian, agen pengeliminasi polutan, baik itu adsorben maupun fotokatalis juga akan semakin banyak. Jumlah adsorben yang semakin banyak akan meningkatkan luas permukaan sehingga daya adsorpsi pun semakin meningkat ([www.thebigger.com](http://www.thebigger.com)). Begitu juga dengan fotokatalis, semakin banyak fotokatalisnya maka *hole* dan radikal hidroksi yang dihasilkan juga akan semakin banyak (Fauziah, 2008). Kedua mekanisme eliminasi ini akan saling bersinergi sehingga dapat meningkatkan persentase eliminasi polutan.

#### **4.7 Pengaruh Komposisi Katalis Komposit terhadap Proses Eliminasi Polutan**

Dalam penelitian ini, telah berhasil juga diketahui pengaruh komposisi katalis komposit terhadap proses eliminasi polutan. Terdapat empat macam variasi komposisi katalis komposit. Untuk mengontrol hasil, berat total katalis komposit dibuat sama yaitu 10 g, kemudian konsentrasi awal dari tiap variasi juga dibuat seminimal mungkin perbedaannya antara variasi yang satu dengan variasi yang lain agar bisa dibandingkan. Selain itu, karena tujuan utama dari variasi ini adalah untuk mengetahui pengaruh *loading* (jumlah)  $\text{TiO}_2$  pada katalis komposit terhadap kinerja katalis komposit dalam mengeliminasi polutan, maka perbandingan komposisi berat karbon aktif dan zeolit alam Lampung dibuat konstan, yaitu 1:10.

Variasi pertama, adalah komposit yang hanya melibatkan adsorben saja, yaitu karbon aktif (AC) dan zeolit alam Lampung *treatment* (ZAL), dengan perbandingan berat 1:10, sedangkan tiga variasi lainnya adalah komposit yang melibatkan fotokatalis dan adsorben. Berikut ini adalah penotasian dari keempat macam variasi komposit:

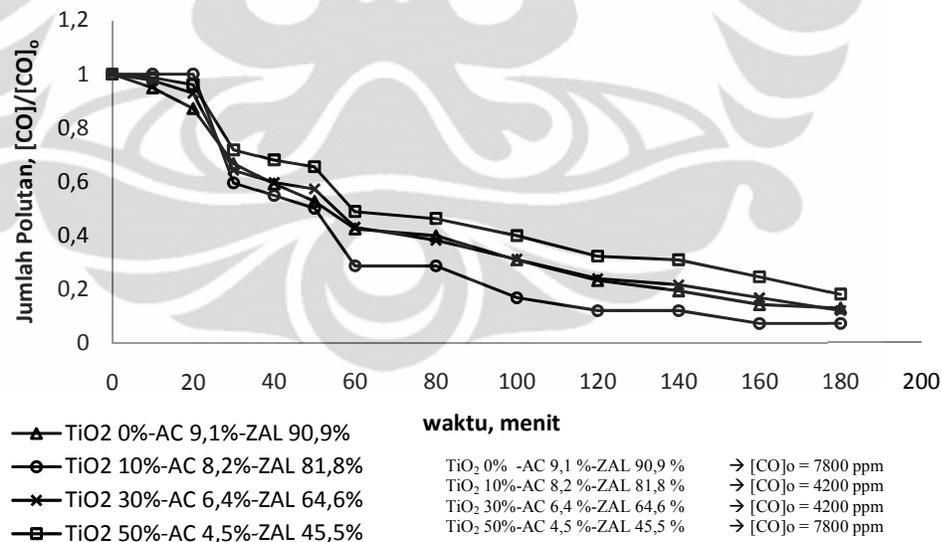
**Tabel 4. 5 Penotasian katalis komposit berdasarkan komposisinya**

No.	Notasi Katalis Komposit	Arti Notasi
1	TiO <sub>2</sub> 0 %-AC 9,1%-ZAL 90,9%	Komposit hanya terdiri dari 9,1 g (9,1% wt) AC; dan 90,9 g (90,9% wt) ZAL
2	TiO <sub>2</sub> 10 %-AC 8,2%-ZAL 81,8%	Komposit terdiri dari 1 g (10% wt) TiO <sub>2</sub> ; 0,82 g (8,2% wt) AC; dan 8,18 g (81,8% wt) ZAL
3	TiO <sub>2</sub> 30 %-AC 6,4%-ZAL 64,6%	Komposit terdiri dari 3 g (10% wt) TiO <sub>2</sub> ; 0,64 g (8,2% wt) AC; dan 6,46 g (81,8% wt) ZAL
4	TiO <sub>2</sub> 50 %-AC 4,5%-ZAL 45,5%	Komposit terdiri dari 5 g (10% wt) TiO <sub>2</sub> ; 0,45 g (4,5% wt) AC; dan 4,55 g (45,5% wt) ZAL

Masing-masing variasi juga menggunakan polutan emisi gas buang, sehingga CO, NO<sub>x</sub>, dan HC<sub>x</sub> diukur secara simultan. Berikut ini adalah hasil uji masing-masing variasi untuk ketiga polutan:

#### **4.7.1 Polutan CO**

Dalam menguji katalis komposit dengan polutan CO, terdapat kesulitan yang dapat mempengaruhi analisis terhadap hasil uji, yaitu membuat konsentrasi awal untuk setiap variasi sama. Pada akhirnya, untuk proses pengujian ini terdapat dua macam variasi konsentrasi awal yaitu 4200 ppm dan 7800 ppm. Hal ini dapat dilihat pada keterangan Gambar 4.8 berikut:

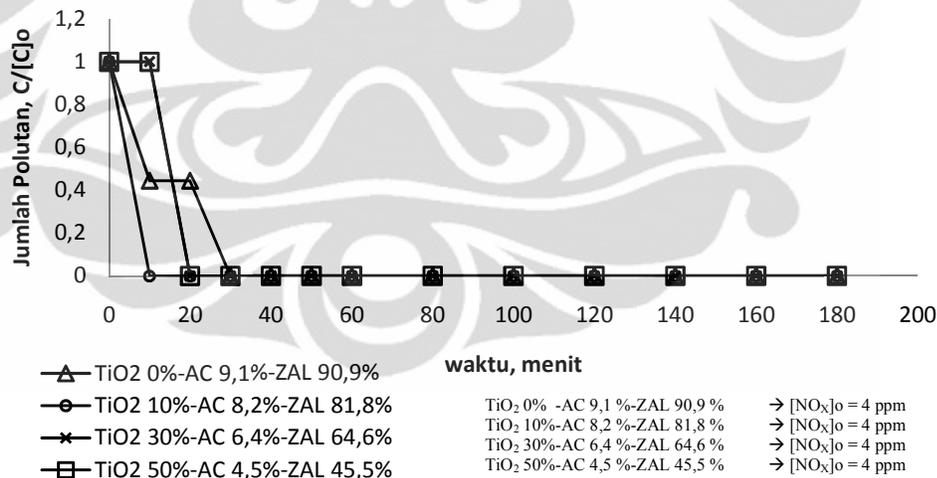


**Gambar 4. 8 Grafik Pengaruh Komposisi Katalis Komposit TiO<sub>2</sub>-AC-ZAL terhadap Eliminasi Konsentrasi CO. Berat Total katalis komposit yang digunakan adalah 10 g**

Menurut Gambar 4.8 diketahui bahwa katalis komposit yang terbaik untuk mengeliminasi polutan adalah katalis komposit dengan komposisi TiO<sub>2</sub> 10%-AC 8,2%-ZAL 81,8%. Namun, hal tersebut bukan berarti bahwa katalis komposit dengan komposisi TiO<sub>2</sub> 10%-AC 8,2%-ZAL 81,8% adalah komposisi yang paling optimal dalam mengeliminasi polutan CO. Penentuan komposisi optimal akan dibahas pada sub.bab 4.7.4.

Berikutnya dari Gambar 4.8 juga dapat diketahui bahwa kinerja komposit yang hanya melibatkan adsorben saja itu sama dengan kinerja komposit yang melibatkan fotokatalis dan adsorben pada komposisi TiO<sub>2</sub> 30%-AC 6,4%-ZAL 64,6%. Artinya penambahan *loading* TiO<sub>2</sub> > 30% pada katalis komposit tidak akan berpengaruh dalam meningkatkan persen eliminasi polutan CO. Dengan kata lain, peningkatan *loading* menjadi tidak efektif bagi kinerja katalis komposit. Hal ini juga sesuai dengan teori bahwa pada level tertentu *loading* TiO<sub>2</sub> tidak akan berpengaruh dalam peningkatan laju fotodegradasi (Durgakumari, 2002).

#### 4.7.2 Polutan NO<sub>x</sub>



Gambar 4. 9 Grafik Pengaruh Komposisi Katalis Komposit TiO<sub>2</sub>-AC-ZAL terhadap Eliminasi Konsentrasi NO<sub>x</sub>. Berat Total katalis komposit yang digunakan adalah 10 g

Berdasarkan Gambar 4.9, diketahui bahwa komposit yang paling baik kinerjanya dalam mengeliminasi polutan NO<sub>x</sub> adalah katalis komposit dengan komposisi TiO<sub>2</sub> 10%-AC 8,2%-ZAL 81,8%. Dalam waktu 10 menit, komposit

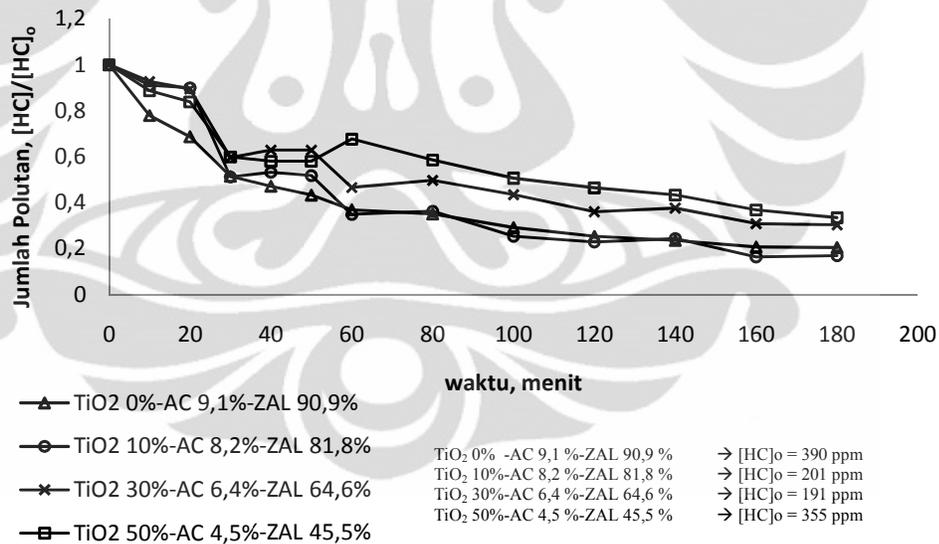
dengan komposisi TiO<sub>2</sub> 10%-AC 8,2%-ZAL 81,8% telah berhasil mengeliminasi polutan NO<sub>x</sub> sampai habis, sedangkan komposit dengan komposisi TiO<sub>2</sub> 30%-AC 6,4%-ZAL 64,6% dan TiO<sub>2</sub> 50%-AC 4,5%-ZAL 45,5% membutuhkan waktu yang lebih lama yaitu sekitar 20 menit untuk mengeliminasi polutan sampai habis. Kemudian komposit yang hanya terdiri dari adsorben AC dan ZAL saja, yaitu TiO<sub>2</sub> 0%-AC 9,1%-ZAL 90,9% membutuhkan waktu yang paling lama, yaitu 30 menit untuk mengeliminasi polutan sampai habis. Hasil ini menunjukkan peranan mekanisme fotokatalisis dalam mengeliminasi NO<sub>x</sub> dengan cara fotodegradasi. Mekanisme fotokatalisis bersinergi dengan mekanisme adsorpsi dalam mengeliminasi polutan (Matos, 2010). Dengan adanya mekanisme fotokatalisis, maka polutan yang teradsorb di adsorben dapat segera didegradasi, sehingga daya adsorpsi dari adsorben pun tidak akan menurun. Akibatnya, laju eliminasi oleh katalis komposit lebih cepat dibanding dengan eliminasi oleh adsorben saja.

Berdasarkan tren grafik yang terdapat pada Gambar 4.9, dapat disimpulkan bahwa ternyata komposit dengan *loading* (jumlah) TiO<sub>2</sub> yang paling sedikit memiliki kinerja yang semakin baik. Semakin banyak *loading* TiO<sub>2</sub> dalam katalis komposit ternyata tidak dapat menambah efektivitas katalis komposit tersebut dalam mengeliminasi polutan NO<sub>x</sub>. Pengaruh jumlah *loading* TiO<sub>2</sub> terhadap kinerja komposit dalam mengeliminasi polutan akan dibahas pada sub.bab 4.7.4.

#### **4.7.3 Polutan HC**

Telah berhasil diteliti bahwa ternyata komposisi katalis komposit juga berpengaruh pada kinerja komposit dalam mengeliminasi hidrokarbon. Dalam penelitian ini, juga sangat sulit untuk mengontrol konsentrasi awal agar tetap sama untuk setiap variasi komposisi katalis komposit. Oleh karena itu, data hasil uji akan ditampilkan dalam bentuk  $C/C_0$  Vs.  $t$  dengan  $C$  adalah konsentrasi polutan hidrokarbon dalam selang waktu tertentu,  $C_0$  adalah konsentrasi awal dari polutan hidrokarbon, sedangkan  $t$  adalah waktu yang dinyatakan dalam menit. Hasil uji katalis komposit dengan hidrokarbon sebagai polutannya dapat dilihat pada Gambar 4.10.

Dari Gambar 4.10 terlihat secara jelas terdapat dua macam komposit yang unggul dalam mengeliminasi polutan hidrokarbon, yaitu komposit yang hanya terdiri dari adsorben saja, atau komposit  $\text{TiO}_2$  0%-AC 9,1%-ZAL 90,9% dan komposit yang terdiri dari campuran adsorben dan fotokatalis dengan komposisi  $\text{TiO}_2$  10%-AC 8,2%-ZAL 81,8%. Hal ini dapat dilihat dari kedua kurva komposit tersebut yang hampir berhimpitan setelah menit ke-60. Fenomena kedua kurva ini juga dapat menggambarkan mekanisme eliminasi yang terjadi dalam proses eliminasi polutan hidrokarbon. Jika diamati, tren kurva katalis komposit “ $\text{TiO}_2$  10%-AC 8,2%-ZAL 81,8%” pada *range* waktu  $0 \leq t < 30$  menit memiliki penurunan konsentrasi yang tidak signifikan dibanding dengan kurva “ $\text{TiO}_2$  0%-AC 9,1%-ZAL 90,9%”, sampai akhirnya kedua kurva ini mencapai tingkat eliminasi polutan yang sama pada menit ke-30.



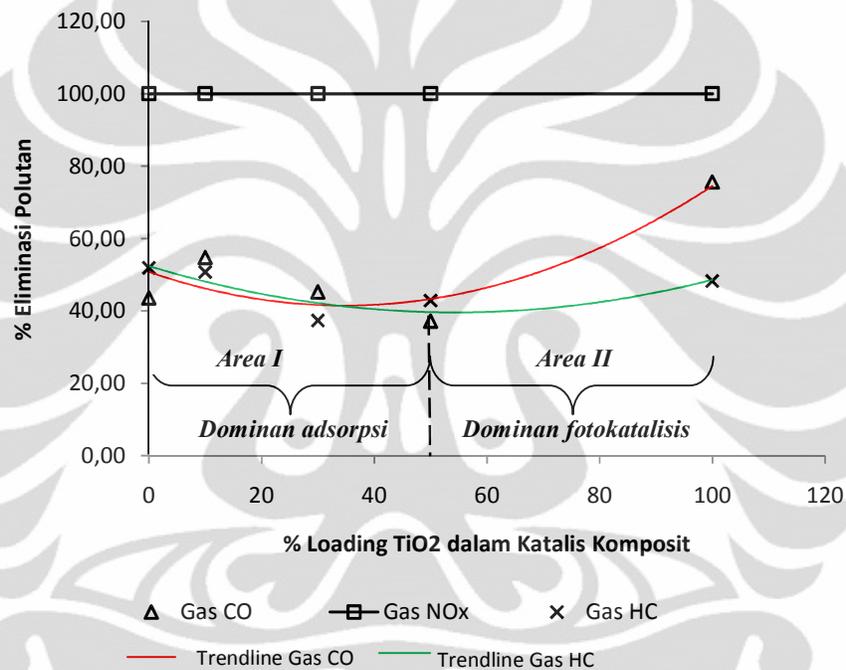
**Gambar 4. 10** Grafik Pengaruh Komposisi Katalis Komposit  $\text{TiO}_2$ -AC-ZAL terhadap Eliminasi Konsentrasi HC. Berat Total katalis komposit yang digunakan adalah 10 g

Hal ini membuktikan bahwa mekanisme fotokatalitik sangat berperan untuk meningkatkan kinerja komposit dalam mengeliminasi polutan dalam waktu

yang lama, sedangkan mekanisme adsorpsi menjadi mekanisme utama yang berperan dalam mengeliminasi polutan pada menit-menit awal.

Kemudian, fenomena lain yang dapat diambil dari Gambar 4.10 sama dengan fenomena yang terjadi pada polutan CO dan NO<sub>x</sub>, yaitu terkait dengan *loading* TiO<sub>2</sub> yang akan dibahas secara khusus di sub.bab 4.7.4.

#### 4.7.4 Penentuan *Loading* TiO<sub>2</sub> Optimal untuk Eliminasi Polutan



Gambar 4. 11 Grafik & Trendline Pengaruh *Loading* TiO<sub>2</sub> pada katalis terhadap % Eliminasi Polutan

Berdasarkan Gambar 4.11, dapat dilihat pengaruh dari *loading* TiO<sub>2</sub> pada katalis komposit untuk setiap gas polutan. Terlihat dari *trendline* kurva “Gas CO” (lihat kurva berwarna merah) dan kurva “Gas HC” (lihat kurva berwarna hijau) bahwa ternyata kinerja katalis komposit tidak dipengaruhi oleh *loading* TiO<sub>2</sub>. Pada *trendline* “Gas CO,” hal ini ditunjukkan oleh bentuk *trendline* yang semakin naik saat 30% < % *loading* TiO<sub>2</sub> < 30%, sedangkan pada kurva *trendline* “Gas HC”, hal ini juga ditunjukkan oleh bentuk *trendline* yang semakin naik saat 50% < % *loading* TiO<sub>2</sub> < 50%. Kedua *trendline* ini menyiratkan bahwa komposit akan

tetap bekerja dengan baik berapapun komposisinya, dengan mekanisme eliminasi yang dominan tetap bergantung pada komposisi komposit. Jadi untuk *trendline* “Gas CO” pada *loading*  $\text{TiO}_2 < 30\%$ , mekanisme eliminasi yang dominan adalah adsorpsi, sedangkan pada *loading*  $\text{TiO}_2 > 30\%$ , mekanisme yang dominan adalah fotokatalisis.

Kemudian untuk *trendline* “Gas HC” pada *loading*  $\text{TiO}_2 < 50\%$ , mekanisme eliminasi yang dominan adalah adsorpsi, sedangkan pada *loading*  $\text{TiO}_2 > 50\%$ , mekanisme yang dominan adalah fotokatalisis. Jadi, semakin banyak persentase adsorben dibanding fotokatalis pada katalis komposit, maka mekanisme eliminasi yang lebih dominan adalah adsorpsi yang ditunjukkan oleh Area I pada Gambar 4.1, sedangkan jika persentase fotokatalis lebih banyak dibanding adsorben, maka mekanisme yang lebih dominan adalah fotokatalisis yang ditunjukkan oleh Area II pada Gambar 4.12 (Durgakumari, 2002).

Jika yang dianalisis adalah data plot sebenarnya, terlihat bahwa untuk plot “Gas CO,” saat  $10\% < \text{loading } \text{TiO}_2 < 50\%$ , maka semakin banyak *loading*  $\text{TiO}_2$ , persentase eliminasi polutan menjadi semakin menurun. Artinya, kinerja katalis komposit semakin tidak efektif ketika *loading*  $\text{TiO}_2$  semakin tinggi pada *range loading* tersebut. Salah satu penyebab fenomena ini adalah karena berkurangnya massa adsorben dalam komposit seiring dengan kenaikan *loading*  $\text{TiO}_2$ . Penyebab lainnya yaitu terkait dengan teori bahwa kenaikan *loading*  $\text{TiO}_2$  pada komposit akan menciptakan agregat yang besar dari partikel  $\text{TiO}_2$  di permukaan adsorben, sehingga akan mengurangi area permukaan aktif dari adsorben. Akibatnya, daya adsorpsi pun melemah, dan secara tidak langsung, hal ini juga menyebabkan efisiensi dari fotodegradasi oleh  $\text{TiO}_2$  pun menurun (Durgakumari, 2002). Kenaikan *loading* memang dapat meningkatkan laju fotodegradasi, tetapi ketika sampai pada level tertentu, akan timbul *excess*  $\text{TiO}_2$  pada adsorben, sehingga penetrasi sinar UV menjadi terhalang oleh fotokatalis itu sendiri.

Jika titik puncak minimum dari masing-masing *trendline* disebut sebagai *lowest performance point* (LPP), maka titik tersebut adalah titik yang menunjukkan komposit dengan komposisi terburuk, sehingga kinerjanya dalam mengeliminasi polutan sangat tidak optimal. Namun, LPP bisa menjadi komposisi

optimal komposit ketika berbagai aspek lain ikut dipertimbangkan terkait dengan tujuan ke depannya bahwa material komposit ini dapat memiliki performa yang baik dan *lifetime* yang lebih lama dibanding masker lain yang sudah ada.

Aspek pertama yang perlu dipertimbangkan adalah aspek kesehatan, di mana keberadaan komposit yang terdiri dari fotokatalis dan komposit ini tidak hanya mampu mengadsorpsi polutan tapi juga dapat mendegradasinya secara *in situ*. Jika, masker hanya terdiri dari adsorben saja, tentu polutan tidak akan dapat terdegradasi.

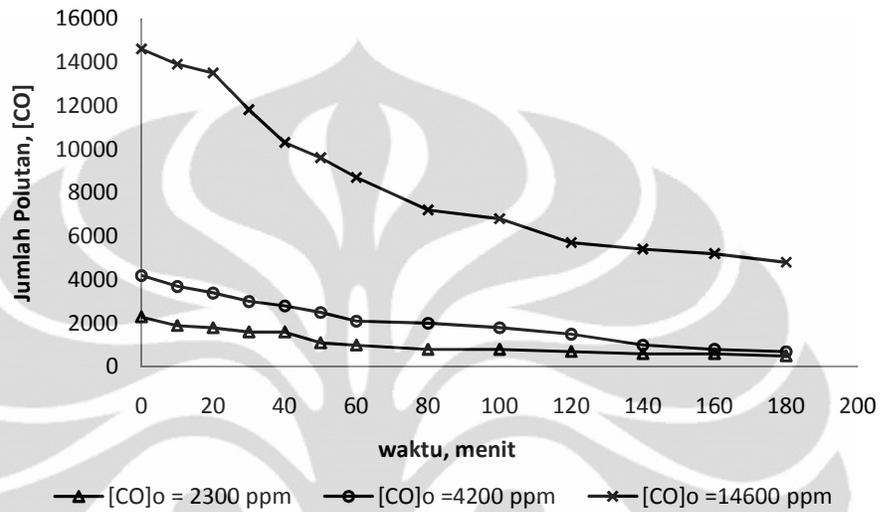
Aspek kedua yang juga perlu dipertimbangkan adalah aspek *lifetime* masker. Material masker yang berupa komposit dari fotokatalis dan adsorben akan memiliki *lifetime* yang lebih lama karena polutan yang teradsorpsi dapat segera didegradasi oleh fotokatalis, sehingga adsorben pun menjadi tidak cepat jenuh, dan *lifetime* masker pun menjadi lebih lama. Selain itu, dengan rancangan desain masker yang ada, maka proses degradasi dari polutan tetap dapat berjalan dengan cara menyalakan lampu pada struktur masker, walaupun masker tersebut sedang tidak digunakan.

#### **4.8 Pengaruh Konsentrasi Awal Polutan terhadap Proses Eliminasi Polutan**

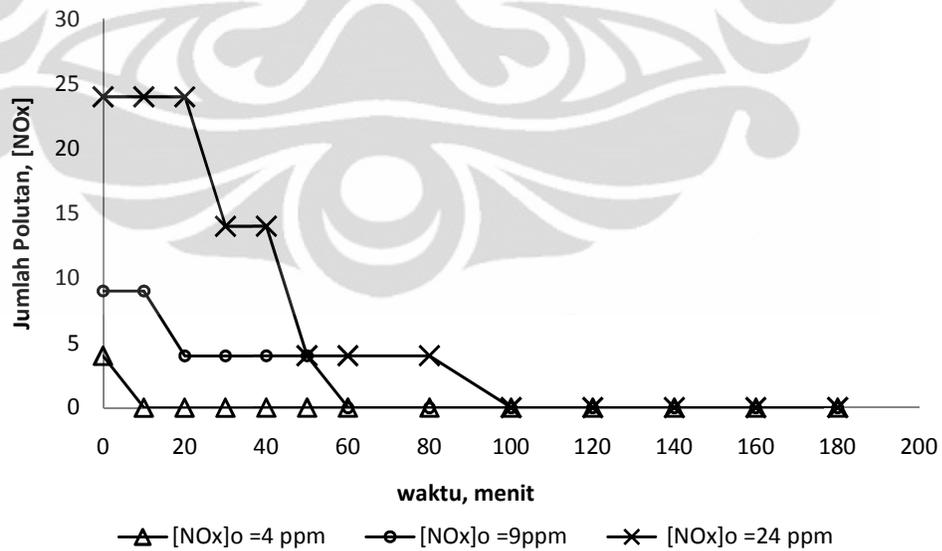
Melalui penelitian ini, juga telah diketahui pengaruh dari variasi konsentrasi awal terhadap proses eliminasi polutan. Dari variabel komposisi katalis komposit, telah diketahui bahwa komposit dengan komposisi TiO<sub>2</sub> 10%-AC 8,2%-ZAL 81,8% memiliki kinerja eliminasi polutan gas buang (CO, NO<sub>x</sub>, dan HC) yang lebih baik dibanding dengan komposisi katalis komposit lainnya. Oleh karena itu, untuk mengetahui pengaruh dari konsentrasi awal, komposit yang akan diujikan adalah komposit dengan kinerja yang terbaik yaitu komposit TiO<sub>2</sub> 10%-AC 8,2%-ZAL 81,8%.

Untuk setiap polutan, terdapat tiga macam variasi konsentrasi awal yang diujikan dalam penelitian ini. Data eliminasi polutan yang dihasilkan pun disajikan dalam bentuk grafik  $C/C_0$  Vs.  $t$ , dengan  $C$  adalah konsentrasi polutan setiap selang waktu tertentu,  $C_0$  adalah konsentrasi awal polutan, sedangkan  $t$

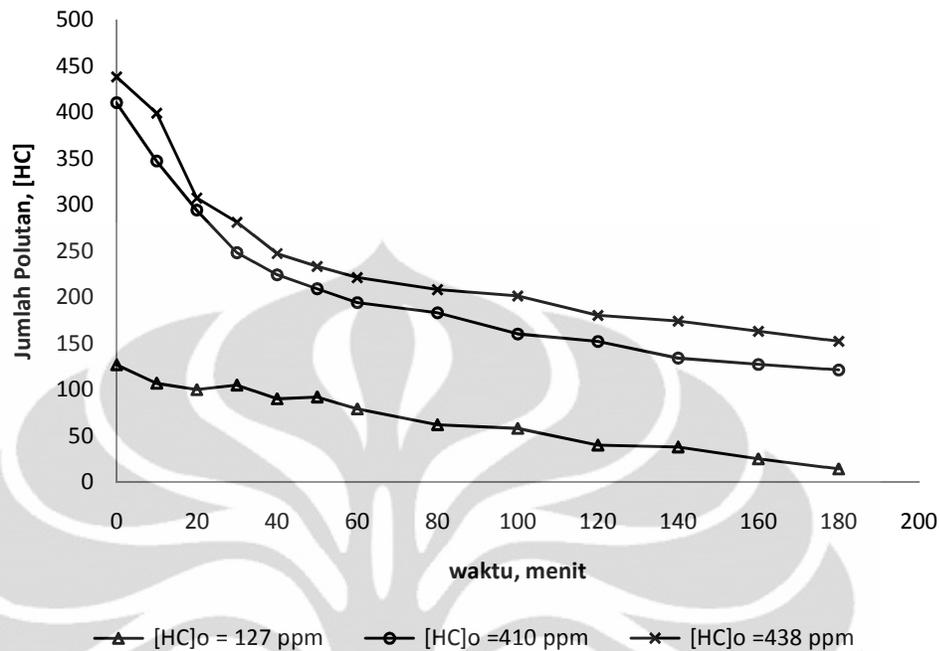
adalah waktu dengan satuan menit. Berikut ini adalah grafik hasil uji ketiga polutan:



**Gambar 4.12** Grafik Pengaruh Konsentrasi Awal terhadap Eliminasi Konsentrasi CO oleh katalis Komposit TiO<sub>2</sub> 10%-AC 8,2%-ZAL 81,8%. Berat total katalis komposit yang digunakan adalah 6,73 g



**Gambar 4.13** Grafik Pengaruh Konsentrasi Awal terhadap Eliminasi Konsentrasi NO<sub>x</sub> oleh katalis Komposit TiO<sub>2</sub> 10%-AC 8,2%-ZAL 81,8%. Berat Total katalis komposit yang digunakan adalah 6,73 g



**Gambar 4. 14 Grafik Pengaruh Konsentrasi Awal terhadap Eliminasi Konsentrasi HC oleh katalis Komposit TiO<sub>2</sub> 10%-AC 8,2%-ZAL 81,8%. Berat Total katalis komposit yang digunakan adalah 6,73 g**

Berdasarkan Gambar 4.12-4.14, terlihat bahwa selama 1 jam pertama, terjadi fenomena khusus, dimana ketika konsentrasi awal dari polutan semakin banyak, maka % eliminasinya pun semakin banyak. Hal ini menunjukkan adanya mekanisme dominan yang membantu peningkatan % eliminasi polutan ketika jumlah polutan itu semakin banyak. Karakteristik eliminasi seperti ini merupakan karakteristik yang dimiliki oleh adsorpsi.

Laju adsorpsi suatu gas pada adsorben padatan dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya luas permukaan dari adsorben, sifat dari gas yang akan diadsorb, temperatur, dan tekanan. Dari keempat faktor tersebut, yang berkaitan langsung dengan jumlah polutan adalah tekanan. Ketika jumlah polutan semakin meningkat, maka tekanan juga akan meningkat. Pada temperatur yang konstan, maka adsorpsi gas juga akan semakin meningkat seiring dengan kenaikan tekanan. Kemudian, pada temperatur yang rendah, misalnya temperatur ruang, dengan kenaikan sedikit tekanan saja mampu meningkatkan adsorpsi gas dengan sangat signifikan ([www.thebigger.com](http://www.thebigger.com)).

#### 4.8.1 Kinetika Reaksi Degradasi CO, NO<sub>x</sub>, dan HC secara Fotokatalitik

Telah dijelaskan sebelumnya pada sub bab 2.8 bahwa degradasi polutan CO, NO<sub>x</sub>, dan HC mengikuti mekanisme Langmuir-Hinselwood. Berdasarkan sub.bab 2.8, untuk mendapatkan persamaan reaksi, langkah pertama yang harus dilakukan adalah menghitung nilai  $r_0$  untuk setiap konsentrasi awal pada polutan yang berbeda. Dari Gambar 4.12-4.14, setiap kurva dapat diregresi dan menghasilkan *trendline* (lihat Gambar 4.15-4.17) dengan persamaan kurva berbentuk polinomial pangkat dua seperti berikut :

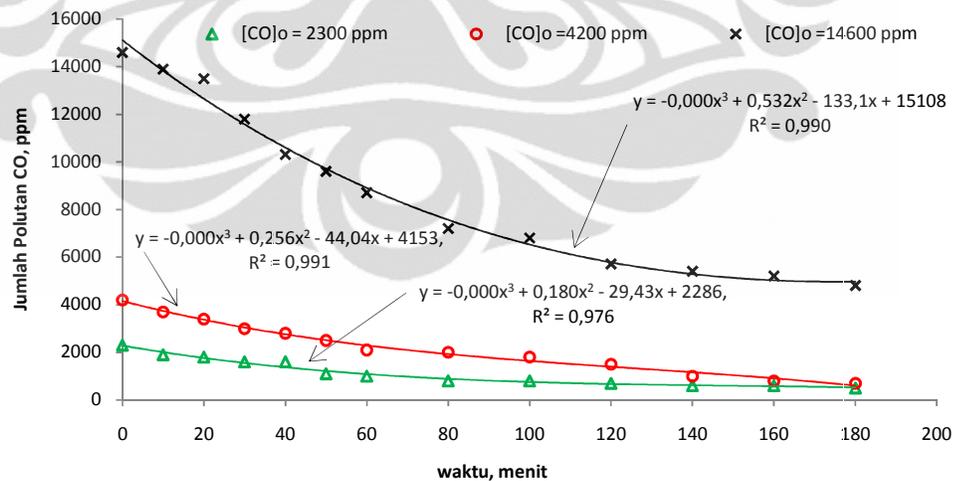
$$y = a_1x^n + a_2x^{n-1} + \dots + a_4x + a_5 \quad (4.1)$$

Jika persamaan 4.1 diturunkan akan menjadi:

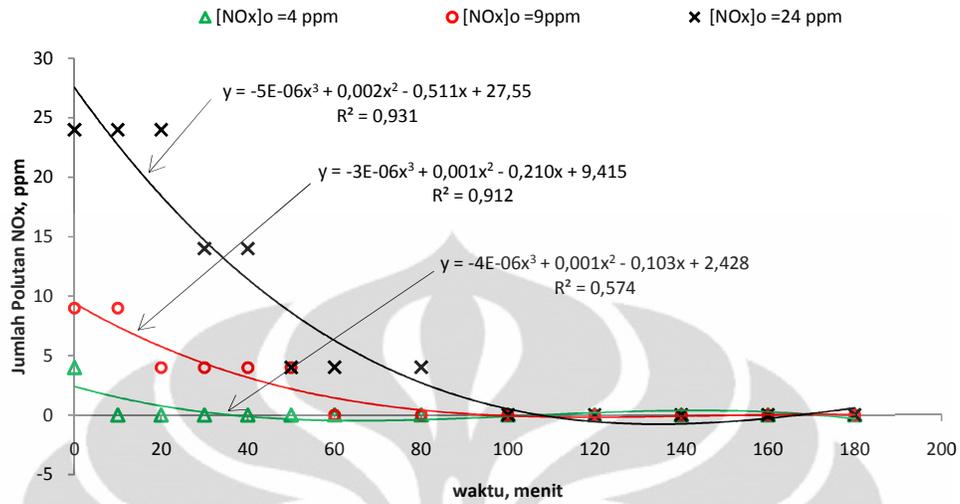
$$\frac{dy}{dx} = na_1x^{n-1} + (n-1)a_2x^{(n-2)} + \dots + a_4 \quad (4.2)$$

Karena sumbu y pada grafik adalah C (konsentrasi), sedangkan sumbu x pada grafik adalah t (waktu), maka persamaan 4.2 akan menjadi sama dengan persamaan 4.3 berikut:

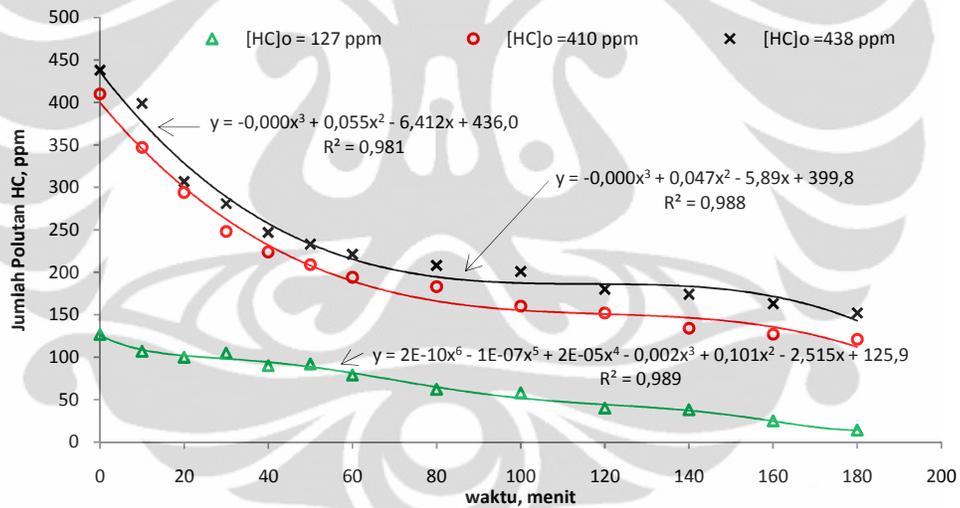
$$\frac{dC}{dt} = na_1t^{n-1} + (n-1)a_2t^{(n-2)} + \dots + a_4 \quad (4.3)$$



Gambar 4. 15 Grafik C vs.t pada setiap konsentrasi awal gas CO



Gambar 4. 16 Grafik C vs.t pada setiap konsentrasi awal gas NOx



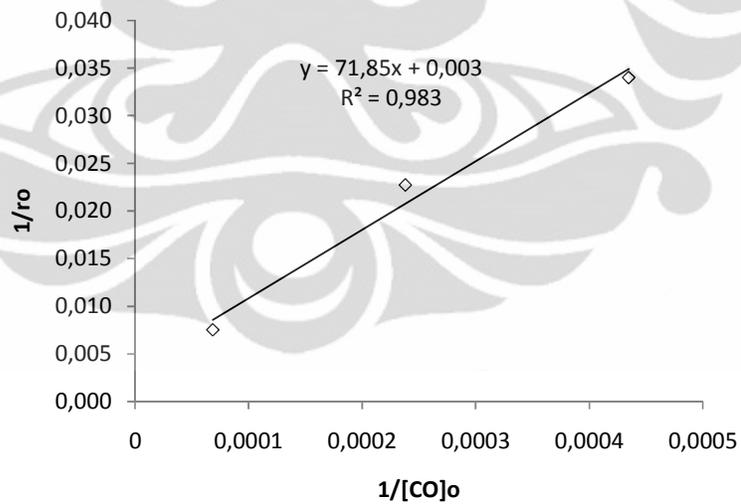
Gambar 4. 17 Grafik C vs.t pada setiap konsentrasi awal untuk gas HC

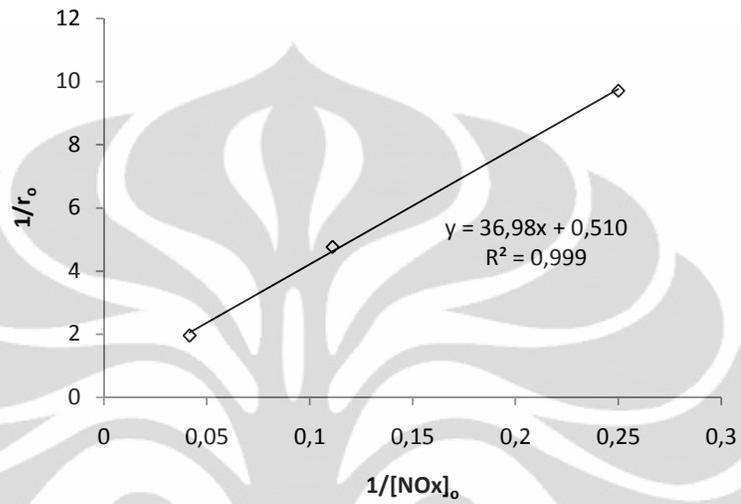
Merujuk pada persamaan 2.16, maka untuk menghitung  $r_0$ , nilai  $t$  pada persamaan 4.3 harus disubstitusi dengan 0, sehingga nilai  $r_0$  yang didapat akan sama dengan nilai  $-a_4$ . Berikut ini adalah tabel nilai  $r_0$  (ppm/menit) untuk setiap  $C_0$  (ppm) polutan.

Tabel 4. 6 Nilai  $r_0$  untuk setiap  $C_0$  polutan

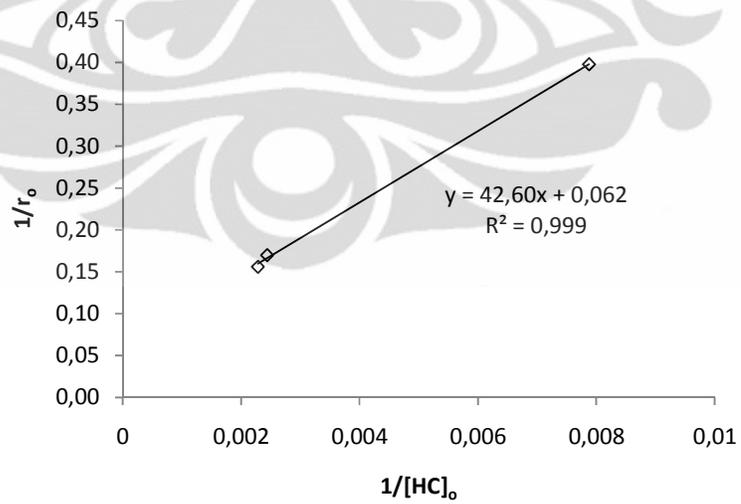
Polutan	$C_0$ (ppm)	$r_0$ polutan (ppm/menit)
CO	2300	29,43
	4200	44,04
	14600	133,10
NO <sub>x</sub>	4	0,103
	9	0,210
	24	0,511
HC	127	2,515
	410	5,890
	438	6,412

Dengan merujuk persamaan 2.15, untuk mendapatkan nilai  $k$  (konstanta kesetimbangan laju reaksi) dan  $K$  (konstanta adsorpsi), maka dibuat grafik invers dari  $r_0$  terhadap invers  $C_0$  untuk setiap polutan, seperti yang terlihat pada Gambar 4.18-4.20. Begitu juga persamaan linier yang dibentuk oleh grafik dapat dibuat, sehingga nilai  $k$  dan  $K$  dapat dihitung.

Gambar 4. 18 Grafik  $1/r_0$  Vs.  $1/[CO]_0$



Gambar 4. 19 Grafik  $1/r_o$  Vs.  $1/[NOx]_o$



Gambar 4. 20 Grafik  $1/r_o$  Vs.  $1/[HC]_o$

Dengan memasukkan nilai  $k$  dan  $K$  ke persamaan persamaan 2.13, maka persamaan laju reaksi pun didapatkan, seperti terlihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Nilai  $k$ ,  $K$ , dan persamaan laju degradasi polutan

Polutan	$k$ (ppm/menit)	$K$ (ppm <sup>-1</sup> )	Persamaan Laju Degradasi
CO	$3,333.10^2$	$4,175.10^{-5}$	$r = -\frac{dC}{dt} = \frac{(1,390.10^{-2})C}{1 + (4,175.10^{-5})C}$
NO <sub>x</sub>	1,961	$1,379.10^{-2}$	$r = -\frac{dC}{dt} = \frac{(2,700.10^{-2})C}{1 + (1,379.10^{-2})C}$
HC	$1,613.10^1$	$1,455.10^{-3}$	$r = -\frac{dC}{dt} = \frac{(2,350.10^{-2})C}{1 + (1,455.10^{-3})C}$

#### 4.8.2 Perhitungan Waktu Degradasi

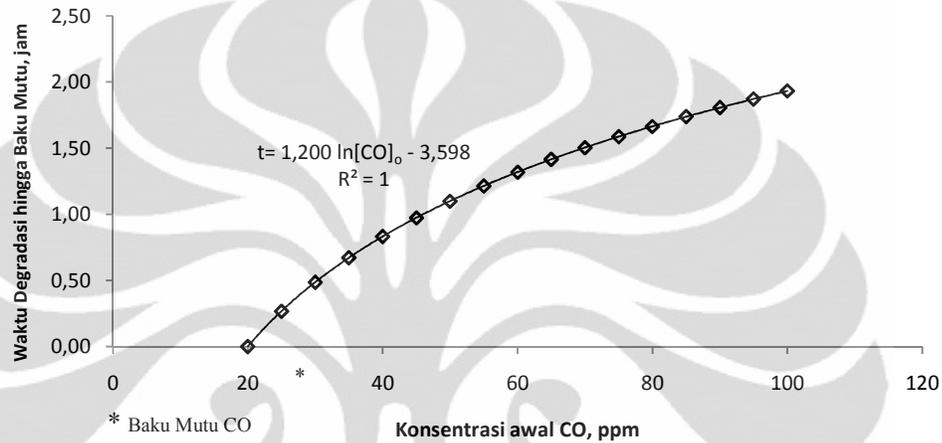
Karena salah satu tujuan direkayasanya masker ini adalah untuk mendegradasi polutan minimal sampai titik baku mutunya, maka perlu dihitung waktu ( $t_b$ ) yang dibutuhkan oleh masker untuk mengeliminasi polutan sampai ke level baku mutu udara ambien yang bersih. Caranya adalah dengan mengintegrasikan persamaan laju degradasi yang telah di dapat di sub bab 4.8.1 untuk masing-masing polutan. Berikut ini adalah tabel hasil integrasi persamaan laju degradasi:

Tabel 4. 8 Persamaan waktu degradasi sebagai hasil integrasi persamaan laju degradasi

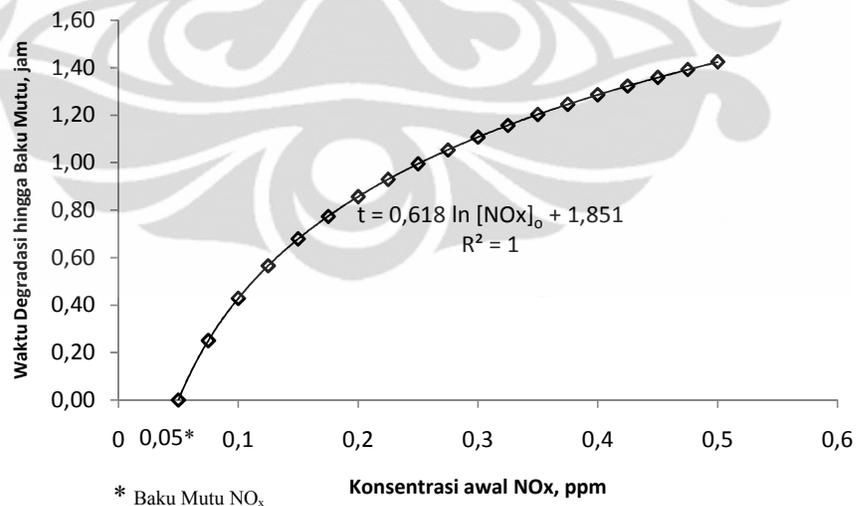
Polutan	Persamaan Laju Degradasi	Persamaan Waktu Degradasi*
CO	$r = -\frac{dC}{dt} = \frac{(1,390.10^{-2})C}{1 + (4,175.10^{-5})C}$	$t_b = (-71,9 \ln C_o - 0,003 C_o) \Big _{C_o}^{20}$
NO <sub>x</sub>	$r = -\frac{dC}{dt} = \frac{(2,700.10^{-2})C}{1 + (1,379.10^{-2})C}$	$t_b = (-37 \ln C_o - 0,51 C_o) \Big _{C_o}^{0,05}$
HC	$r = -\frac{dC}{dt} = \frac{(2,350.10^{-2})C}{1 + (1,455.10^{-3})C}$	$t_b = (-42,6 \ln C_o - 0,062 C_o) \Big _{C_o}^{0,24}$

\* Persamaan waktu degradasi memiliki batas bawah integral adalah  $C_o$  (konsentrasi awal) dan batas atas integralnya adalah nilai baku mutu masing-masing polutan dalam ppm berdasarkan KepMen. KLH No.41/MENKLH/1999.

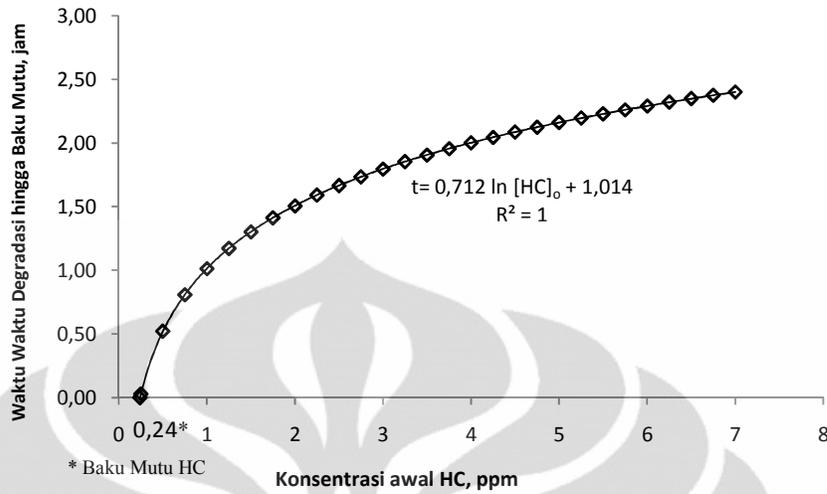
Dengan memasukkan berbagai nilai  $C_0$  (konsentrasi awal) tiap polutan yang merujuk pada variasi konsentrasi polutan di atmosfer (Lampiran 11), maka waktu yang dibutuhkan oleh masker untuk mengeliminasi CO, NO<sub>x</sub>, dan HC dengan konsentrasi berbeda, dapat dilihat pada Gambar 4.21-4.23 berikut:



Gambar 4. 21 Grafik waktu degradasi hingga baku mutu Vs. konsentrasi awal gas CO



Gambar 4. 22 Grafik waktu degradasi hingga baku mutu Vs. konsentrasi awal gas NO<sub>x</sub>



**Gambar 4. 23 Grafik Waktu degradasi baku mutu Vs. konsentrasi awal gas HC**

Dari kurva-kurva yang didapatkan seperti terlihat pada Gambar 4.21-4.23, dapat dibuat persamaan waktu degradasi sebagai fungsi dari konsentrasi awal, seperti yang dirangkumkan pada Tabel 4.9. Dengan menggunakan persamaan 4.9, dapat diprediksi waktu yang dibutuhkan oleh masker untuk mengeliminasi berbagai polutan dengan konsentrasi awal yang berbeda-beda.

**Tabel 4. 9 Persamaan waktu degradasi setiap polutan**

<b>Gas Polutan</b>	<b>Persamaan Waktu Degradasi, dengan t = waktu (jam); konsentrasi awal polutan (ppm)</b>
CO	$t = 1,200 \ln [CO]_0 - 3,598$
NO <sub>x</sub>	$t = 0,618 \ln [NO_x]_0 + 1,851$
HC	$t = 0,712 \ln [HC]_0 + 1,014$

### **4.8.3 Analisis Kelayakan Masker**

Berdasarkan Gambar 4.17a-c, dapat dilihat berapa banyaknya waktu yang dibutuhkan untuk mengeliminasi polutan pada berbagai konsentrasi awal polutan. Untuk polutan CO, dengan konsentrasi polutan di Jakarta, misalnya di sekitar HI mencapai 50-75 ppm per hari (Tempo, 2011), dibutuhkan waktu 66 sampai 95 menit untuk mengeliminasi sampai ke tingkat baku mutu, yaitu 20 ppm (Dharma, 2011). Tentu saja, hal ini mengindikasikan bahwa masker yang telah direkayasa telah berhasil mengeliminasi CO secara cepat.

Kemudian, untuk polutan NO<sub>x</sub> dengan kadarnya di jalan mencapai 0,15-0,30 ppm di sekitar Stasiun Thamrin, Jakarta (Saepudin, 2005), dibutuhkan waktu 41 sampai 66 menit untuk mengeliminasi polutan hingga ke titik baku mutunya, yaitu 0,05 ppm (Dharma, 2011). Oleh karena itu, masker anti polutan yang telah direkayasa dinilai sangat layak difungsikan untuk mengeliminasi NO<sub>x</sub>.

Selanjutnya, untuk polutan HC dengan kadar di jalan mencapai 3-5 ppm di sekitar Stasiun Thamrin, Jakarta (Saepudin, 2005), dibutuhkan waktu 108 sampai 130 menit untuk mengeliminasi HC sampai ke baku mutu, yaitu 0,24 ppm (Dharma, 2011). Oleh karena itu, masker anti polutan ini juga dinilai layak difungsikan untuk mengeliminasi HC.

### **4.10 Perbandingan Efisiensi Masker**

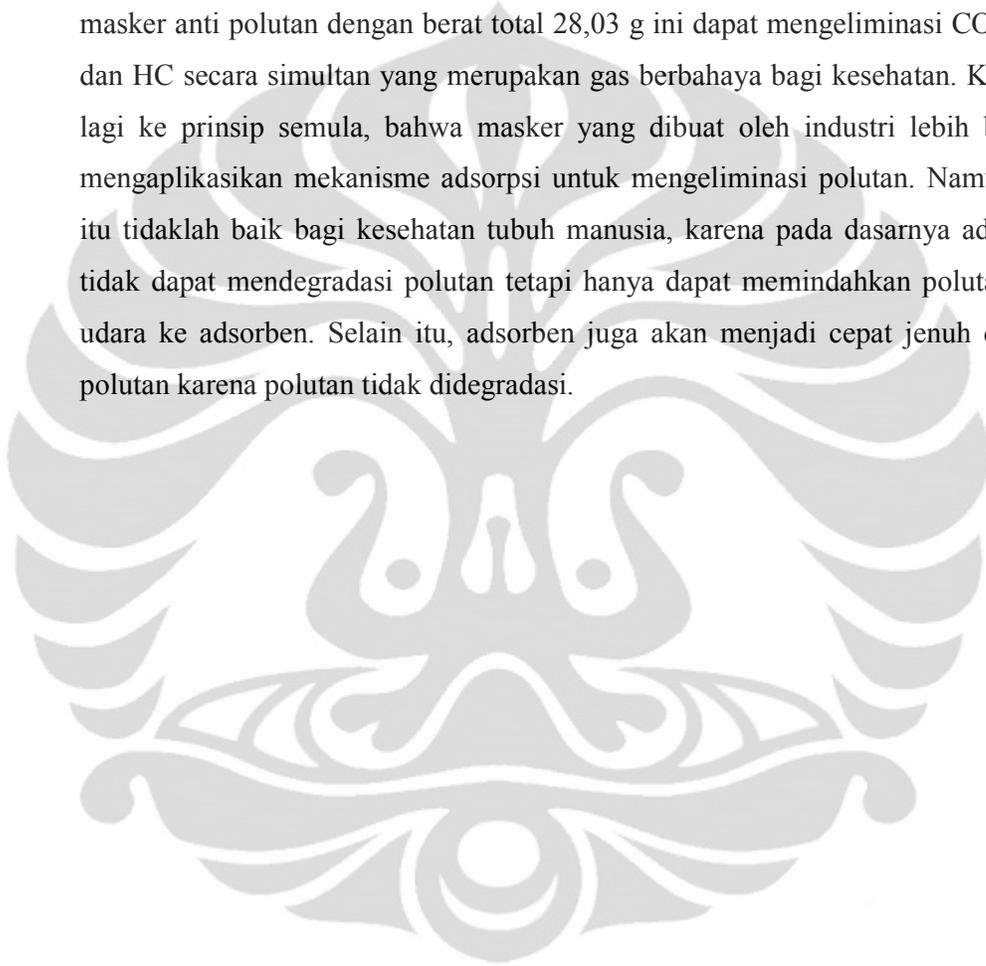
Berikut ini adalah perbandingan efisiensi masker-masker dalam mengeliminasi polutan CO:

**Tabel 4. 10 Perbandingan efisiensi masker**

<b>Tipe Masker</b>	<b>Prinsip Eliminasi</b>	<b>% Eliminasi CO</b>	<b>[CO]<sub>0</sub> (ppm)</b>	<b>Sumber</b>
Civilian 14/24	Adsorpsi	90,4 %	2500	Kinman (2007)
Civilian 17/30	Adsorpsi	91,6%	2500	Kinman (2007)
Prof 3.5 Mock Int	Adsorpsi	92 %	2500	Kinman (2007)
Prof 14/24	Adsorpsi	91,2 %	2500	Kinman (2007)
<b>Masker Anti Polutan *</b>	Adsorpsi-Fotokatalitik	54,76%	4200	Ikha M. (2011)

\* Adalah masker yang direkayasa dalam penelitian ini

Berdasarkan Tabel 4.9, dapat dilihat bahwa kinerja Masker Anti Polutan yang berhasil direkayasa masih lebih buruk kinerjanya dibanding dengan masker-masker yang telah diproduksi oleh industri. Namun, bukan berarti masker anti polutan ini tidak memiliki prospek yang bagus untuk terus dikembangkan sampai memiliki performa terbaik. Dari penelitian ini, setidaknya dapat dibuktikan bahwa masker anti polutan dengan berat total 28,03 g ini dapat mengeliminasi CO, NO<sub>x</sub>, dan HC secara simultan yang merupakan gas berbahaya bagi kesehatan. Kembali lagi ke prinsip semula, bahwa masker yang dibuat oleh industri lebih banyak mengaplikasikan mekanisme adsorpsi untuk mengeliminasi polutan. Namun, hal itu tidaklah baik bagi kesehatan tubuh manusia, karena pada dasarnya adsorben tidak dapat mendegradasi polutan tetapi hanya dapat memindahkan polutan dari udara ke adsorben. Selain itu, adsorben juga akan menjadi cepat jenuh dengan polutan karena polutan tidak didegradasi.



## BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berikut ini adalah kesimpulan yang didapat dari penelitian ini:

1. Katalis komposit TiO<sub>2</sub>-AC-ZAL dapat mengeliminasi polutan seperti CO, NO<sub>x</sub>, dan HC<sub>x</sub> secara simultan, sehingga bisa diaplikasikan sebagai masker.
2. Komposisi terbaik untuk mengeliminasi polutan adalah TiO<sub>2</sub> 10% - AC 8,2% - ZAL 81,8%.
3. Komposisi terbaik yang didapatkan bukanlah komposisi optimal karena komposit tetap dapat mengeliminasi polutan dengan baik pada komposisi berapapun dengan mekanisme eliminasi dominan tergantung komposisinya.
4. Kinerja komposit dengan berat 10 g lebih efektif dibanding 6,7 g. Semakin banyak konsentrasi awal polutan juga membuat laju eliminasi polutan semakin besar.
5. Persamaan laju degradasi yang didapat adalah:

- Untuk Gas CO :  $r = -\frac{dC}{dt} = \frac{(1,390 \cdot 10^{-2})C}{1 + (4,175 \cdot 10^{-5})C}$

- Untuk Gas NO<sub>x</sub> :  $r = -\frac{dC}{dt} = \frac{(2,700 \cdot 10^{-2})C}{1 + (1,379 \cdot 10^{-2})C}$

- Untuk Gas HC :  $r = -\frac{dC}{dt} = \frac{(2,350 \cdot 10^{-2})C}{1 + (1,455 \cdot 10^{-3})C}$

6. Persamaan waktu degradasi tiap polutan sampai ke baku mutu:
  - Untuk Gas CO :  $t = 1,200 \ln[CO]_0 - 3,598$
  - Untuk Gas NO<sub>x</sub> :  $t = 0,618 \ln[NO_x]_0 + 1,851$
  - Untuk Gas HC :  $t = 0,712 \ln[HC]_0 + 1,014$
7. Masker anti polutan yang direkayasa sudah cukup layak untuk mendegradasi CO, NO<sub>x</sub>, dan HC.

## 5.2 Saran

Saran yang diajukan oleh Penulis untuk penelitian ini adalah:

1. Sebaiknya, pada proses *treatment* zeolit alam juga dilakukan proses ultrasonikasi sehingga zeolit alam yang dihasilkan dapat memiliki luas permukaan yang lebih besar dan daya adsorpsinya pun meningkat.
2. Dalam proses uji kinerja katalis komposit dengan menggunakan *gas analyzer*, kondisi vakum mudah sekali terjadi, sehingga besar kemungkinan dapat menyebabkan kotak uji pecah. Oleh karena itu, sebaiknya kotak uji tidak terbuat dari *acrylic*, tetapi dari *stainless steel* yang tahan akan kondisi vakum.
3. Alat uji *gas analyzer* terbatas ketelitian pengukurannya pada gas  $\text{NO}_x$ . Ketelitian alat ini hanya berada dalam *range* ppm vol. untuk konsentrasi  $\text{NO}_x$ , padahal konsentrasi  $\text{NO}_x$  yang berada di atmosfer terkontaminasi berada dalam *range* ppb, sehingga pengukuran pun menjadi kurang akurat.
4. Sebaiknya variasi konsentrasi awal diperbanyak, minimal 7 jenis, agar dari hasil uji tersebut dapat dibuat persamaan laju eliminasinya. Dengan demikian, dapat dihitung waktu yang dibutuhkan oleh masker untuk mendegradasi polutan dengan berbagai macam konsentrasi.
5. Karena jumlah emisi  $\text{NO}_x$  yang keluar dari asap knalpot motor merupakan fungsi suhu, maka sebaiknya sebelum memasukkan asap knalpot ke dalam kotak uji, mesin motor dipanaskan dulu sampai waktu yang cukup lama. Hal ini terkait dengan keterbatasan alat *gas analyzer*.
6. Sebaiknya, juga dilakukan uji kejenuhan katalis komposit, sehingga *lifetime* dari masker dapat dihitung.
7. Sebaiknya, pengujian masker dilakukan sesuai dengan metode standar pengujian masker yang dapat dilihat pada Lampiran 10.

## DAFTAR REFERENSI

- Alfat, M. A. (2009). Rekayasa Alat dan Uji Kinerja Katalis Komposit TiO<sub>2</sub>-Adsorben Alam untuk Degradasi Polutan Asap Rokok. *Skripsi*. Universitas Indonesia.
- Amora, M.R., Canabrava, D.V., Bastos-Neto, M., Torres, A.E.B., Cavalcante, C.L., and D.C.S. Azevero. (2009). Equilibrium Adsorption of Binary Mixtures of Light Hydrocarbons in Activated Carbon. *Latin American Applied Research*, No. 39, pp. 153-156.
- Anonim. (2009, November 10). *Totobobo Mask*. March, 24<sup>th</sup>, 2010. <http://totobobo.com>
- Anonim. (2010). *Carbon Monoxide*. March, 24<sup>th</sup>, 2010. <http://www.wikipedia.org>
- Anonim. (n.d.). *Mechanical Mixing*. June, 8<sup>th</sup>, 2011. <http://www.chem.wisc.edu>
- Ao, C.H., & Lee, S.C. (2005). Indoor Air Purification by Photocatalyst TiO<sub>2</sub> Immobilized on an Activated Carbon Filter Installed in an Air Cleaner. *Chemical Engineering Science*, No.60, pp.103-109.
- Barker, M.E. (1926). Gas Mask Development. *Chemical Warfare*, Vol.12, No.7, pp. 11-15 .
- Birnie, M., Riffat, S., and Mark Gillott. (n.d.). Photocatalytic Reactors: Design for Effective Air Purification. *International Journal of Low Carbon Technologies*, Vol.1, No.1, pp.47-58
- Bosc, Florence, et.al. (2007). Room Temperature Visible Light Oxidation of CO by High Surface Area Rutile TiO<sub>2</sub>-supported Metal Photocatalyst. *Applied Catalysis B: Environmental*, No.69, pp.133-137
- Brain, Marshall. (2010). *How Gas Masks Work*. March, 24<sup>th</sup>, 2010. <http://www.howstuffworks.com>.
- Cao, Y., Sakamoto, S., and K. Goda. (2007). Effects of Heat and Alkali Treatments on Mechanical Properties of Kenaf Fibers. 16<sup>th</sup> *International Conference of Composite Materials*.
- Cejka, Jiri. (2007). Introduction to Zeolite Science and Practice. *Elsevier B.V.*

- Chen-Fu, Lien, Meng-Tso Chen, Yu-Feng Lin, Jong-Liang Lin. (2004). Photooxidation of Methane over TiO<sub>2</sub>. *Journal of the Chinese Chemical Society*, No.51, pp. 37-42.
- Chun, Oh Won. (2008). Effect of Fe Contents in Fe-AC/TiO<sub>2</sub> Composites on Photodegradation Behaviors of Methylene Blue. *Journal of the Korean Ceramic Society*, Vol. 45, No.6, pp. 324-330.
- Corbit. (1990). *Air Quality Control, Standard Handbook of Environmental Engineering*. New York: McGraw-Hill, p. 4115.
- De Moor, Peter Paul Eugene Andrea. (1998). *The Mechanism of Organic-Mediated Zeolite Crystalization*. Technische Universiteit Bindhoren. Germany
- Despres, Joel. (2003). Adsorption and Catalytic Oxidation of Nitrogen Monoxide in Lean Exhaust for Future Automotive DeNO<sub>x</sub> Techniques. *Thesis*. University Louis Pasteur.
- Dharma, Agus (2011). *Baku Mutu Lingkungan dan Mekanisme Pemantauan*. Bahan Kuliah Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Jakarta: Universitas Gunadarma.
- Durgakumari, V., Subrahmanyam, M., Subba Rao, K.V., Ratnamala, A., Noorjahan, M., and Keiichi Tanaka. (2002). An Easy and Efficient Use of TiO<sub>2</sub> supported HZSM-5 and TiO<sub>2</sub>+HZSM-5 Zeolite Combine in the Photodegradation of Aqueous Phenol and p-Chlorophenol. *Applied Catalysis A: General*, No.234, pp. 155-165.
- Fujishima, Akira. (1999). *TiO<sub>2</sub> Photocatalysis, Fundamental and Applications*. Tokyo: BKC, Inc.
- Gosink, Tom. (1983, January 2008). What Do Carbon Monoxide Levels Mean? *Alaska Science Forum*, Article #588.
- Gustafsson, R.J., et.al. (2006). Reduction of NO<sub>2</sub> to Nitrous Acid on Illuminated Titanium Dioxide Aerosol Surfaces: Implication for Photocatalysis and Atmospheric Chemistry. *The Royal Society of Chemistry*, pp.3936-3938.
- Herrmann, Jean-Marie. (2007). *Catalyse et Environnement*. Universite Claude Bernard Lyon 1. France.

- Hidayat, Pratikno. (2008). Teknologi Pemanfaatan Serat Daun Nanas sebagai Alternatif Bahan Baku Tekstil. *Teknoin*, Vol.13, No.2, pp. 31-35.
- Hunger, M., Brouwers, H.J.H., and M. de los M. Ballari. (2008). Photocatalytic Degradation Ability of Cementitious Materials: A Modeling Approach. *1<sup>st</sup> International Conference on Microstructure Related Durability of Cementitious Composites*. China: 13<sup>rd</sup>-15<sup>th</sup> October 2008
- Huhtanen, Mika. (2006). Zeolite in The Reduction of NO<sub>x</sub> in Lean Automotive Exhaust Gas Conditions. *Dissertation*. University of Oulu.
- Hwang, S., Myung, C.L., Wonyong, Choi. (2003). Highly Enhanced Photocatalytic Oxidation of CO on Titania Deposited with Pt Nano Particles: Kinetics and Mechanism. *Applied Catalysis B: Environmental*, No. 46, pp. 49-63
- Ibadurrohman, M. (2008). Rekayasa Alat untuk Purifikasi dan Deodorisasi Udara dari Polutan Asap Rokok Menggunakan TiO<sub>2</sub> yang Dimodifikasi dengan Bahan Adsorben. *Skripsi*. Universitas Indonesia.
- Ibusuki, T. (2002). *Cleaning Atmospheric Environment, Chapter 8 in Photocatalysis: Science and Technology*. Tokyo: Kodansha Ltd.
- Ichiura, H., Kitaoka, T., & Tanaka, H. (2002). Preparation of Composite TiO<sub>2</sub>-zeolite Sheets Using a Papermaking Technique and Their Application to Environmental Improvement. *Journal of Materials Science*, No. 37, pp. 2937-2941.
- Kachina, Anna. (2008). Gas-Phase Photocatalytic Oxidation of Volatile Organic Compound. *Thesis*. Lappeenranta University of Technology. Finland
- Kinman, Riley N. (2007). *Gas and Particulate Removal by XCaper Civilian and Professional Mask Filters*. Research Report Prepared for XCaper Industri, LLC. USA: Erlanger
- Knaebel, Kent S. (n.d.). *Adsorbent Selection*. Dublin: Adsorption Research, Inc.
- Laporan Status Lingkungan Hidup Propinsi DKI Jakarta. 2008. Pemda DKI Jakarta.
- Lin, Yu Ming, et.al. (2006). Photocatalytic Activity for Degradation of Nitrogen Oxides over Visible Light Responsive Titania-Based Photocatalysts. *Environmental Science & Technology*, Vol.40, No.5, pp. 1616-1621.

- Maggos, T. (2005). Application of photocatalytic technology for NO<sub>x</sub> removal. Greece: *Department of Energy Resources Engineering, University of West Macedonia*.
- Marayoga, Troeno. (2010, March 4). *Polusi Udara di Jakarta*. March, 24<sup>th</sup>, 2010. <http://www.kabarindonesia.com>
- Matsuoka, M., dan Anpo, M. (2003). Local structures, excited states, and photocatalytic reactivities of highly dispersed catalyst constructed within zeolit. *Journal of Photochem and Photobiology C: Photochem, Rev.* 3, pp. 225-252.
- Maurin, G., & Llewellyn, P. (2007). Gas Adsorption in Zeolites and Related Materials.
- Muraza, O., and Jacobus C. Jansen. (2004). An Exploratory Study for Zeolite Membrane Application in Hydrocarbon Separation. *Journal of the Indonesian Oil and Gas Community*.
- Novalsyah, Hafidz. (2009, October 12). *Polusi Udara Jakarta Terburuk Ketiga di Dunia*. March, 24<sup>th</sup>, 2010. <http://www.mediaindonesia.com>
- Oktavia, Dwi. (2011). Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-Ray. April, 14<sup>th</sup>, 2011. <http://dwioktavia.wordpress.com>
- Pichal, P., et. al. (2000). Purification/deodorization of Indoor Air and Gaseous Effluents by TiO<sub>2</sub> Photocatalyst. *Catalyst Today*, No.63, pp. 363-369
- Pichat, P. (2007). *Passive Photocatalytic Oxidation of Air Pollution*. Lawrence Berkeley National Laboratory Workshop. June, 29<sup>th</sup>, 2007.
- Prasadja. (2008, March 14). *Anti Polusi Terbaik*. March, 24<sup>th</sup>, 2010. [www.sepedaku.com/sepedaku/commuting](http://www.sepedaku.com/sepedaku/commuting)
- Qingping, Wu. (2005). *NOx Photocatalyst*. June, 12<sup>th</sup>, 2011. <http://www.cheme.tudelf.nl>
- Ruthven, D.M. (n.d.). *Principles of Adsorption and Adsorption Process*. Wiley-Interscience Publication.
- Saepudin, A., dan Tri Admono. (2005). Kajian Pencemaran Udara Akibat Emisi Kendaraan Bermotor di DKI Jakarta. *Jurnal Teknologi Indonesia* 28

- Salvado, I., Hargreaves, D.M., and Gianluca Li Puma. (2007). Evaluation of the Intrinsic Photocatalytic Oxidation Kinetics of Indoor Air Pollutans. *Environmental Science & Technology*, Vol. 41, No.6, pp. 2028-2035.
- Sangman, H., Myung, C.L., Wonyong, C. (2003). Highly Enhanced Photocatalytic Oxidation of CO on Titania Deposited with Pt Nanoparticles: Kinetic and Mechanism. *Elsevier Applied Catalysis B: Environmental*, No. 46, pp. 49-63
- Slamet, Bismo, S., & Arbianti R. (2007). Modifikasi Zeolit Alam dan Karbon Aktif dengan TiO<sub>2</sub> serta Aplikasinya sebagai Bahan Adsorben dan Fotokatalis untuk Degradasi Polutan Organik. *Laporan Hibah Bersaing*.
- Soehodo, Sutanto, & Taufick, Erni S. (2005). Study on Correlation Between Motor Vehicle Emission and Public Health. *Proceedings of The Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 5, pp.1841-1856
- Sukarto. (2006). *Penyakit akibat polusi Jakarta* . March, 24<sup>th</sup>, 2010. <http://www.forumkami.com/forum/kesehatan>.
- Sumedi. (2006, January 21). *Karbon Monoksida dan Debu di Jakarta Melebihi Ambang Batas*. March, 24<sup>th</sup>, 2010. [www.suarapembaruan.com](http://www.suarapembaruan.com)
- Suwardi, & Mulyanto, Budi. (2010). Prospek Zeolit Sebagai Bahan Penyerap dalam Remediasi Lahan Bekas Tambang. *Presentasi*. Departemen Ilmu Tanah dan Sumber Daya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB.
- Tezel, F.H., and G. Apolonatos. (1993). *Gas Sep. Purif.* 7 (1), 11.
- Toma, F.L., et.al. (2004). Photocatalytic Removal of Nitrogen Oxides via Titanium Dioxide. *Environ Chem Lett*, No.2, pp. 117-121.
- Torimoto, T., et.al. (1996). Effects of Adsorbent Used as Supports for Titanium Dioxide Loading on Photocatalytic Degradation of Propyzamide. *Environmental Science. Technology*, No.30, pp. 1275-1281.
- Ubaidillah. (2009). *70% Polusi Jakarta Berasal dari Kendaraan Bermotor*. March, 24<sup>th</sup>, 2010. <http://www.kontan.co.id>.
- USC Viterbi School of Engineering. (2011). *Lecture: Pollutant Formation and Remediation*.
- Venturini, L., Baachi, I., and Mattco Baachi. (2009). Research, Design, and Development of a Photocatalytic Asphalt Pavement. *Enviroad*

- W.C. Oh, J.S. Bae, and M.L. Chen. (2007). Formation of TiO<sub>2</sub> Composites on Activated Carbon Modified by Nitric Acid and Their Photocatalytic Activity. *Journal of Ceramic Processing Research*, p. 316.
- Widyawati, Novi. (2010). *Fabrikasi Material*. June, 8<sup>th</sup>, 2011. <http://noviwidi.blog.uns.ac.id/fabrikasi-material>
- Woll, Christof. (n.d.) Probing UV Photooxidation on Oxide Surfaces. June, 8<sup>th</sup>, 2011. <http://spie.org/x43651.xml>
- Wonyong Choi, Jaesang Lee, Soonhyun Kim, Sangman Hwang, Myung Chur Lee, and Tai Kyu Lee. (2003). Nano Pt Particles on TiO<sub>2</sub> and Their Effects on Photocatalytic Reactivity. *Journal of Industrial Engineering Chemistry*, Vol. 9, No.1, pp. 96-101
- Yuli. (2010, January 1). Cegah Batuk Akibat Polusi dengan Masker dan Obat. March, 24<sup>th</sup>, 2010. [www.universitasnegerimalang.com/forum](http://www.universitasnegerimalang.com/forum)

## Lampiran A. Data hasil penelitian

Tabel A. 1 Data hasil running “Tanpa Adsorben dan Tanpa Fotokatalis”

t = menit	KONSENTRASI (ppm)					
	[CO]	[CO]/[CO] <sub>o</sub>	[HC]	[HC]/[HC] <sub>o</sub>	[NO <sub>x</sub> ]	[NO <sub>x</sub> ]/[NO <sub>x</sub> ] <sub>o</sub>
0	7800	1	355	1	4	1
10	7000	0,897436	348	0,980282	4	1
20	6700	0,858974	336	0,946479	0	0
30	6500	0,833333	329	0,926761	4	1
40	6400	0,820513	318	0,895775	4	1
50	6300	0,807692	316	0,890141	0	0
60	6300	0,807692	310	0,873239	4	1
80	6500	0,833333	309	0,870423	4	1
100	6400	0,820513	312	0,878873	0	0
120	6400	0,820513	310	0,873239	4	1
140	6700	0,858974	308	0,867606	4	1
160	6800	0,871795	300	0,84507	4	1
180	6700	0,858974	297	0,83662	4	1

Tabel A. 2 Data hasil running pada TiO<sub>2</sub> dengan Berat Total TiO<sub>2</sub> = 10 g

t = menit	KONSENTRASI (ppm)					
	[CO]	[CO]/[CO] <sub>o</sub>	[HC]	[HC]/[HC] <sub>o</sub>	[NO <sub>x</sub> ]	[NO <sub>x</sub> ]/[NO <sub>x</sub> ] <sub>o</sub>
0	2800	1	116	1	4	1
10	1800	0,642857	81	0,698276	4	1
20	1800	0,642857	82	0,706897	4	1
30	1800	0,642857	103	0,887931	4	1
40	900	0,321429	59	0,508621	0	0
50	900	0,321429	63	0,543103	0	0
60	900	0,321429	68	0,413793	0	0
80	600	0,214286	45	0,387931	0	0
100	300	0,107143	40	0,344828	0	0
120	200	0,071429	26	0,224138	0	0
140	200	0,071429	31	0,267241	0	0
160	0	0	15	0,12931	0	0
180	0	0	23	0,198276	0	0

“Lampiran A (Lanjutan)”

**Tabel A. 3 Data hasil running pada AC dengan berat total AC = 10 g**

t = menit	KONSENTRASI (ppm)					
	CO	[CO]/[CO] <sub>o</sub>	HC	[HC]/[HC] <sub>o</sub>	NO <sub>x</sub>	[NO <sub>x</sub> ]/[NO <sub>x</sub> ] <sub>o</sub>
0	7800	1	432	1	4	1
10	5900	0,75641	211	0,488426	4	1
20	5500	0,705128	219	0,506944	4	1
30	4400	0,564103	165	0,381944	4	1
40	4400	0,564103	174	0,402778	0	0
50	4400	0,564103	171	0,395833	0	0
60	3500	0,448718	121	0,280093	0	0
80	3400	0,435897	126	0,291667	0	0
100	2800	0,358974	91	0,210648	0	0
120	2400	0,307692	89	0,206019	0	0
140	2300	0,294872	75	0,173611	0	0
160	2000	0,25641	69	0,159722	0	0
180	1800	0,230769	57	0,131944	0	0

**Tabel A. 4 Data hasil running pada ZAL dengan berat total ZAL = 10 g**

t = menit	KONSENTRASI (ppm)					
	CO	[CO]/[CO] <sub>o</sub>	HC	[HC]/[HC] <sub>o</sub>	NO <sub>x</sub>	[NO <sub>x</sub> ]/[NO <sub>x</sub> ] <sub>o</sub>
0	7800	1	405	1	4	1
10	6600	0,846154	309	0,762963	4	1
20	6500	0,833333	277	0,683951	0	0
30	4800	0,615385	197	0,48642	0	0
40	4400	0,564103	190	0,469136	0	0
50	4200	0,538462	181	0,446914	0	0
60	3400	0,435897	142	0,350617	0	0
80	3000	0,384615	133	0,328395	0	0
100	2600	0,333333	117	0,288889	0	0
120	2000	0,25641	98	0,241975	0	0
140	2000	0,25641	97	0,239506	0	0
160	1600	0,205128	89	0,219753	0	0
180	1500	0,192308	86	0,212346	0	0

## “Lampiran A (Lanjutan)”

**Tabel A. 5 Data hasil running pada TiO<sub>2</sub> 0%+AC 9,1%+ZAL 90,9%  
dengan berat total katalis komposit adalah 10 g**

t = menit	KONSENTRASI (ppm)					
	[CO]	[CO]/[CO] <sub>o</sub>	[HC]	[HC]/[HC] <sub>o</sub>	[NO <sub>x</sub> ]	[NO <sub>x</sub> ]/[NO <sub>x</sub> ] <sub>o</sub>
0	7800	1	390	1	9	1
10	7400	0,948718	304	0,779487	4	0,444444
20	6800	0,871795	268	0,687179	4	0,444444
30	5200	0,666667	201	0,515385	0	0
40	4600	0,589744	184	0,471795	0	0
50	4100	0,525641	169	0,433333	0	0
60	3300	0,423077	144	0,369231	0	0
80	3100	0,397436	137	0,351282	0	0
100	2400	0,307692	114	0,292308	0	0
120	1800	0,230769	99	0,253846	0	0
140	1500	0,192308	92	0,235897	0	0
160	1100	0,141026	81	0,207692	0	0
180	1000	0,128205	80	0,205128	0	0

**Tabel A. 6 Data hasil running pada TiO<sub>2</sub> 10%+AC 8,2%+ZAL 81,8%  
dengan berat total katalis komposit adalah 10 g**

t = menit	KONSENTRASI (ppm)					
	[CO]	[CO]/[CO] <sub>o</sub>	[HC]	[HC]/[HC] <sub>o</sub>	[NO <sub>x</sub> ]	[NO <sub>x</sub> ]/[NO <sub>x</sub> ] <sub>o</sub>
0	4200	1	201	1	4	1
10	4200	1	183	0,910448	4	0
20	4200	1	181	0,900498	0	0
30	2500	0,595238	103	0,512438	0	0
40	2300	0,547619	107	0,532338	0	0
50	2100	0,5	104	0,517413	0	0
60	1200	0,285714	70	0,348259	0	0
80	1200	0,285714	73	0,363184	0	0
100	700	0,166667	51	0,253731	0	0
120	500	0,119048	46	0,228856	0	0
140	500	0,119048	49	0,243781	0	0
160	300	0,071429	33	0,164179	0	0
180	300	0,071429	34	0,169154	0	0

## “Lampiran A (Lanjutan)”

**Tabel A. 7 Data hasil running pada TiO<sub>2</sub> 30%+AC 6,4%+ZAL 64,6%  
dengan berat total katalis komposit adalah 10 g**

t = menit	KONSENTRASI (ppm)					
	[CO]	[CO]/[CO] <sub>o</sub>	[HC]	[HC]/[HC] <sub>o</sub>	[NO <sub>x</sub> ]	[NO <sub>x</sub> ]/[NO <sub>x</sub> ] <sub>o</sub>
0	4200	1	191	1	4	1
10	4100	0,97619	177	0,926702	4	1
20	3900	0,928571	171	0,895288	0	0
30	2700	0,642857	114	0,596859	0	0
40	2500	0,595238	120	0,628272	0	0
50	2400	0,571429	120	0,628272	0	0
60	1800	0,428571	89	0,465969	0	0
80	1600	0,380952	95	0,497382	0	0
100	1300	0,309524	83	0,434555	0	0
120	1000	0,238095	69	0,361257	0	0
140	900	0,214286	72	0,376963	0	0
160	700	0,166667	59	0,308901	0	0
180	500	0,119048	58	0,303665	0	0

**Tabel A. 8 Data hasil running pada TiO<sub>2</sub> 50%+AC 4,5%+ZAL 45,5%  
dengan berat total katalis komposit adalah 10 g**

t = menit	KONSENTRASI (ppm)					
	[CO]	[CO]/[CO] <sub>o</sub>	[HC]	[HC]/[HC] <sub>o</sub>	[NO <sub>x</sub> ]	[NO <sub>x</sub> ]/[NO <sub>x</sub> ] <sub>o</sub>
0	7800	1	355	1	4	1
10	7700	0,987179	315	0,887324	4	1
20	7500	0,961538	298	0,839437	0	0
30	5600	0,717949	213	0,6	0	0
40	5300	0,679487	206	0,580282	0	0
50	5100	0,653846	206	0,580282	0	0
60	3800	0,487179	240	0,676056	0	0
80	3600	0,461538	208	0,585915	0	0
100	3100	0,397436	180	0,507042	0	0
120	2500	0,320513	165	0,464789	0	0
140	2400	0,307692	154	0,433803	0	0
160	1900	0,24359	131	0,369014	0	0
180	1400	0,179487	119	0,335211	0	0

## “Lampiran A (Lanjutan)”

**Tabel A. 9** Data hasil running dengan variasi [CO]<sub>o</sub>, [HC]<sub>o</sub>, [NO<sub>x</sub>]<sub>o</sub>  
dengan berat total katalis komposit adalah 6,73 g

t = menit	KONSENTRASI (ppm)					
	[CO]	[CO]/[CO] <sub>o</sub>	[HC]	[HC]/[HC] <sub>o</sub>	[NO <sub>x</sub> ]	[NO <sub>x</sub> ]/[NO <sub>x</sub> ] <sub>o</sub>
0	2300	1	127	1	4	1
10	1900	0,826087	107	0,84252	0	0
20	1800	0,782609	100	0,787402	0	0
30	1600	0,695652	105	0,826772	0	0
40	1600	0,695652	90	0,708661	0	0
50	1100	0,478261	92	0,724409	0	0
60	1000	0,434783	79	0,622047	0	0
80	800	0,347826	62	0,488189	0	0
100	800	0,347826	58	0,456693	0	0
120	700	0,304348	40	0,314961	0	0
140	600	0,26087	38	0,299213	0	0
160	600	0,26087	25	0,19685	0	0
180	500	0,217391	14	0,110236	0	0

**Tabel A. 10** Data hasil running dengan variasi [CO]<sub>o</sub>, [HC]<sub>o</sub>, [NO<sub>x</sub>]<sub>o</sub>  
dengan berat total katalis komposit adalah 6,73 g

t = menit	KONSENTRASI (ppm)					
	[CO]	[CO]/[CO] <sub>o</sub>	[HC]	[HC]/[HC] <sub>o</sub>	[NO <sub>x</sub> ]	[NO <sub>x</sub> ]/[NO <sub>x</sub> ] <sub>o</sub>
0	4200	1	410	1	9	1
10	3700	0,880952	347	0,846341	9	1
20	3400	0,809524	294	0,717073	4	0,444444
30	3000	0,714286	248	0,604878	4	0,444444
40	2800	0,666667	224	0,546341	4	0,444444
50	2500	0,595238	209	0,509756	4	0,444444
60	2100	0,5	194	0,473171	0	0
80	2000	0,47619	183	0,446341	0	0
100	1800	0,428571	160	0,390244	0	0
120	1500	0,357143	152	0,370732	0	0
140	1000	0,238095	134	0,326829	0	0
160	800	0,190476	127	0,309756	0	0
180	700	0,166667	121	0,295122	0	0

“Lampiran A (Lanjutan)”

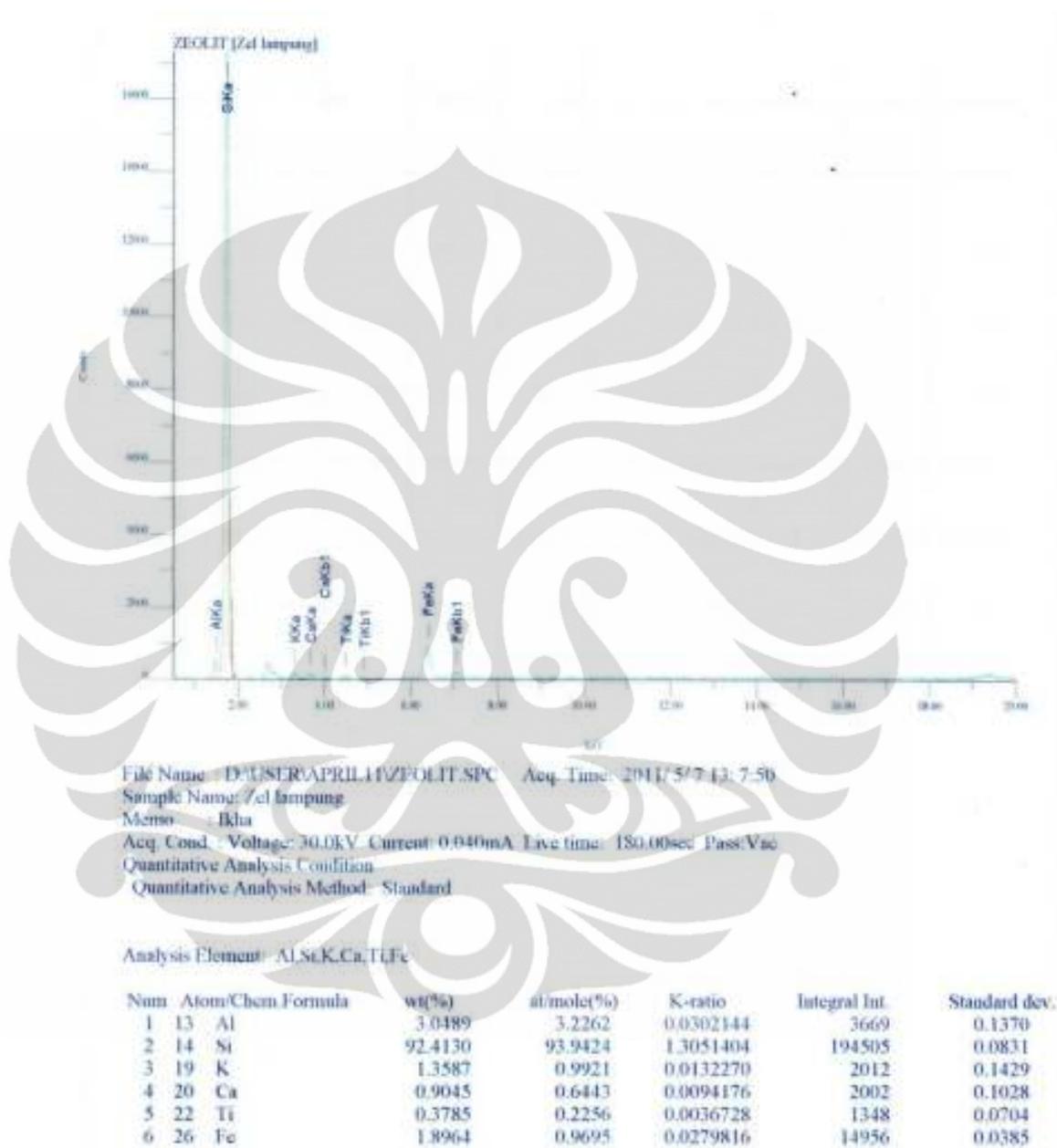
**Tabel A. 11 Data hasil running dengan variasi [CO]<sub>o</sub>, [HC]<sub>o</sub>, [NO<sub>x</sub>]<sub>o</sub>  
dengan berat total katalis komposit adalah 6,73 g**

t = menit	KONSENTRASI (ppm)					
	[CO]	[CO]/[CO] <sub>o</sub>	[HC]	[HC]/[HC] <sub>o</sub>	[NO <sub>x</sub> ]	[NO <sub>x</sub> ]/[NO <sub>x</sub> ] <sub>o</sub>
0	14600	1	438	1	24	1
10	13900	0,952055	399	0,910959	24	1
20	13500	0,924658	307	0,700913	24	1
30	11800	0,808219	281	0,641553	14	0,583333
40	10300	0,705479	247	0,563927	14	0,583333
50	9600	0,657534	233	0,531963	4	0,166667
60	8700	0,59589	221	0,504566	4	0,166667
80	7200	0,493151	208	0,474886	4	0,166667
100	6800	0,465753	201	0,458904	0	0
120	5700	0,390411	180	0,410959	0	0
140	5400	0,369863	174	0,39726	0	0
160	5200	0,356164	163	0,372146	0	0
180	4800	0,328767	152	0,347032	0	0

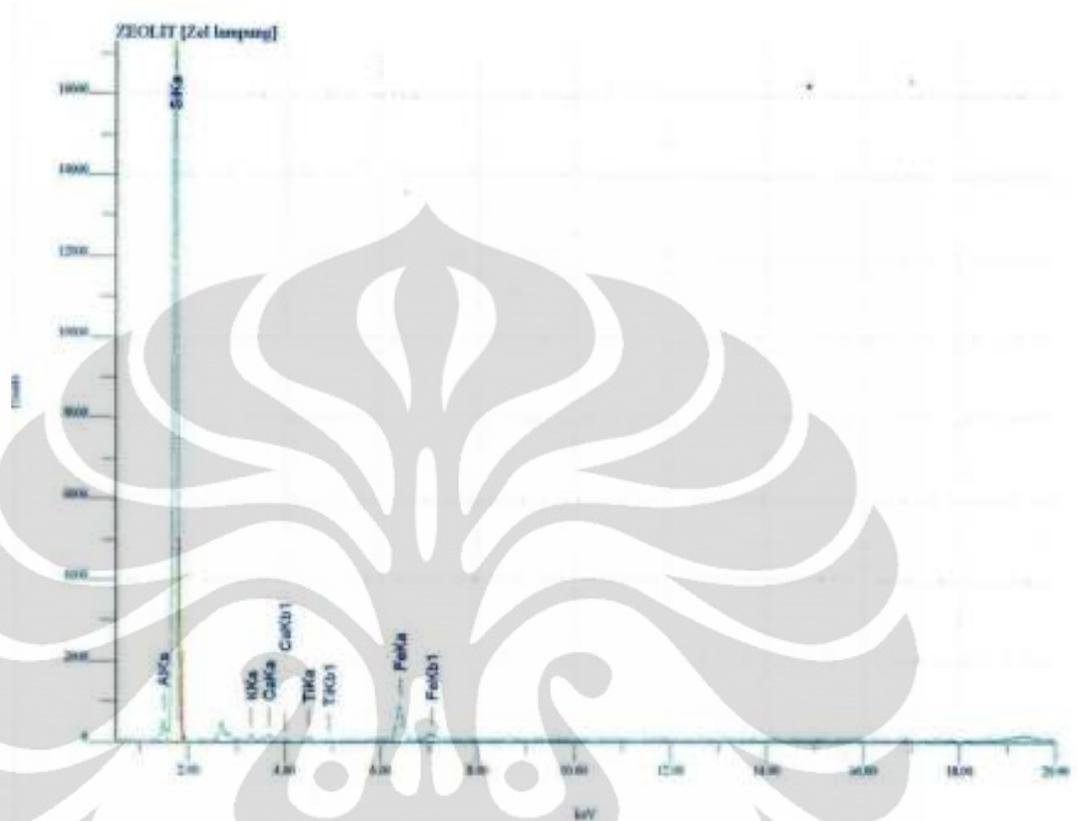
**Tabel A. 12** Tabel perhitungan % eliminasi polutan saat  $t=80$  menit pada berbagai jenis katalis dengan berat total katalis 10 g

Jenis Katalis	Konsentrasi Polutan (ppm)						% Eliminasi Polutan		
	[CO] <sub>0</sub>	[CO] <sub>80</sub>	[NO <sub>x</sub> ] <sub>0</sub>	[NO <sub>x</sub> ] <sub>80</sub>	[HC] <sub>0</sub>	[HC] <sub>80</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	HC
Tanpa Adsorben & Tanpa Fotokatalis	7800	6500	4	4	355	309	0,00	0,00	0,00
TiO <sub>2</sub> 0% +AC 9,1 %+ZAL 90,9 %	7800	3100	9	0	390	137	43,59	100,00	51,91
TiO <sub>2</sub> 10% +AC 8,2 %+ZAL 81,8 %	4200	1200	4	0	201	73	54,76	100,00	50,72
TiO <sub>2</sub> 30% +AC 6,4 %+ZAL 64,6 %	4200	1600	4	0	191	95	45,24	100,00	37,30
TiO <sub>2</sub> 50% +AC 4,5 %+ZAL 45,5 %	7800	3600	4	0	355	157	37,18	100,00	42,82
TiO <sub>2</sub> 100% +AC 0% +ZAL 0%	7800	600	4	0	116	45	75,64	100,00	48,25

### Lampiran B. Hasil Karakterisasi XRF Zeolit Alam Lampung Hasil *Treatment*



## “Lampiran B (Lanjutan)”

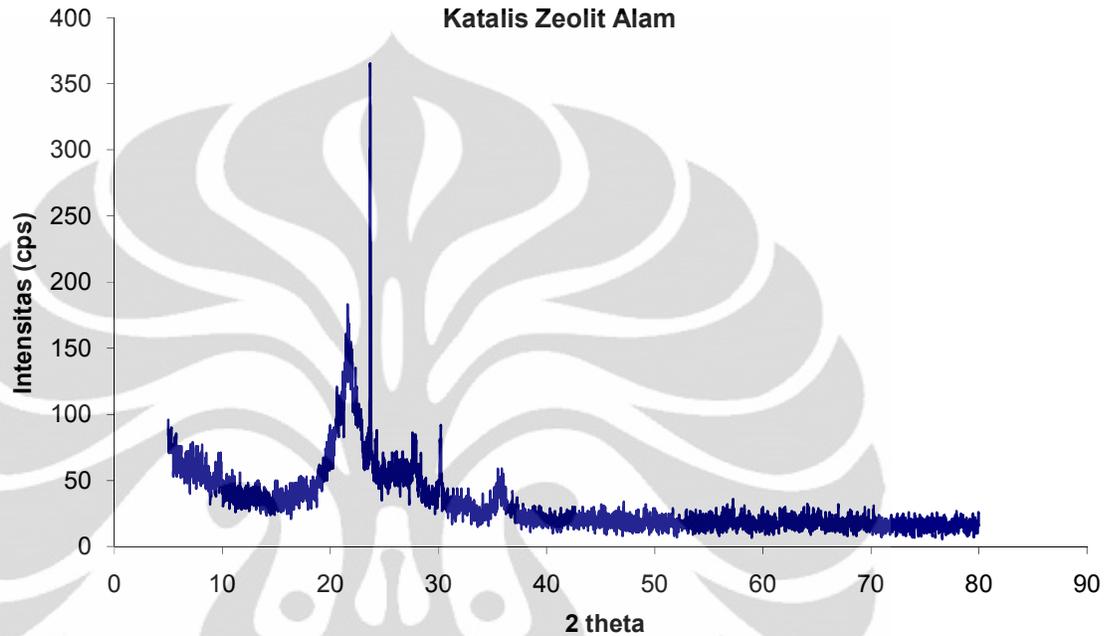


File Name : D:\USER\APRIL11\ZEOLIT.SPC Acq. Time: 2011/ 5/ 7 13: 7:50  
 Sample Name: Zel lumpung  
 Memo : Ikha  
 Acq. Cond. : Voltage: 30.0kV Current: 0.040mA Live time: 180.00sec Pass:Vae  
 Quantitative Analysis Condition  
 Quantitative Analysis Method: Standard

Analysis Element: ALSi,K,Ca,Ti,Fe

Num	Atom/Chem. Formula	wt(%)	at/mole(%)	K-ratio	Integral Int.	Standard dev
1	13 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.4103	2.0522	0.0302144	3669	0.1533
2	14 SiO <sub>2</sub>	94.7729	96.7810	1.3051404	194505	0.0852
3	19 K <sub>2</sub> O	0.4933	0.3213	0.0132270	2012	0.0519
4	20 CaO	0.3753	0.4106	0.0094176	2002	0.0426
5	22 TiO <sub>2</sub>	0.1838	0.1412	0.0036728	1348	0.0342
6	26 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.7644	0.2937	0.0279816	14956	0.0155

**Lampiran C. Hasil XRD Zeolit Alam Lampung Hasil *Treatment***



Peak Search Report (13 Peaks, Max P/N = 7.1)

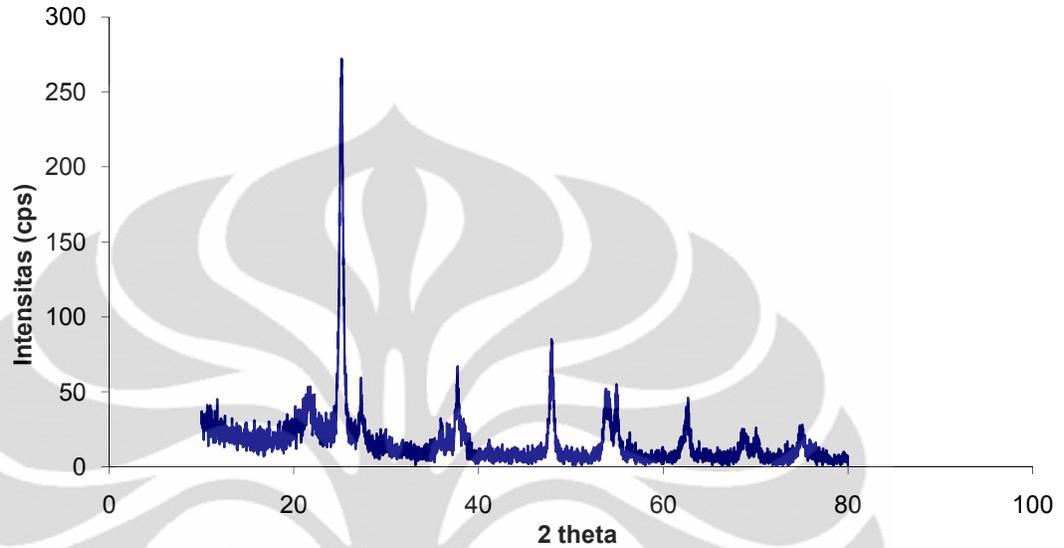
[MUTHIA-01.RD] KATALIS ZEOLIT ALAM

PEAK: 45-pts/Quartic Filter, Threshold=2.0, Cutoff=1.0%, BG=1/1.5, Peak-Top=Centroid Fit

2-Theta	d(A)	BG	Height	I%	Area	I%	FWHM
9,716	9,0957	42	21	8,2	648	10,3	0,525
17,284	5,1262	33	15	5,9	772	12,3	0,875
21,074	4,2122	79	30	11,7	2452	39,2	1,389
21,654	4,1007	67	92	35,9	6263	100	1,157
22,257	3,9908	85	32	12,5	1643	26,2	0,873
23,706	3,7502	67	256	100	1494	23,9	0,099
26,681	3,3384	47	20	7,8	1479	23,6	1,257
27,874	3,1981	44	35	13,7	1049	16,7	0,51
28,422	3,1376	44	21	8,2	242	3,9	0,196
30,163	2,9604	30	51	19,9	1033	16,5	0,344
35,575	2,5215	24	28	10,9	1240	19,8	0,753
35,939	2,4968	21	29	11,3	1760	28,1	1,032
49,25	1,8486	15	12	4,7	412	6,6	0,584

Lampiran D. Hasil XRD Katalis Komposit TiO<sub>2</sub> 50%-AC 4,5%-ZAL 45,5%

Sample TiO<sub>2</sub> 50%-AC 4,5%-ZAL 45,5%



Peak Search Report (17 Peaks, Max P/N = 7.6)

[IKHA-01.RD] TiO<sub>2</sub> 50%

PEAK: 43-pts/Quartic Filter, Threshold=2.0, Cutoff=1.0%, BG=1/1.5, Peak-Top=Centroid Fit

2-Theta	d(A)	BG	Height	I%	Area	I%	FWHM
11,698	7,5589	19	13	5,2	502	7,7	0,656
21,747	4,0834	23	22	8,8	1287	19,7	0,994
21,747	4,0834	23	22	8,8	1287	19,7	0,994
22,141	4,0115	22	16	6,4	1201	18,4	1,276
25,147	3,5384	21	250	100	6539	100	0,445
27,33	3,2606	18	32	12,8	716	10,9	0,38
35,945	2,4963	10	14	5,6	446	6,8	0,542
37,718	2,383	10	49	19,6	1835	28,1	0,637
38,427	2,3406	10	15	6	768	11,7	0,87
47,905	1,8973	6	72	28,8	2084	31,9	0,492
53,819	1,702	12	34	13,6	1435	21,9	0,718
54,059	1,695	7	33	13,2	2142	32,8	1,103
54,903	1,6709	10	39	15,6	1489	22,8	0,649
62,596	1,4828	6	32	12,8	1288	19,7	0,684
68,638	1,3662	7	14	5,6	538	8,2	0,653
70,179	1,34	7	9	3,6	366	5,6	0,691
74,996	1,2654	6	20	8	896	13,7	0,762

Lampiran E. Hasil BET Zeolit Alam Hasil *Treatment*

Date: 05/18/2011

Page 1

Quantachrome Corporation  
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report  
 Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	2ALTreatment				
Description	TEKIM				
Comments					
Sample Weight	0.3322 g	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	jalet
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	24.0 hrs	Analysis Time	56.8 min
Cross-Sec Area	16.2 Å <sup>2</sup> /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	05/12/2011 15:31
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	AS977720.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pro-1.20
Station #	6				

## AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

## SURFACE AREA DATA

Multipoint BET	5.853E+01	m <sup>2</sup> /g
Langmuir Surface Area	9.000E+01	m <sup>2</sup> /g
t-Method External Surface Area	4.351E+01	m <sup>2</sup> /g
t-Method Micro Pore Surface Area	1.502E+01	m <sup>2</sup> /g
DR Method Micro Pore Area	8.224E+01	m <sup>2</sup> /g

## PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume	7.909E-03	cc/g
DR Method Micro Pore Volume	7.923E-02	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume	2.577E-02	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume	2.617E-02	cc/g

## PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width	9.248E+01	Å
DA Method Pore Diameter (Mode)	1.760E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode)	1.388E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode)	2.602E+01	Å

## DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF  
 Last Po Acquired 767.69 mm Hg  
 \* Additional Initialization Information Not Recorded.

BJH/DH Moving Average Size : 1

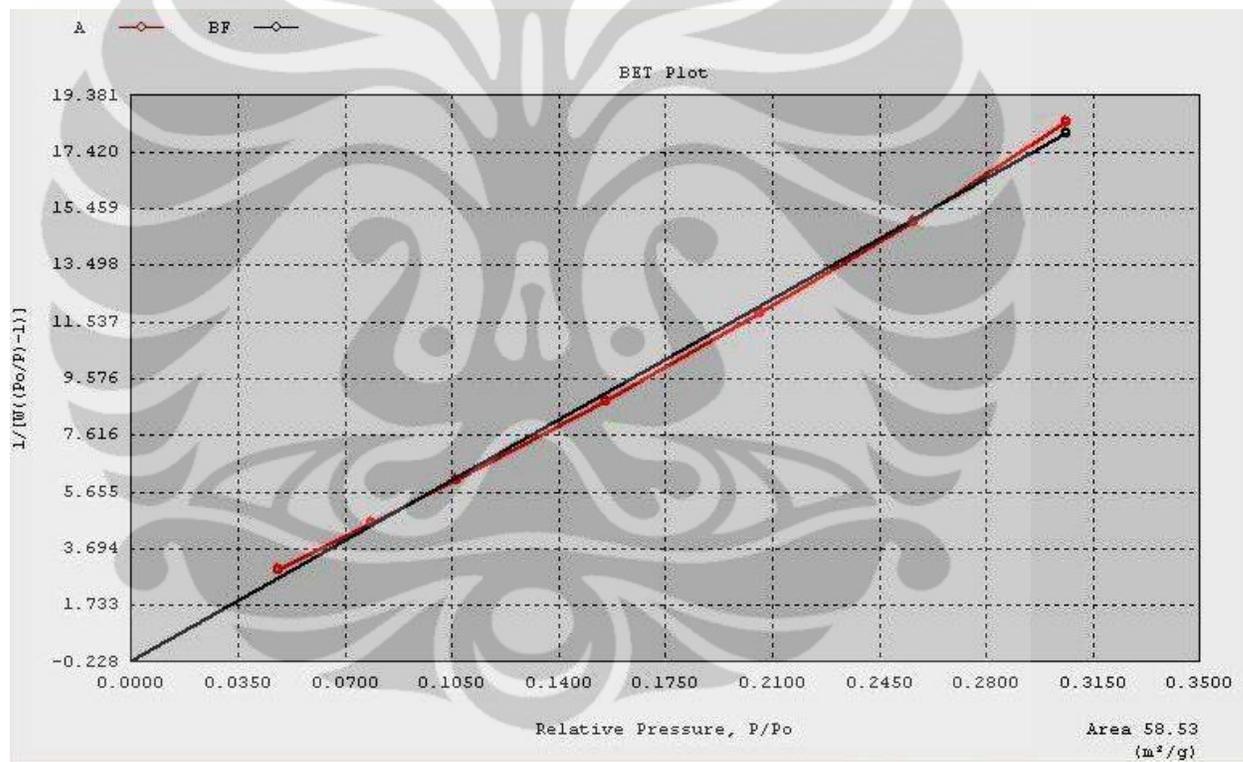
Interaction Constant (K) 2.9600 nm<sup>3</sup> x kJ/mol

## “Lampiran E (Lanjutan)”

Date: 05/10/2011

Quantachrome Corporation  
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report  
 Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	ZAltreatment			Operator	lajst
Description	TEKIM			Analysis Time	56.8 min
Comments				End of Run	05/12/2011 15:30
Sample Weight	0.3322 g	Outgas Temp	150.0 °C	File Name	AS977720.RAW
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	24.0 hrs	PC SW Version	Pre-1.20
Cross-Sec Area	16.2 Å <sup>2</sup> /molecule	P/Po Toler	3		
Nonideality	6.580E-05	Equil Time	2		
Molecular Wt.	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.00		
Station #	6				



### Lampiran F. Hasil BET Katalis Komposit TiO<sub>2</sub> 10%-AC 8,2%-ZAL 81,8%

Date: 06/01/2011

Page 1

Quantachrome Corporation  
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report  
Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	TiO <sub>2</sub> -ZAL-AC		
Description	Ika		
Comments			
Sample Weight	0.4655 g	Outgas Temp	150.0 °C
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	24.0 hrs
Cross-Sec Area	16.2 Å <sup>2</sup> /molecule	P/Po Toler	3
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.60
Station #	5	Operator	.jsjst
		Analysis Time	80.7 min
		End of Run	06/01/2011 12:0
		File Name	AS97740.RAW
		PC SW Version	Pre-1.20

#### AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

##### SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	4.950E+01	m <sup>2</sup> /g
Langmuir Surface Area.....	7.133E+01	m <sup>2</sup> /g
t-Method External Surface Area.....	4.367E+01	m <sup>2</sup> /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	1.839E+00	m <sup>2</sup> /g
DR Method Micro Pore Area.....	6.420E+01	m <sup>2</sup> /g

##### PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume.....	9.100E-04	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	7.282E-02	cc/g
RR Method Cumulative Pore Volume.....	1.892E-02	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	1.932E-02	cc/g

##### PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width.....	1.129E+02	Å
DR Method Pore Diameter (Mode).....	1.785E+02	Å
RR Method Pore Width (Mode).....	1.362E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	2.547E+01	Å

##### DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF  
Last Po Acquired 972.23 mm Hg  
Additional Initialization Information Not Recorded.

BUH/DI Moving Average Size : 1

Interaction Constant (R) 2.9600 nm<sup>3</sup> x kJ/mol

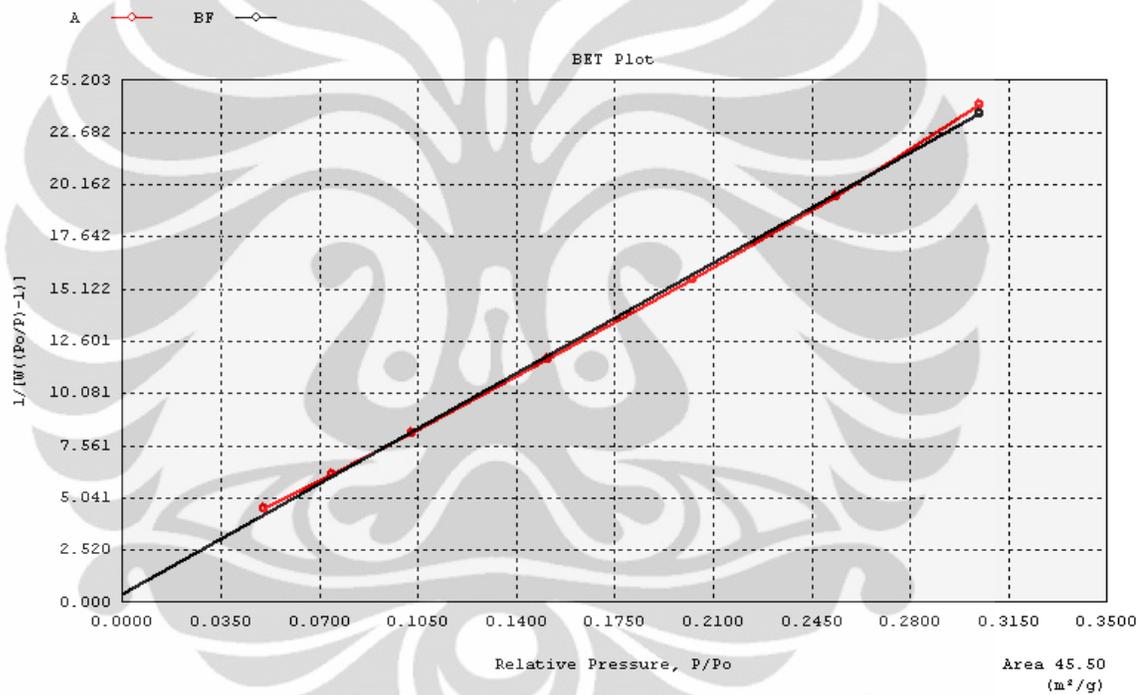
## “Lampiran F (Lanjutan)”

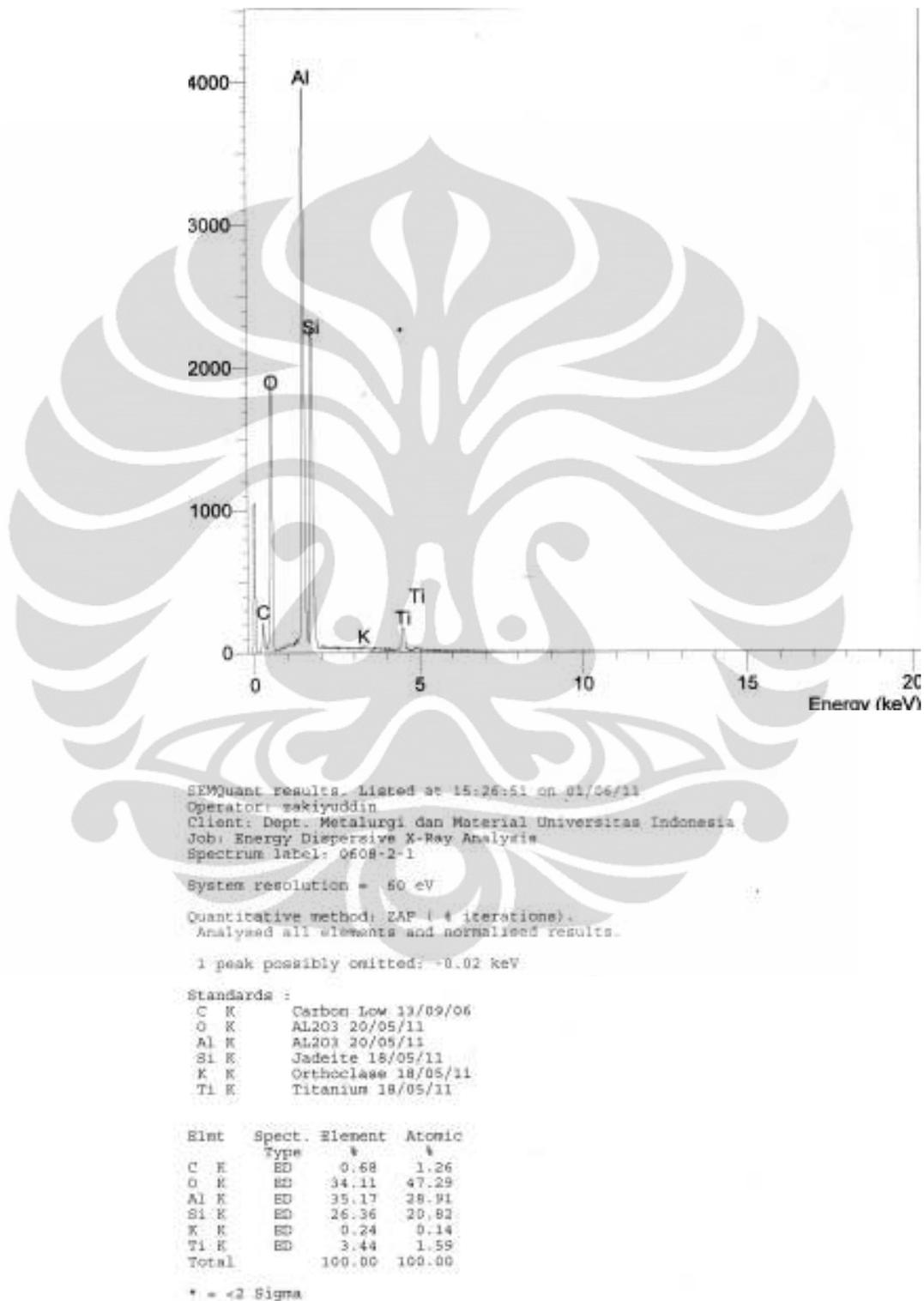
Date: 06/01/2011

Page 1

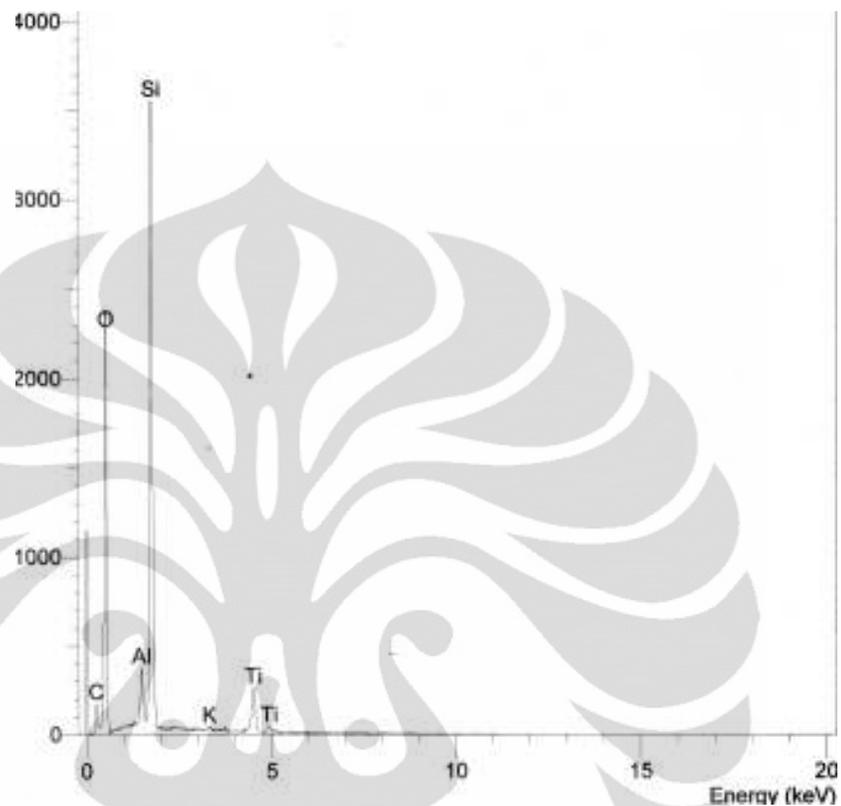
Quantachrome Corporation  
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report  
 Autosorb for Windows for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	TiO2-XAL-AC			Operator	.fajat
Description	Ika			Analysis Time	80.7 min
Comments				End of Run	06/01/2011 12:00
Sample Weight	0.4655 g	Outgas Temp	130.0 °C	File Name	AS977340.RAW
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	24.0 hrs	PC SW Version	Pre-1.20
Cross-Sec Area	16.2 Å <sup>2</sup> /molecule	P/Po Toler	3		
NonIdeality	6.590E-05	Equil Time	2		
Molecular Wt.	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40		
Station #	5				



Lampiran G. Hasil EDX Katalis Komposit  $\text{TiO}_2$  10%-AC 8,2%-ZAL 81,8 %

## “Lampiran G (Lanjutan)”



SEMQuant results. Listed at 15:26:58 on 01/06/11  
 Operator: zakiyuddin  
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia  
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 Spectrum label: 0608-2-2

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF ( 4 iterations).  
 Analysed all elements and normalised results.

1 peak possibly omitted: -0.02 keV

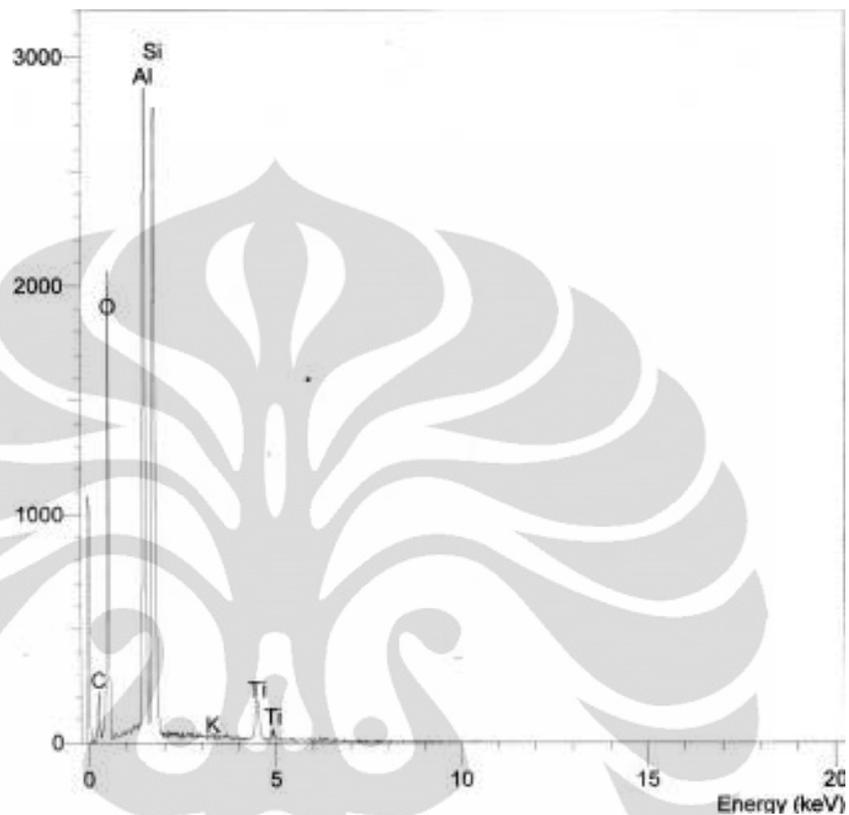
Standards :

C K	Carbon Low 13/09/06
O K	AL2O3 20/05/11
Al K	AL2O3 20/05/11
Si K	Jadeite 18/05/11
K K	Orthoclase 18/05/11
Ti K	Titanium 18/05/11

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	0.62	1.17
O K	ED	29.77	42.16
Al K	ED	45.42	38.15
Si K	ED	21.13	17.09
K K	ED	0.26	0.15
Ti K	ED	2.80	1.32
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma

## “Lampiran G (Lanjutan)”



SEIQuant results. Listed at 15:27:05 on 01/06/11  
 Operator: rakiyuddin  
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia  
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 Spectrum label: 0608-2-3

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF (4 iterations)  
 Analysed all elements and normalised results.

1 peak possibly omitted: -0.02 keV

Standards -

C	K	Carbon Low 13/09/06
O	K	AL2O3 20/05/11
Al	K	AL2O3 20/05/11
Si	K	Jadeite 18/05/11
K	K	Orthoclase 18/05/11
Ti	K	Titanium 18/05/11

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C	K	ED	0.61 1.03
O	K	ED	51.88 66.12
Al	K	ED	5.16 3.90
Si	K	ED	36.25 26.32
K	K	ED	0.42 0.22
Ti	K	ED	5.69 2.42
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma

## Lampiran H. Lembar Spesifikasi Gas Analyzer

		<b>GAS ANALYSIS</b>	
		<b>MULTIGAS 473BOX - 488 - 488PLUS</b>	
			
<b>DESCRIPTION</b>			
<p><b>Multigas 488 plus</b> is an infrared exhaust gas analyzers for gasoline engines. Tests conducted with 488 plus allow operators to measure CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> values according to which lambda coefficient is automatically calculated. The operator's work is facilitated since the rpm and oil temperature values can be kept under control at the same time. Kit is also available as an optional in order to measure NO<sub>x</sub>. The 488 plus allows the electronic lambda test, and has an lcd screen of 2x16cm.</p>			
<p><b>Multigas 488</b> is an infrared exhaust gas analyzer for gasoline engines. Tests conducted with 488 allow operators to measure CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> values according to which lambda coefficient is automatically calculated. The operator's work is facilitated since the rpm and oil temperature values can be kept under control at the same time. Kit is also available as an optional in order to measure NO<sub>x</sub>.</p>			
<p><b>Multigas 473</b> is an infrared exhaust gas analyser for gasoline engines with the same features as multigas 488 plus, and have to be used with Visa family or Flex.</p>			
<b>TECHNICAL SPECIFICATIONS</b>			
	<b>Mod. 488plus/ 473</b>	<b>Mod. 488</b>	
Mains power supply	110/220/240 V (±1.5%) 50±0.5 Hz (±3%)	110/220/240 V (±1.5%) 50±0.5 Hz (±3%)	
Measuring range	CO 0-99.9% Vol (res. 0.01) CO <sub>2</sub> 0-19.9% Vol (res. 0.1) HC 0-9999 ppm Vol (res. 1) O <sub>2</sub> 0-4% Vol (res. 0.01) O <sub>2</sub> 4-25.0% Vol (res. 0.1) Nox 0-2000 ppm Vol (res. 50ppb) Lambda 0.5-2.000 (res. 0.001)	CO 0-99.9% Vol (res. 0.01) CO <sub>2</sub> 0-19.9% Vol (res. 0.1) HC 0-9999 ppm Vol (res. 1) O <sub>2</sub> 0-4% Vol (res. 0.01) O <sub>2</sub> 4-25.0% Vol (res. 0.1) Nox 0-2000 ppm Vol (res. 50ppb) Lambda 0.5-2.000 (res. 0.001)	
Induction rpm counter	0-9990 rpm (res. 10)	0-9990 rpm (res. 10)	
Electronic Lambda test	YES	NO	
Operating temperature (°C)	5-40	5-40	
Measuring gas induction	8 l/min (approx)	8 l/min (approx)	
Response time	<10sec (probe length 3m)	<10sec (probe length 3m)	
Zero setting	Electronic and automatic	Electronic and automatic	
Condensate drain	Continuous and automatic	Continuous and automatic	
Warm up time	Max 15 min	Max 15 min	
Serial output	RS232	RS232	
Dimension	400x180x420 mm	400x180x420 mm	
Weight	13.5kg	13.5kg	

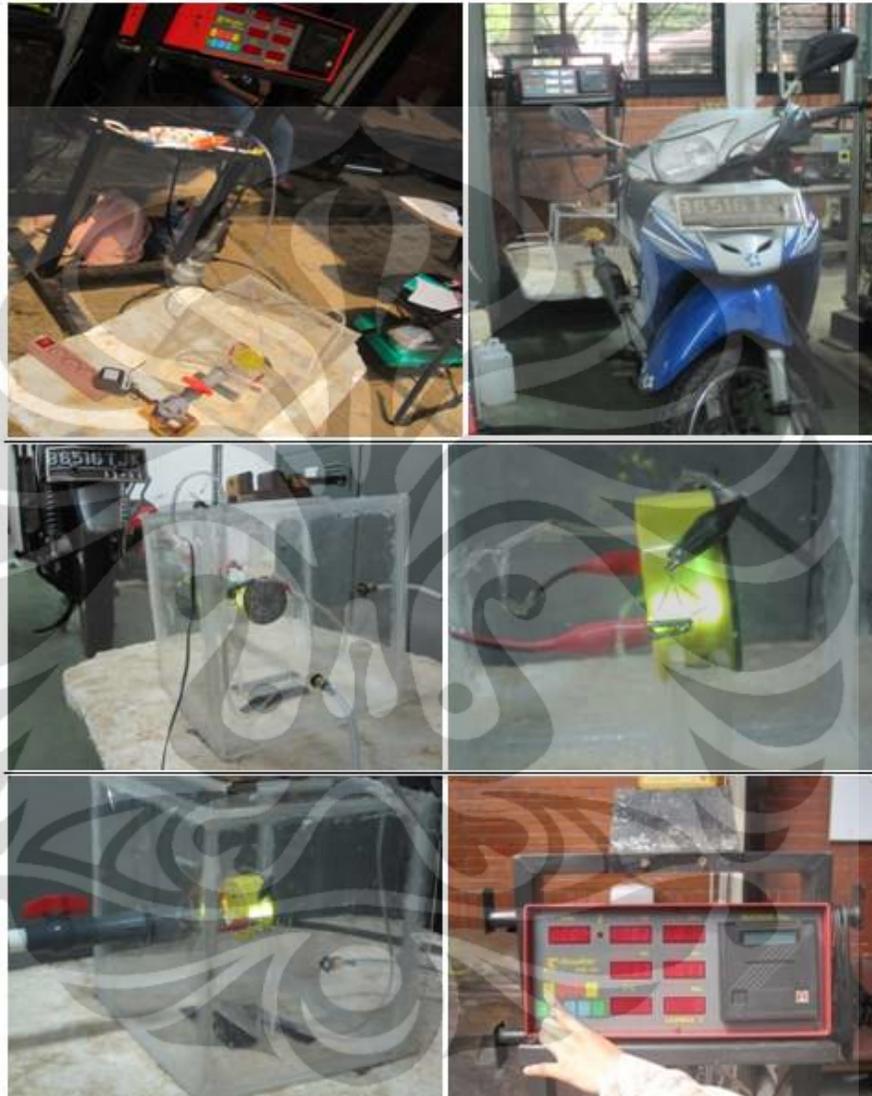
10/2004

**Lampiran I. Dokumentasi Kegiatan Penelitian****Gambar I.1. Treatment Zeolit Alam Lampung****Gambar I.2. Treatment Serat Nanas**

## “Lampiran I (Lanjutan)”

Gambar I.3. Sintesis Katalis Komposit dan *Coating* Katalis Komposit

## “Lampiran I (Lanjutan)”

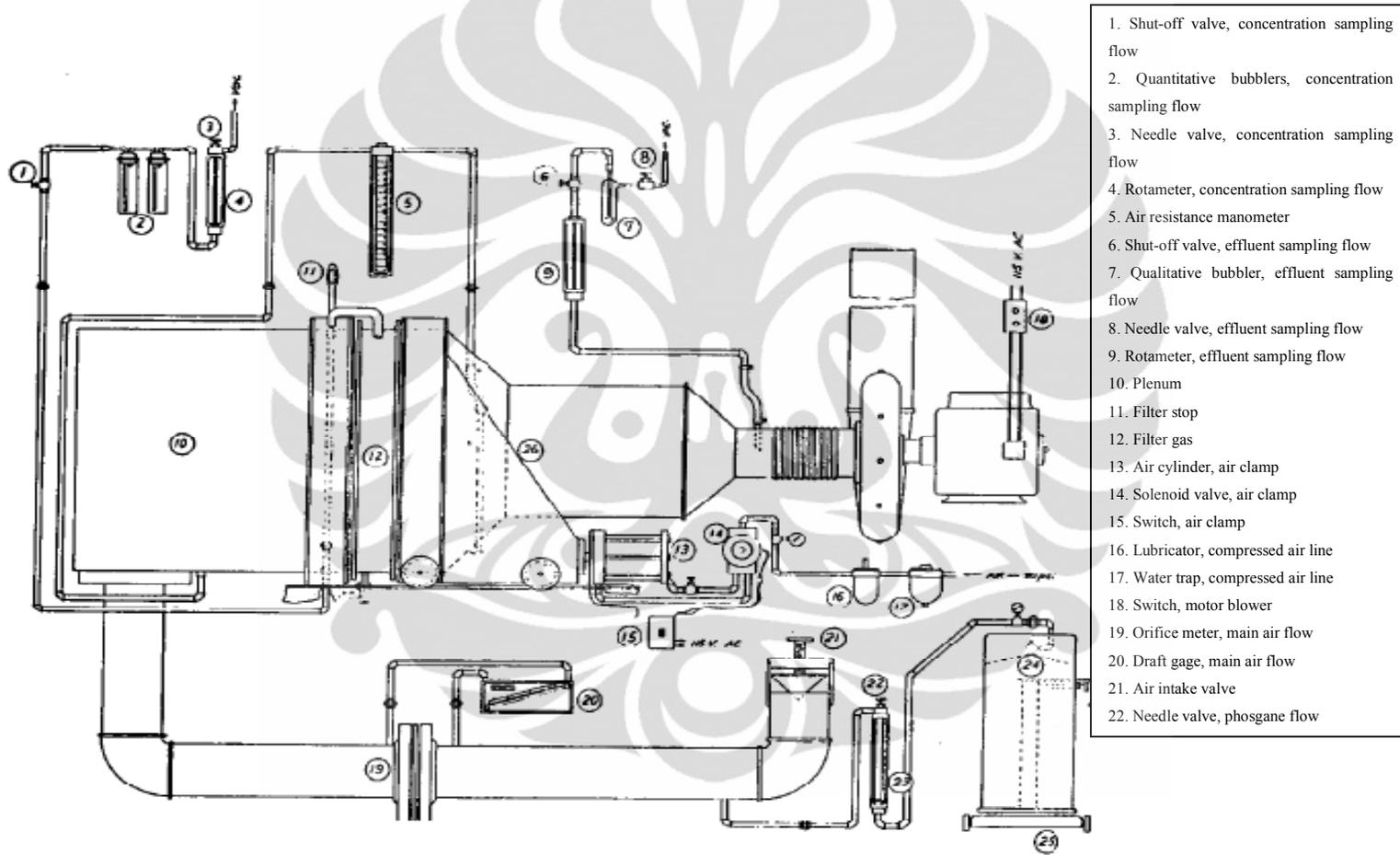


Gambar I.4. Uji Kinerja Masker

## Lampiran J. Metode Standar Pengujian Masker

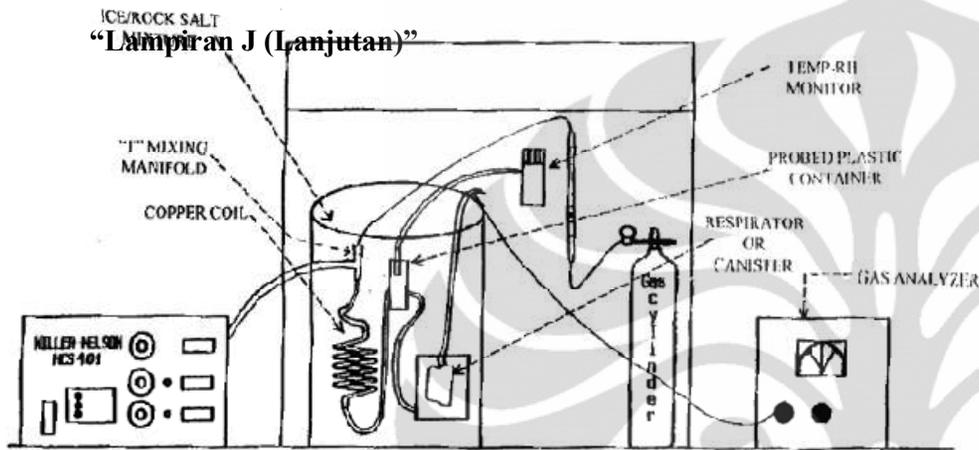
Untuk mengetahui efisiensi dari masker, dilakukan uji kinerja masker. Uji kinerja masker, biasanya dilakukan dengan metode standar pengujian, seperti contohnya dari ASTM yaitu ASTM F1471 dan ASTM F2100. Kemudian, NIOSH juga mengeluarkan metode standar pengujian tergantung pada gas apa yang akan di uji, misalnya untuk gas CO digunakan NIOSH RCT-APR-STP0034, sedangkan untuk gas Oksida Nitrogen digunakan NIOSH RCT-APR-STP0062. Pengujian masker secara keseluruhan bukanlah hal sederhana. Ada banyak sekali metode uji standar masker yang dapat diaplikasikan tergantung pada sifat apa yang akan diuji, misalnya pressure drop, breathing resistance, efisiensi filtrasi, dan juga penetrasi material masker. Karena dalam penelitian ini yang diuji dispesifikkan kepada efisiensi material masker saja, maka metode standar yang akan dirujuk juga hanya metode pengujian standar untuk material masker, yang biasa disebut sebagai filter masker. Seluruh ASTM yang telah disebutkan ternyata merujuk kepada metode uji standar dari Departemen Pertahanan Amerika Serikat, yaitu MIL-STD-282. Berikut ini adalah salah satu skema pengujian masker yang terdapat di dalam MIL-STD-282:

“Lampiran J (Lanjutan)”



MIL-STD-282  
28 May 1956

Gambar J.1. Skema Metode Standar Uji Masker berdasarkan MIL-STD-282



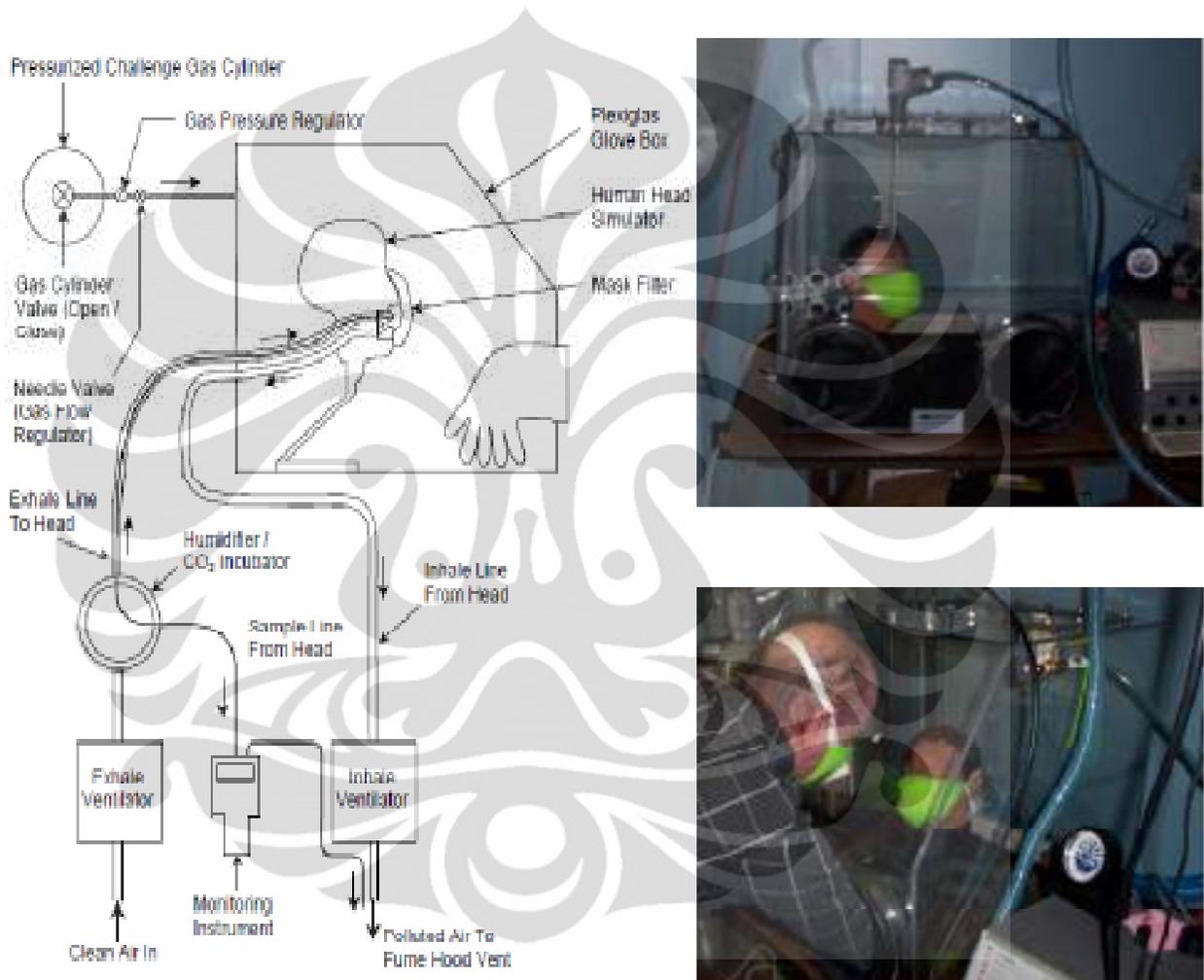
Gambar J.2. Metode Standar Uji Masker untuk Gas CO berdasarkan NIOSH RCT-APR-STP0034



Gambar J.3. Metode Standar Uji Masker untuk Gas CO berdasarkan NIOSH RCT-APR-STP0062

“Lampiran J (Lanjutan)”

Berikut ini juga adalah contoh metode uji masker yang telah dilakukan oleh peneliti di Amerika, Riley M. Kinman, PhD., PE.:



Gambar J.4. Skema Metode Uji Masker oleh Riley M. Kinman, PhD., PE.

### “Lampiran J (Lanjutan)”

Prosedur uji kinerja masker yang dilakukan oleh Kinman adalah sebagai berikut:

1. Pasang masker yang akan di uji ke model kepala. Catat nomor filter
2. Nyalakan inkubator CO<sub>2</sub> untuk proses *exhale* dan *heater* untuk menciptakan kelembaban selama 10 menit
3. Nyalakan alat *analyzer* dan kalibrasi *analyzer*
4. Cek kebocoran pada seluruh *tubing*
5. Buka valve silinder gas
6. Atur tekanan hingga mencapai 10 psi
7. Isilah *glove box* chamber dengan gas
8. Pengujian dimulai ketika gas dalam *chamber* mendekati konsentrasi target
9. Baca temperatur dan kelembaban dalam *chamber*
10. Aturlah laju alir sebanyak yang dibutuhkan
11. Nyalakan *inhale vent*. Tepat saat *inhale vent* dinyalakan maka waktu pengujian di hitung sebagai  $t = 0$
12. Kemudian nyalakan *exhale vent* 1 detik kemudian
13. Baca hasil analisis instrument setiap interval 1 menit selama 15 menit
14. Tutup aliran gas ke *chamber*
15. Matikan alat analisis
16. Nyalakan kipas untuk membersihkan *chamber*

**Lampiran K. Perhitungan Waktu Degradasi hingga Mencapai Baku Mutu  
Udara Ambien menurut KepMen No.41/MENLH/1999**

**Tabel K.1. Waktu degradasi CO hingga mencapai baku mutu  
pada berbagai konsentrasi awal**

Konsentrasi Awal (ppm)	Waktu Degradasi (menit)	Waktu Degradasi (jam)
20*	0	0,00
25	16	0,27
30	29	0,49
35	40	0,67
40	50	0,83
45	58	0,97
50	66	1,10
55	73	1,21
60	79	1,32
65	85	1,41
70	90	1,50
75	95	1,59
80	100	1,66
85	104	1,74
90	108	1,81
95	112	1,87
100	116	1,93

\* Baku Mutu CO

“Lampiran K (Lanjutan)”

**Tabel K.2. Waktu degradasi NO<sub>x</sub> hingga mencapai baku mutu pada berbagai konsentrasi awal**

Konsentrasi Awal (ppm)	Waktu Degradasi (menit)	Waktu Degradasi (jam)
0,050*	0	0,00
0,075	15	0,25
0,100	26	0,43
0,125	34	0,57
0,150	41	0,68
0,175	46	0,77
0,200	51	0,86
0,225	56	0,93
0,250	60	0,99
0,275	63	1,05
0,300	66	1,11
0,325	69	1,16
0,350	72	1,20
0,375	75	1,25
0,400	77	1,29
0,425	79	1,32
0,450	82	1,36
0,475	84	1,39
0,500	85	1,42

\*Baku Mutu NO<sub>x</sub>

**“Lampiran K (Lanjutan)”**

**Tabel K.3. Waktu degradasi HC hingga mencapai baku mutu pada berbagai konsentrasi awal**

<b>Konsentrasi Awal (ppm)</b>	<b>Waktu Degradasi (menit)</b>	<b>Waktu Degradasi (jam)</b>
0,24*	0	0,00
0,25	2	0,03
0,50	31	0,52
0,75	49	0,81
1,00	61	1,01
1,25	70	1,17
1,50	78	1,30
1,75	85	1,41
2,00	90	1,51
2,25	95	1,59
2,50	100	1,67
2,75	104	1,73
3,00	108	1,80
3,25	111	1,85
3,50	114	1,91
3,75	117	1,96
4,00	120	2,00
4,25	123	2,04
4,50	125	2,09
4,75	127	2,12
5,00	130	2,16
5,25	132	2,20
5,50	134	2,23
5,75	136	2,26
6,00	137	2,29
6,25	139	2,32
6,50	141	2,35
6,75	143	2,38
7,00	144	2,40

\*Baku Mutu HC