



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**UJI KINERJA ALAT PERANGKAP NYAMUK DAN  
PURIFIKASI UDARA BERBASIS TiO<sub>2</sub> DAN  
ZEOLIT ALAM LAMPUNG**

**SKRIPSI**

**DIAH SUSILOWATI  
0706200245**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
PROGRAM SARJANA  
DEPOK  
DESEMBER 2009**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**HALAMAN JUDUL**

**UJI KINERJA ALAT PERANGKAP NYAMUK DAN  
PURIFIKASI UDARA BERBASIS TiO<sub>2</sub> DAN  
ZEOLIT ALAM LAMPUNG**

**SKRIPSI**


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

**DIAH SUSILOWATI  
0706200245**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
PROGRAM SARJANA  
DEPOK  
DESEMBER 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama** : Diah Susilowati  
**NPM** : 0706200245  
**Tanda Tangan** :   
**Tanggal** : 22 Desember 2009

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Diah Susilowati  
NPM : 0706200245  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul Skripsi : Uji Kinerja Alat Perangkap Nyamuk dan Purifikasi Udara Berbasis TiO<sub>2</sub> dan Zeolit Alam Lampung

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Tilani Hamid, Msi  
Pembimbing : Dr. Ir. Slamet, MT  
Penguji : Ir. Sukirno, M.Eng  
Penguji : Ir. Bambang Heru S., MT



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 22 Desember 2009

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang selalu mendampingi penulis dalam setiap langkah pembuatan skripsi ini. Berkat rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **"UJI KINERJA ALAT PERANGKAP NYAMUK DAN PURIFIKASI UDARA BERBASIS TiO<sub>2</sub> DAN ZEOLIT ALAM LAMPUNG"** ini untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Secara khusus dan mendalam penulis ingin pula mengucapkan terima kasih kepada Ir. Tilani HS, Msi selaku pembimbing I dan Dr. Ir. Slamet, MT. selaku pembimbing II yang selalu sabar dan bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam membimbing dan mengarahkan penyelesaian makalah seminar ini. Pada kesempatan ini, penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Kimia FTUI.
2. Tania Surta Utami, ST. MT selaku pembimbing akademis.
3. Ayah dan Ibu yang senantiasa memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis dalam penyelesaian makalah seminar ini.
4. Mas Mail dan Mas Bagus yang senantiasa pula mendukung dan memotivasi penulis menyelesaikan makalah seminar ini.
5. Mang Izal, Kang Jajat dan Mas Eko sebagai teknisi laboratorium yang telah membantu secara teknis.
6. Sahabat dan teman-teman Ekstensi 2007 yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 22 Desember 2009

Penulis

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

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

Nama : Diah Susilowati

Program Studi : Teknik Kimia

Departemen : Teknik Kimia

NPM : 0706200245

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:

“Uji Kinerja Alat Perangkap Nyamuk dan Purifikasi Udara Berbasis TiO<sub>2</sub> dan Zeolit Alam Lampung”

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 : 22 Desember 2009

Yang menyatakan



( Diah Susilowati )

## ABSTRAK

Nama : Diah Susilowati  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Uji Kinerja Alat Perangkap Nyamuk dan Purifikasi Udara  
Berdasarkan  $\text{TiO}_2$  dan Zeolit Alam Lampung

Dalam Penelitian ini ingin diketahui keefektifan proses kombinasi fotokatalisis dan adsorpsi dengan  $\text{TiO}_2$  dan zeolit alam Lampung (ZAL). Alat yang digunakan berbentuk kotak dilengkapi dengan lampu UV-A, panel aluminium berlapis  $\text{TiO}_2$ -ZAL, dan kipas penyedot. Panel aluminium dikombinasikan dengan fotokatalis  $\text{TiO}_2$  dan adsorben ZAL melalui metode penyemprotan. Hasil pengujian kinerja alat penangkap nyamuk menunjukkan bahwa panel yang dilapisi  $\text{TiO}_2$ -30% ZAL memberikan kondisi yang maksimal untuk menarik nyamuk dan mendegradasi gas asetaldehida dan toluena. Kombinasi proses yang mengintegrasikan fotokatalisis dan adsorpsi sangat menjanjikan untuk diterapkan pada alat perangkap nyamuk fungsi ganda ini.

Kata kunci:

Fotokatalisis, nyamuk, titanium dioksida, asetaldehida, toluena, ZAL

## ABSTRACT

Name : Diah Susilowati  
Study Program: Chemical Engineering  
Title : Performance Test of Mosquitoes Trap and Air Purification Based  
On TiO<sub>2</sub> and Lampung's Natural Zeolite

This study wanted to know the effectiveness of the combination photocatalysis and adsorption with TiO<sub>2</sub> and Lampung's natural zeolite. The instrument used is a box equipped with UV-A light, TiO<sub>2</sub>-Lampung's natural zeolite coating aluminum panels, and the suction fan. Aluminum panels was combined with TiO<sub>2</sub> photocatalysis and Lampung's natural zeolite adsorbent through spraying methods. The results of performance from testing tool in catching mosquitoes showed that TiO<sub>2</sub>-Lampung's nature zeolite coated panles gave the maximum condition in attracting mosquitoes and degrading acetaldehyde and toluene gas. The combination of photocatalysis and adsorption which is integrated is very promising to be applied on the mosquito double trap functioned tool.

Key words:

Photocatalysis, mosquito, acetaldehyde, toluene, TiO<sub>2</sub>, Lampung's natural zeolite



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS ..Error! Bookmark not defined.	
HALAMAN PENGESAHAN .....	iError! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR .....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
<b>1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Tujuan Penelitian .....	3
1.4. Batasan Masalah .....	4
1.5. Sistematika Penulisan .....	4
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
2.1. Ketertarikan Nyamuk terhadap Manusia .....	6
2.2. Polutan Udara Ruang .....	6
2.2.1. Asetaldehida dan Toluena.....	7
2.3. Teknologi Nanomaterial .....	8
2.4. Definisi Proses Fotokatalisis.....	9
2.5. Fotokatalisis Titanium Dioksida.....	10
2.6 Mekanisme Fotokatalisis TiO <sub>2</sub> .....	11
2.7. Aplikasi Fotokatalisis.....	13
2.8. Proses Adsorpsi.....	15
2.8.1.Adsorben Zeolit Alam Lampung .....	16
2.8.2.Adsorben sebagai Penyangga Fotokatalis.....	19
2.9. Aktivasi Zeolit dengan Metode Dealuminasi.....	21
2.10. Karakterisasi Fotokatalis.....	21
2.10.1 Karakterisasi BET .....	21
2.10.2 Karakterisasi SEM .....	23

2.11. Teknik Analisis .....	24
2.11.1 <i>Gas Chromatography</i> (GC) .....	24
2.12. Paten dan Penelitian Terkait .....	24
<b>3. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>27</b>
3.1. Diagram Alir Penelitian .....	27
3.2. Alat dan Bahan Penelitian.....	27
3.2.1. Alat.....	27
3.2.2. Bahan .....	28
3.3. Prosedur Penelitian .....	29
3.3.1. Treatment Awal Zeolit Alam Lampung.....	29
3.3.2. Pembuatan dan Pelapisan Fotokatalis TiO <sub>2</sub> pada ZAL.....	30
3.3.3. Pengujian Kinerja Alat Perangkap Nyamuk.....	33
3.3.3.1. Kemampuan Menangkap Nyamuk .....	37
A. Uji Blanko 1:Melihat Peran Fotokatalis.....	37
B. Uji Blanko 2:Melihat Peran Kipas .....	37
C. Uji Blanko 3:Melihat Peran Lampu UV.....	38
D. Uji Kemampuan Alat dalam Menangkap Nyamuk.....	39
3.3.3.2. Kemampuan Purifikasi Udara.....	39
A. Uji Blanko dan Kebocoran Reaktor.....	40
B. Uji Degradasi Gas Asetaldehida dan Toluena.....	40
3.4. Variabel Penelitian.....	41
3.5. Data Penelitian dan Pengolahan Data .....	41
<b>4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>43</b>
4.1. Pelapisan Fotokatalis Pada Panel.....	43
4.2. Karakterisasi .....	44
4.2.1. Karakterisasi BET.....	44
4.2.2. Karakterisasi SEM .....	44
4.3. Uji Kemampuan Menangkap Nyamuk .....	45
4.3.1. Peran Fotokatalis.....	45
4.3.2. Peran Kipas .....	46
4.3.3. Peran Lampu UV .....	47
4.3.4. Uji Kemampuan Alat Menangkap Nyamuk.....	49
4.4. Uji Degradasi Gas Asetaldehida dan Toluena .....	52
4.4.1. Uji Blanko dan Uji Kebocoran Reaktor.....	52
4.4.2. Uji Degradasi Gas Asetaldehida dan Toluena .....	53
<b>5. KESIMPULAN .....</b>	<b>62</b>

DAFTAR PUSTAKA .....	63
LAMPIRAN.....	68



## DAFTAR GAMBAR

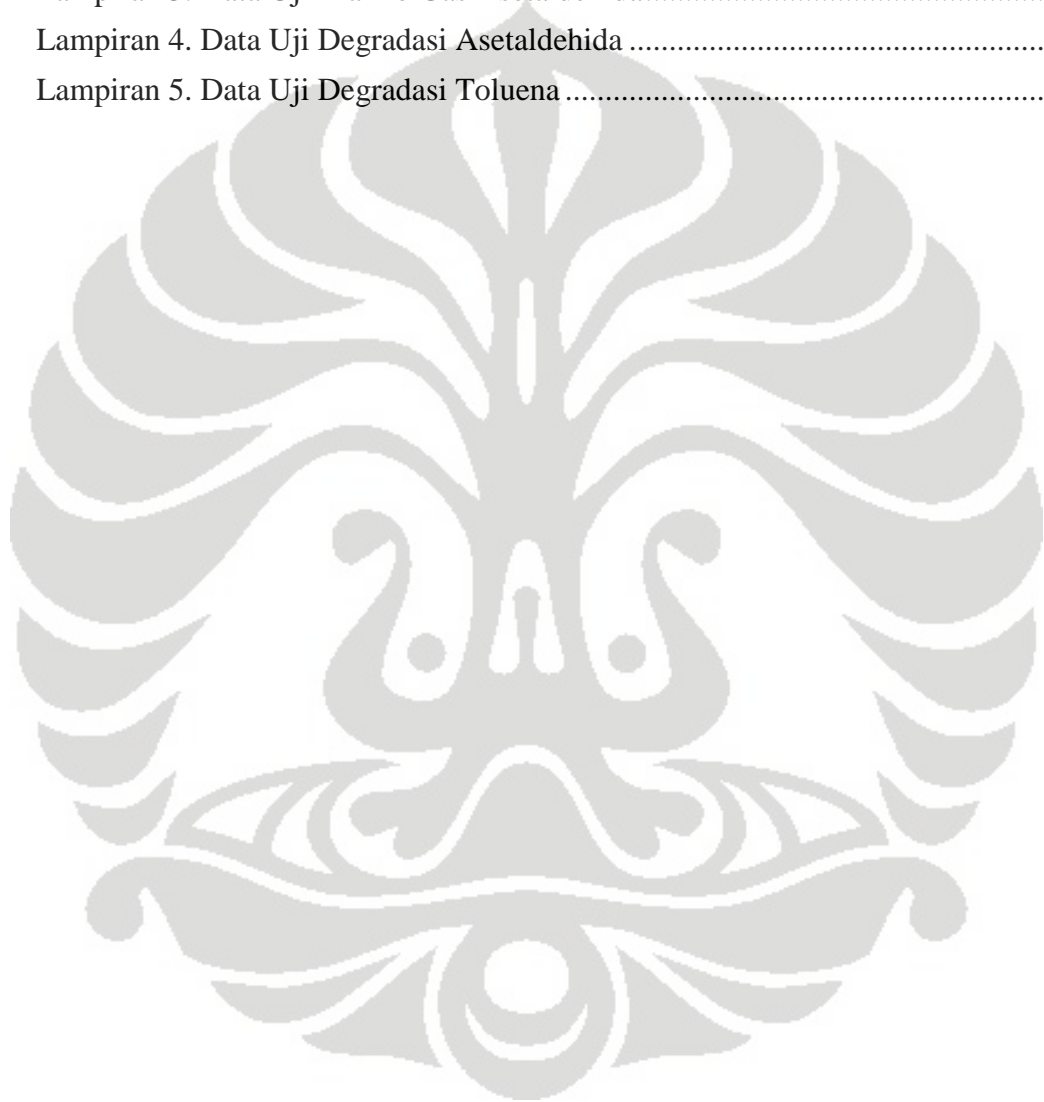
Gambar 2.1 Mekanisme fotokatalisis .....	12
Gambar 2.2 Berbagai aplikasi fotokatalisis .....	13
Gambar 2.3 Target purifikasi udara ruang .....	14
Gambar 2.4 Mekanisme degradasi polutan pada adsorben.....	20
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian secara umum .....	27
Gambar 3.2 Diagram alir treatment awal zeolit alam Lampung.....	29
Gambar 3.3 Diagram alir pembuatan dan pelapisan TiO <sub>2</sub> dan ZAL.....	31
Gambar 3.4 Diagram alir pengujian kinerja alat perangkap nyamuk .....	34
Gambar 3.5 Tampak Luar dan Dimensi Alat.....	35
Gambar 3.6 Susunan lampu di alat .....	36
Gambar 4.1 Larutan Sol TiO <sub>2</sub> -ZAL .....	43
Gambar 4.2 Panel aluminium .....	44
Gambar 4.3 Morfologi Permukaan Katalis .....	45
Gambar 4.4 Grafik Hasil Pengujian Melihat Peran Fotokatalis.....	46
Gambar 4.5 Grafik Hasil Pengujian Melihat Peran Kipas .....	47
Gambar 4.6 Grafik Hasil Pengujian Melihat Peran Lampu UV .....	48
Gambar 4.7 Hasil Penangkapan Nyamuk .....	49
Gambar 4.7 Perbandingan Hasil Penangkapan Nyamuk .....	50
Gambar 4.9 Nyamuk yang Telah Mati akibat Dehidrasi .....	50
Gambar 4.10 Kotak Pengujian Degradasi Asetaldehida dan Toluena.....	53
Gambar 4.11 Hasil Uji Blanko dan Kebocoran Reaktor.....	54
Gambar 4.12 Hasil Uji Degradasi Gas Asetaldehida.....	55
Gambar 4.13 Perbandingan % Degradasi Gas Asetaldehida .....	55
Gambar 4.14 Persen ZAL terhadap Persen Degradasi pada t = 45.....	56
Gambar 4.15 Perbandingan C/Co Vs Waktu Degradasi Asetaldehida .....	56
Gambar 4.16 Hasil Uji Degradasi Gas Toluena.....	58
Gambar 4.17 Perbandingan C/Co Vs Waktu Degradasi Toluena.....	59
Gambar 4.18 Perbandingan % Degradasi Gas Toluena.....	59
Gambar 4.19 Persen ZAL terhadap Persen Degradasi pada t = 55.....	60

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Polutan udara dalam ruangan dan sumber emisinya.....	7
Tabel 2.2 Beberapa acuan konsentrasi asetaldehida yang diizinkan .....	8
Tabel 2.3 Besarnya celah pita energi berbagai fotokatalisis.....	10
Tabel 2.4 Jenis mineral zeolit beserta rumus kimia.....	16
Tabel 2.5 Ukuran rongga (A) dan rasio Si/Al beberapa jenis zeolit.....	18
Tabel 4.1 Penambahan Berat Panel Alumunium .....	43
Tabel 4.2. Hasil Karakterisasi BET .....	44
Tabel 4.3. Pengaruh Fotokatalisis.....	45
Tabel 4.4 Uji Peran Kipas.....	47
Tabel 4.5 Uji Peran Lampu UV .....	48

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Foto Pengamatan Peran Fotokatalis dan Lampu UV .....	67
Lampiran 2. Data Kalibrasi Gas Asetaldehida dan Gas Toluena.....	68
Lampiran 3. Data Uji Blanko Gas Asetaldehida.....	69
Lampiran 4. Data Uji Degradasi Asetaldehida .....	70
Lampiran 5. Data Uji Degradasi Toluena .....	73



## ABSTRAK

Nama : Diah Susilowati  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Uji Kinerja Alat Perangkap Nyamuk dan Purifikasi Udara Berbasis TiO<sub>2</sub> dan Zeolit Alam Lampung

Dalam Penelitian ini ingin diketahui keefektifan proses kombinasi fotokatalisis dan adsorpsi dengan TiO<sub>2</sub> dan zeolit alam Lampung (ZAL). Alat yang digunakan berbentuk kotak dilengkapi dengan lampu UV-A, panel aluminium berlapis TiO<sub>2</sub>-ZAL, dan kipas penyedot. Panel aluminium dikombinasikan dengan fotokatalis TiO<sub>2</sub> dan adsorben ZAL melalui metode penyemprotan. Hasil pengujian kinerja alat penangkap nyamuk menunjukkan bahwa panel yang dilapisi TiO<sub>2</sub>-30% ZAL memberikan kondisi yang maksimal untuk menarik nyamuk dan mendegradasi gas asetaldehida dan toluena. Kombinasi proses yang mengintegrasikan fotokatalisis dan adsorpsi sangat menjanjikan untuk diterapkan pada alat perangkap nyamuk fungsi ganda ini.

Kata kunci:

Fotokatalisis, nyamuk, titanium dioksida, asetaldehida, toluena, ZAL

## ABSTRACT

Name : Diah Susilowati  
Study Program: Chemical Engineering  
Title : Performance Test of Mosquitoes Trap and Air Purification Based  
On TiO<sub>2</sub> and Lampung's Natural Zeolite

This study wanted to know the effectiveness of the combination photocatalysis and adsorption with TiO<sub>2</sub> and Lampung's natural zeolite. The instrument used is a box equipped with UV-A light, TiO<sub>2</sub>-Lampung's natural zeolite coating aluminum panels, and the suction fan. Aluminum panels was combined with TiO<sub>2</sub> photocatalysis and Lampung's natural zeolite adsorbent through spraying methods. The results of performance from testing tool in catching mosquitoes showed that TiO<sub>2</sub>-Lampung's nature zeolite coated panles gave the maximum condition in attracting mosquitoes and degrading acetaldehyde and toluene gas. The combination of photocatalysis and adsorption which is integrated is very promising to be applied on the mosquito double trap functioned tool.

Key words:

Photocatalysis, mosquito, acetaldehyde, toluene, TiO<sub>2</sub>, Lampung's natural zeolite



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan negara beriklim tropis yang menyebabkan nyamuk dapat berkembangbiak secara subur dimana-mana. Hasilnya pertumbuhan jumlah nyamuk di negara ini sangatlah berkembang pesat. Nyamuk dapat menularkan berbagai jenis penyakit ke manusia. Beberapa contoh penyakit yang ditularkan oleh nyamuk adalah demam berdarah, malaria, dan chikungunya. Kenaikan suhu udara di Indonesia yang mencapai 1 °C pada tahun 1998 menyebabkan masa inkubasi vektor semakin pendek sehingga nyamuk malaria dan demam berdarah dapat berkembang biak lebih cepat (Pusat Komunikasi Publik DepKes RI, 2008).

Berbagai cara untuk mengendalikan populasi nyamuk penyebab penyakit berbahaya seperti penggunaan obat dan alat penangkap nyamuk yang ditujukan untuk membunuh dan mengusir nyamuk. Penggunaan obat nyamuk seperti obat nyamuk semprot, bakar, elektrik biasanya ditujukan untuk membunuh nyamuk. Sedangkan penggunaan obat nyamuk oles biasanya bersifat mengusir nyamuk. Walaupun penggunaan obat nyamuk tersebut terbukti efektif ternyata sangatlah berbahaya bagi kesehatan manusia. WHO melarang penggunaan obat nyamuk semprot, bakar, dan elektrik karena mengandung bahan aktif golongan organofosfat seperti dichlorovynil dimethyl fosfat (DDVP), propoxur, dan diethyltoluamide (DEET) yang bersifat karsinogenik. Ketiga bahan aktif tersebut merupakan jenis insektisida pembunuh serangga yang mudah terurai dan memiliki daya racun tinggi. Seiring dengan perkembangan obat anti-nyamuk, dikembangkan juga alat penangkap nyamuk seperti raket listrik dan alat nyamuk yang dengan memanfaatkan lampu UV. Alat-alat tersebut tidak efektif karena menghasilkan bau hangus, dan kurang aman digunakan karena dialiri listrik tegangan yang cukup tinggi (Wahyuni, 2005).

Penggunaan obat nyamuk juga dapat meningkatkan jumlah polutan udara di dalam ruangan. Adanya polutan udara di dalam ruangan, bukan hanya berasal dari penggunaan obat nyamuk saja, melainkan berasal dari berbagai aktivitas yang dilakukan di dalam ruangan. Secara umum, polutan udara dalam ruangan

terdiri dari produk pembakaran (asap rokok, asap dapur, asap kendaraan bermotor, dll.), produk kimia (pengharum ruangan, cat, pemakaian pestisida, dll.), radon, dan agen-agen biologi (virus, bakteri, dan jamur). Polutan udara dalam ruangan ini lebih berbahaya dibandingkan polutan udara luar ruangan. Studi United State Environmental Protection Agency (US EPA) tentang peluang manusia terpapar polusi malah mengindikasikan bahwa derajat polusi dalam ruang bisa dua sampai lima kali lebih tinggi dibandingkan dengan polusi luar ruang. Lembaga EPA tersebut juga menempatkan polusi udara dalam ruang sebagai satu dari lima besar polusi yang berisiko mengancam kesehatan masyarakat modern (Kompas, 2005). Kehadiran polutan udara dalam ruangan membawa dampak negatif terhadap kenyamanan dan kesehatan manusia. Biasanya penyakit yang ditimbulkan oleh polutan udara dalam ruangan dikenal dengan *sick building syndrome*. Keluhan umum dalam jangka pendek biasanya seperti pegal, linu, pusing, migrain, kelelahan, kaku otot, dan sebagainya. Sedangkan, dalam jangka panjang diyakini menjadi penyebab berbagai penyakit yang lebih serius termasuk kanker (Wikipedia, 2007).

Adapun teknologi terbaru yang telah diluncurkan ke pasaran adalah perangkat nyamuk dengan memanfaatkan teknologi fotokatalisis. Proses fotokatalisis yang memanfaatkan energi foton dan katalis  $\text{TiO}_2$  sangat potensial jika diaplikasikan untuk merekayasa alat perangkat nyamuk yang efektif, aman, dan ramah lingkungan. Alat perangkat nyamuk berbasis fotokatalisis ini bahkan telah mendapatkan sertifikasi paten internasional no. PCT/KR/01-00427 dan *Korean Domestic Patent No. 43847* pada tahun 2001. Reaksi fotokatalis di permukaan  $\text{TiO}_2$  dapat menghasilkan dua hal sekaligus, yaitu  $\text{CO}_2$  yang mirip dengan hembusan nafas manusia dan spektrum panas yang mirip dengan panas tubuh manusia. Kedua hal tersebut ditambah dengan adanya lampu UV (sebagai sumber energi foton) diduga akan bersinergi mengelabui nyamuk untuk mendekat sehingga segera terhisap masuk dalam jaring perangkat yang telah dirancang khusus, dan mati karena dehidrasi. Penelitian juga menunjukkan bahwa nyamuk yang terperangkap dan hidup untuk beberapa waktu tertentu juga akan mengirimkan pesan kepada lawan jenisnya untuk ikut masuk ke dalam. Walaupun terbukti efektif dalam menangkap dan membunuh nyamuk, perangkat

nyamuk yang beredar di pasaran masih memiliki potensi untuk ditingkatkan kinerjanya. Dengan cara meningkatkan proses fotokatalitiknya. Salah satu teknik yang memungkinkan peningkatan laju reaksi fotokatalitik adalah dengan menggunakan adsorben sebagai penyangga fotokatalis  $\text{TiO}_2$  (Ao, 2004). Zeolit alam Lampung dapat digunakan sebagai adsorben maupun sebagai penyangga fotokatalis. Ketersediaannya di Indonesia cukup melimpah dan merupakan campuran dari zeolit jenis klipnoptolotit sebanyak 78%, analsim 14% dan mordenit 8% (Nuryanti, 1999).

Jika fotokatalis  $\text{TiO}_2$  direkayasa dalam bentuk nanokristalin serta dikombinasi dengan adsorben zeolit alam Lampung, maka alat perangkap nyamuk berteknologi fotokatalisis tersebut juga secara simultan jauh lebih berpotensi untuk purifikasi udara dan juga meningkatkan fungsi dan nilai tambah dari zeolit tersebut. Kombinasi ini akan diwujudkan dalam suatu prototipe alat yang diharapkan dapat meningkatkan kinerja alat penangkap nyamuk berbasis fotokatalisis.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Upaya pemberantasan nyamuk untuk mengendalikan jumlah nyamuk penyebab penyakit berbahaya telah banyak dilakukan. Berbagai metode pemberantasan diantaranya penggunaan obat nyamuk semprot, bakar, elektrik seringkali sangat merugikan terutama bagi kesehatan manusia. Oleh karena metode pemberantasan nyamuk yang selama ini berjalan membahayakan kesehatan, maka dicari metode alternatif dengan mengkombinasikan proses fotokatalisis dan adsorpsi dengan  $\text{TiO}_2$  dan zeolit alam Lampung. Metode fotokatalisis disamping potensial menarik nyamuk dapat juga berfungsi sebagai purifikasi udara.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

- Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk memperoleh alat perangkap nyamuk berbasis fotokatalisis yang memiliki fungsi ganda yaitu sebagai alat perangkap nyamuk dan purifikasi udara.

- Kombinasi dari berbagai aspek dalam penelitian ini (fotokatalis  $\text{TiO}_2$ , zeolit alam Lampung (adsorben), teknologi nanomaterial, dan konfigurasi perangkap nyamuk) dimaksudkan untuk mendapatkan kinerja alat yang lebih efektif dan multi-guna, sehingga kontribusi terhadap permasalahan kesehatan yang terkait dengan nyamuk dan polutan udara diharapkan lebih signifikan.
- Prototipe alat yang akan diteliti cukup prospektif untuk mengurangi ketergantungan bangsa Indonesia akan barang-barang impor, terutama yang terkait dengan alat perangkap nyamuk.

#### **1.4 Batasan Masalah**

- Variasi terhadap desain prototipe alat perangkap nyamuk tidak dilakukan. Peneliti menggunakan alat perangkap nyamuk pada penelitian sebelumnya.
- Jenis fotokatalis yang digunakan adalah bubuk  $\text{TiO}_2$  Degussa P25 komersial .
- Jenis adsorben yang digunakan adalah zeolit alam Lampung.
- Model polutan udara yang digunakan adalah asetaldehida dan toluena yang mewakili senyawa VOC yang sering ditemukan di dalam ruangan.
- Dalam uji kemampuan mendegradasi polutan udara, senyawa-senyawa produk yang dihasilkan tidak diidentifikasi. Alat ini hanya diuji apakah mampu menurunkan konsentrasi dua model polutan udara yang digunakan.

#### **1.5 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

- **BAB I. PENDAHULUAN**  
Berisikan latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.
- **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**  
Berisikan studi literatur secara umum dan secara khusus mengenai hal-hal yang berkaitan dengan penelitian.
- **BAB III. METODE PENELITIAN**

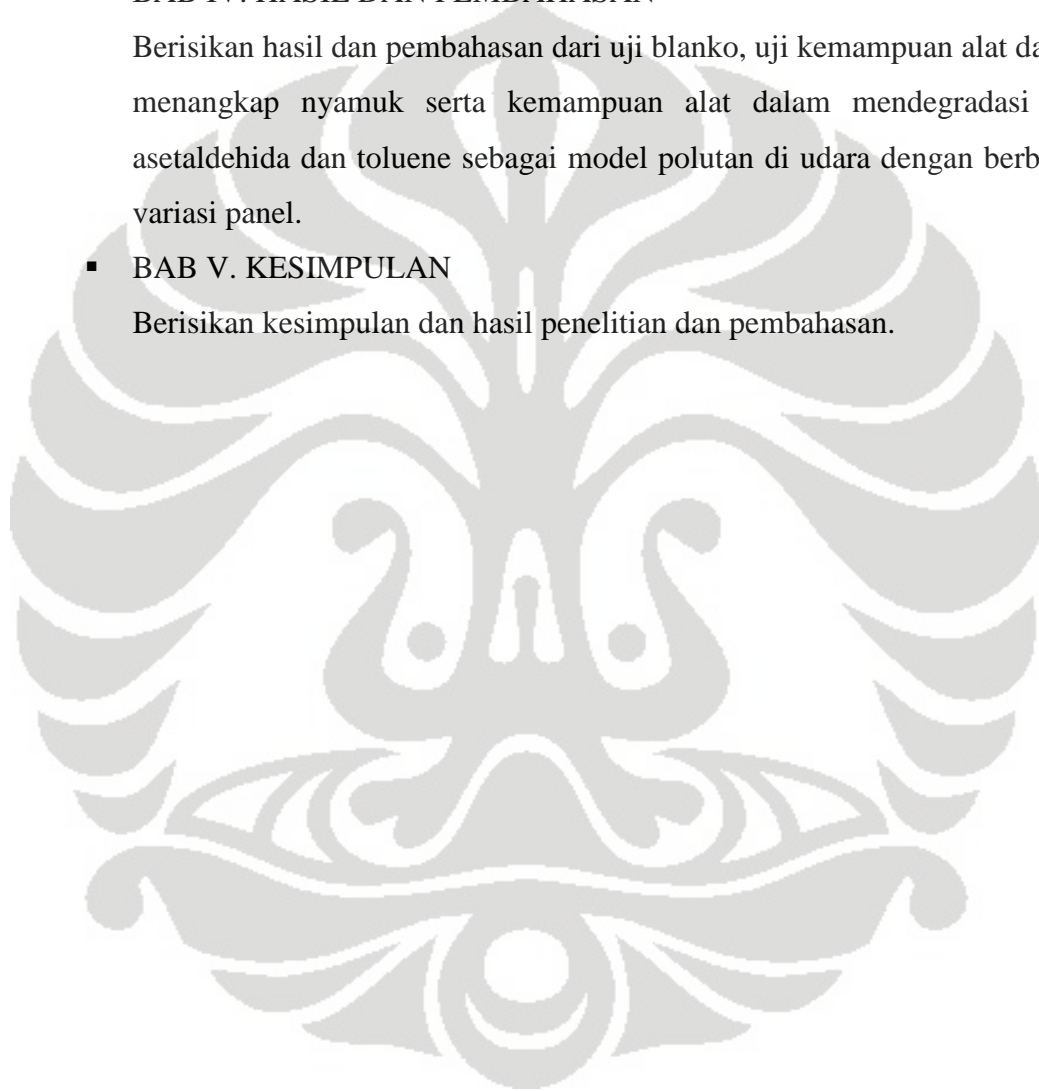
Berisikan diagram alir penelitian, bahan & alat yang digunakan dalam penelitian, prosedur penelitian yang meliputi preparasi fotokatalis, treatment awal zeolit alam Lampung, pencampuran TiO<sub>2</sub>-adsorben, karakterisasi katalis, pelapisan fotokatalis ke panel, uji blanko, dan pengujian kinerja alat perangkap nyamuk serta variabel penelitian, data penelitian dan pengolahan data.

▪ **BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisikan hasil dan pembahasan dari uji blanko, uji kemampuan alat dalam menangkap nyamuk serta kemampuan alat dalam mendegradasi gas asetaldehida dan toluene sebagai model polutan di udara dengan berbagai variasi panel.

▪ **BAB V. KESIMPULAN**

Berisikan kesimpulan dan hasil penelitian dan pembahasan.



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Ketertarikan Nyamuk terhadap Manusia

Ilmuwan sampai saat ini belum sepenuhnya mengerti senyawa kimia apa yang menarik nyamuk ke manusia. Namun, para entomologi meyakini beberapa hal berikut sebagai penarik nyamuk, yaitu: karbondioksida dan senyawa lain yang dikeluarkan melalui pernafasan, panas tubuh, pergerakan, serta warna. Penelitian kuantitatif mengenai ketertarikan nyamuk terhadap karbondioksida menyatakan bahwa memang banyak nyamuk betina yang tertarik akan karbondioksida, tetapi nyamuk yang tertarik pada konsentrasi karbondioksida tertentu didominasi oleh spesies nyamuk yang berbeda-beda. Pengujian ini menggunakan tiga laju alir karbondioksida yang berbeda, yaitu 25 mL, 250 mL, dan 2500 mL per menit. Pada laju alir karbondioksida 2500 mL per menit nyamuk *Aedes nigromaculis* lebih banyak tertarik. Spesies *Culex quinquefasciatus* ditemukan lebih banyak tertarik pada pengujian laju alir 25 mL. Spesies *Culex tarsalis* merupakan spesies yang paling banyak tertarik di semua laju alir yang diujikan (Reeves, 1953). Namun, penelitian Departemen Amerika menyatakan bahwa nyamuk tidak hanya tertarik pada karbondioksida, tetapi juga asam laktat yang dikeluarkan oleh manusia, serta senyawa lain yang dikeluarkan oleh bakteri di permukaan kulit manusia (Wu, 2000).

#### 2.2 Polutan Udara Ruang

Polutan udara ruang terdiri dari produk hasil pembakaran, produk kimia, radon, dan agen-agen biologi. Biasanya diemisikan secara langsung oleh sumber yang berada dalam ruangan seperti kompor, alat pemanas, rokok, material bangunan dan bahan kimia pengontrol hama. Tingkat konsentrasi polutan dalam ruang semakin meningkat seiring dengan meningkatnya aktivitas yang dilakukan dalam ruang, seperti memasak, penggunaan pemanas, penggunaan cat untuk dekorasi ruang, pemakaian zat kimia pembersih lantai secara terus menerus. Polutan yang biasa ditemukan dalam ruang dan sumbernya dapat dilihat di Tabel 2.1 dibawah ini.

**Tabel 2. 1** Polutan Udara Dalam Ruangan dan Sumber Emisinya (Jones,1999)

<b>Polutan</b>	<b>Sumber Emisi Utama</b>
Alergen	Debu rumah, binatang peliharaan, serangga
Asbestos	Material penghambat api, insulasi
Karbon dioksida	Aktivitas metabolik, aktivitas pembakaran, kendaraan bermotor di garasi
Karbon monoksida	Pembakaran bahan bakar, <i>boiler</i> , kompor, pemanas gas atau minyak tanah, asap rokok
Formaldehida	Furnitur, insulasi, perabot rumah tangga
Mikro-organisme	Manusia, hewan, tanaman, sistem pendingin ruangan
Nitrogen dioksida	Udara luar ruangan, pembakaran bahan bakar, kendaraan bermotor di garasi
Substansi organik	Perekat, pelarut, material bangunan, penguapan, pembakaran, cat, asap rokok
Ozone	Reaksi fotokimia
Partikel	Re-suspensi, asap rokok, produk pembakaran
Polisiklik Aromatik	Pembakaran bahan bakar, asap rokok
Hidrokarbon	
Serbuk sari	Udara luar ruangan, pohon, rumput, rumput liar, tanaman
Radon	Tanah, material konstruksi bangunan (beton, batu)
Spora Jamur	Tanah, tanaman, makanan
Sulfur dioksida	Udara luar ruangan, pembakaran bahan bakar

### 2.2.1 Asetaldehida dan Toluena

Asetaldehida dan toluena merupakan contoh senyawa yang tergolong VOC (*volatile organic compound*) yaitu senyawa organik yang mudah menguap dikarenakan titik didihnya yang tergolong rendah. Pengontrolan senyawa ini cukup sulit dilakukan karena jumlahnya yang meningkat dengan cepat, konsentrasi yang rendah dan keterbatasan metode yang ada.

Sumber-sumber emisi asetaldehida adalah biasanya adalah akibat pembakaran yang tak sempurna seperti asap rokok (717 µg/ mL), buangan kendaraan bermotor (8,6 µg/ mL), kompor gas (0,3 µg/ mL), serta parfum (0-63 µg/ mL), *hair spray* (58-82 µg/ mL), *particle board* (0,4 µg/ mL). Tempat tinggal dengan perokok di dalamnya memiliki konsentrasi asetaldehida dua sampai delapan kali lebih tinggi dari konsentrasi asetaldehida di outdoor (Namiesnik et al., 1992). Di udara ruang konsentrasi rata-rata yang ada biasanya sekitar 5,4 – 27 µg/m<sup>3</sup> (3-15 ppb). Pada konsentrasi 45 mg/m<sup>3</sup> biasanya menimbulkan iritasi pada

manusia dan pada konsentrasi  $275 \text{ mg/m}^3$  bersifat karsinogenik (tergolong karsinogenik golongan 2B) dan iritasi pada tikus (WHO, 2000). Tabel 2.2 menunjukkan beberapa acuan konsentrasi asetaldehida yang diizinkan. Batas aman bagi manusia adalah  $45 \text{ mg/m}^3$ , lebih dari itu maka akan timbul efek yang merugikan pada kesehatan.

**Tabel 2. 2** Beberapa Acuan Konsentrasi Asetaldehida yang Diizinkan (Charles et al., 2005)

Parameter	Konsentrasi ( $\text{mg/m}^3$ )	Sumber
Threshold Limit Value (TLV) Konsentrasi rata-rata untuk meminimalkan dampak bahaya terhadap pekerja	45 [8 jam]	ACGIH ( <i>American Conference of Governmental Industrial Hygienists</i> )
Permissible Exposure Level (PEL) Konsentrasi maksimum di udara tanpa menimbulkan bahaya kesehatan	360 [8 jam]	OSHA ( <i>Occupational Safety and Health Administration</i> )
Chronic reference exposure level (CREL) Tingkat yang tidak menimbulkan kanker kronis	0.009 [8 jam]	OEHHA ( <i>Office of Env. Health Hazard Assessment</i> )
Guidelines for air pollutants with non-carcinogenic and carcinogenic health endpoints	0.05 [1 tahun]	WHO <i>Guidelines for Air Quality</i>
Based on chronic toxicity via a long-term exposure Tingkat yang tidak menimbulkan efek kronis selama jangka panjang	0.048 [8 jam]	Japan ( <i>IAQ Guidelines by Ministry of Health, Labour and Welfare of Japan</i> )

Toluena merupakan senyawa yang relatif paling sering ditemukan di udara ruang dengan konsentrasi yang relatif tinggi. Toluena dan senyawa lain seperti benzene, etilena dan xylem (BTEX) sering digunakan dalam studi degradasi polutan udara melalui proses fotokatalitik. Toluena ditemukan pada konsentrasi  $37\text{-}320 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ , benzena  $8\text{-}34 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ , m/p-xylene  $18\text{-}120 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ , dan o-xylene  $6\text{-}25 \text{ }\mu\text{g/m}^3$  (Wang et al., 2007).

Efek dari keberadaan asetaldehida dan toluena didalam ruangan terhadap kesehatan manusia yaitu asma, penyempitan saluran pernafasan, iritasi mata, kulit dan paru-paru. Pada konsentarsi tinggi dapat menyebabkan kerusakan fungsi saraf dengan gejala sakit kepala, pandangan kabur dan ketidaksadaran (Oanh dan Hung, 2005).

### 2.3 Teknologi Nanomaterial

Nanoteknologi adalah teknologi yang terkait dengan sintesis dan aplikasinya dari bahan-bahan, material atau alat pada ukuran yang sangat kecil.



Alat atau bahan/material ini berukuran sekitar 1 sampai 100 nanometer (nm). Satu nm sama dengan  $10^{-9}$  m, yang hampir sama dengan 10.000 kali lebih kecil dibandingkan dengan garis tengah rambut manusia. Ilmuwan mengacu pada cakupan yang dimensional dari 1 sampai 100 nm sebagai skala nano, dan bahan-bahan atau material pada skala ini disebut kristal nano (nanokristal) atau nanomaterial. Singkatnya, nanomaterial adalah material yang diproses dengan memanfaatkan partikel-partikel ukuran nano.

Teknologi nanomaterial dimanfaatkan dalam proses pembuatan katalis. Katalis berbasis nanomaterial merupakan katalis heterogen yang memiliki ukuran nano yang mempercepat proses katalitik. Ukuran partikel yang kecil akan memaksimalkan luas permukaan yang akan bereaksi dengan reaktan, sehingga lebih banyak reaksi yang terjadi dalam waktu yang bersamaan dan meningkatkan laju reaksi secara signifikan.

#### **2.4 Definisi Proses Fotokatalisis**

Definisi fotokatalisis menurut IUPAC adalah reaksi katalitik yang melibatkan adsorpsi cahaya oleh katalis atau substrat tertentu. Fotokatalisis dapat juga didefinisikan suatu proses kombinasi antara proses fotokimia dan katalis, yaitu suatu proses sintesis (transformasi) secara kimiawi dengan melibatkan cahaya sebagai pemicu dan katalis sebagai pemercepat proses transformasi tersebut.

Katalis yang digunakan disebut fotokatalis karena mempunyai kemampuan dalam mengadsorpsi energi foton (yang juga merupakan fungsi dari fotokatalis). Hal ini dikarenakan bahan-bahan yang dapat dimanfaatkan sebagai fotokatalis adalah bahan yang memiliki daerah energi yang kosong yang disebut celah pita energi (*energy bandgap*) dimana bahan yang dimaksud adalah semikonduktor. Bahan semikonduktor hanya akan berfungsi sebagai katalis jika cahaya yang mengenainya memiliki energi yang setara atau lebih besar daripada celah pita energi semikonduktor yang bersangkutan. Induksi oleh sinar tersebut akan menyebabkan terjadinya eksitasi elektron (dari pita valensi ke pita konduksi) dalam bahan semikonduktor (Slamet et al., 2007).

Besarnya celah pita energi akan menentukan sensitivitas panjang gelombang, dimana semakin kecil nilai pita energi, semikonduktor tersebut mampu menyerap energi dengan panjang gelombang yang semakin besar. Tabel 2.3 menunjukkan beberapa fotokatalis dengan celah pita energi dalam eV. Selain itu, letak pita valensi akan mempengaruhi kemampuan oksidasi (semakin ke bawah, potensial oksidasi semakin baik), sedangkan pita konduksi akan mempengaruhi kemampuan mereduksi (semakin ke atas, potensial reduksi semakin baik) suatu semikonduktor fotokatalis (Slamet et al., 2007).

**Tabel 2. 3** Besarnya Celah Pita Energi Berbagai Fotokatalis (Bhatkhande et al., 2001)

Fotokatalis	Celah Pita Energi (eV)	Fotokatalis	Celah Pita Energi (eV)
Si	1.1	ZnO	3.2
TiO <sub>2</sub> (rutile)	3.0	TiO <sub>2</sub> (anatase)	3.2
WO <sub>3</sub>	2.7	CdS	2.4
ZnS	3.7	SrTiO <sub>3</sub>	3.4
SnO <sub>2</sub>	3.5	WSe <sub>2</sub>	1.2
	2.2		3.1

Pada umumnya proses fotokatalitik terbagi menjadi dua, yakni fotokatalitik homogen dan fotokatalitik heterogen. Fotokatalitik homogen adalah proses fotokatalitik dengan bantuan zat pengoksidasi seperti ozon dan hidrogen peroksida, sedangkan fotokatalitik heterogen merupakan suatu teknologi yang didasarkan pada iradiasi fotokatalis semikonduktor seperti titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>), seng oksida (ZnO) atau kadmium sulfida (Cds). Pada penelitian ini digunakan semikonduktor TiO<sub>2</sub> sebagai fotokatalis.

## 2.5 Fotokatalis Titanium Dioksida

TiO<sub>2</sub> merupakan semikonduktor yang paling sering digunakan sebagai fotokatalisis dalam aplikasi reaksi fotokatalitik karena memiliki beberapa keunggulan (Slamet et al., 2007), yaitu:

1. TiO<sub>2</sub> mempunyai sifat stabil terhadap cahaya (fotostabil).
2. Tahan terhadap foto-korosi.
3. Sifat kimia yang stabil.

4. Tidak beracun.
5. Aktivitas fotokatalitik yang tinggi.
6. Mampu dengan baik menyerap cahaya ultraviolet
7. Memiliki kemampuan oksidasi yang tinggi, termasuk zat organik yang sulit terurai seperti haloaromatik, polimer, pestisida dan herbisida

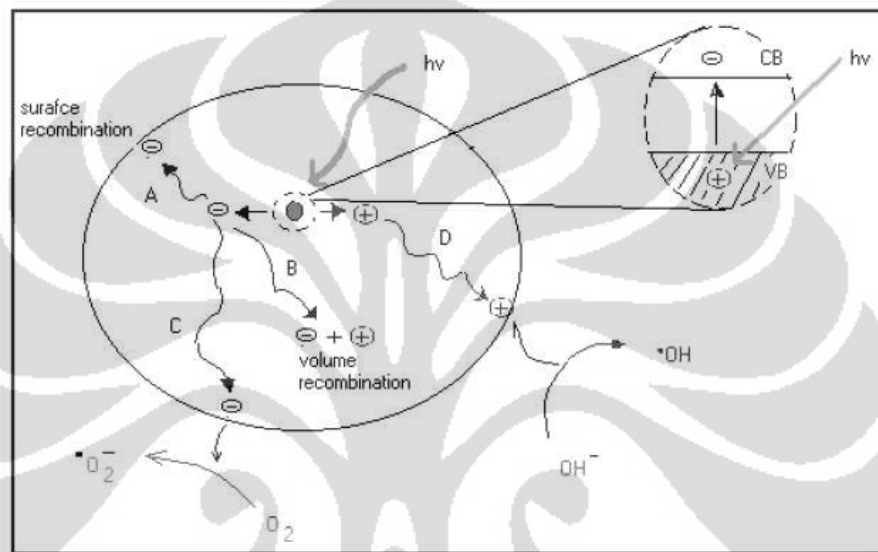
Titanium dioksida memiliki tiga jenis struktur kristal, yaitu *rutil*, *anatase*, dan *brukit*. Hanya *rutil* dan *anatase* yang cukup stabil keberadaannya dan biasa digunakan sebagai fotokatalis, sedangkan karena ketidakstabilannya *brukit* jarang dilaporkan secara ilmiah. Struktur *anatase* memiliki aktivitas fotokatalitik tertinggi. Namun, bukan berarti penggunaan 100% *anatase* menjamin performansi fotokatalis terbaik. Struktur *rutil* juga dapat digunakan untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitik, yakni karena kemampuan menyerap cahaya dan luasan aktif yang lebih besar dari *anatase*.

Penelitian ini, menggunakan Degussa P25 sebagai  $\text{TiO}_2$  komersil yang merupakan campuran dari 70% *anatase* dan 30% *rutil*. Kombinasi struktur kristal dapat meningkatkan proses fotokatalitik, dibandingkan dengan penggunaan satu jenis struktur kristal. Hal ini dikarenakan bertambahnya luasan aktif untuk reaksi (Luas *anatase* =  $10\text{m}^2/\text{g}$ , *rutil* =  $20\text{ m}^2/\text{g}$ , dan Degussa P25 =  $50\text{ m}^2/\text{g}$ ) (Thiruvengkatachari, 2008).

## 2.6 Mekanisme Fotokatalisis $\text{TiO}_2$

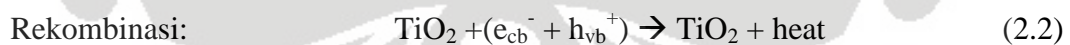
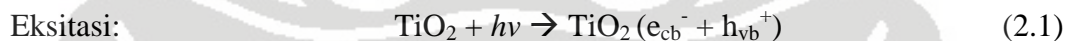
Secara umum, mekanisme fotokatalisis pada permukaan semikonduktor  $\text{TiO}_2$  dapat dijelaskan melalui Gambar 2.1 Jika semikonduktor  $\text{TiO}_2$  dikenai cahaya ( $h\nu$ ) dengan energi yang sesuai, maka elektron ( $e^-$ ) pada pita valensi akan pindah ke pita konduksi, dan meninggalkan lubang positif (*hole*+, disingkat sebagai  $h^+$ ) pada pita valensi. Peristiwa ini disebut eksitasi. Namun, sebagian besar pasangan  $e^-$  dan  $h^+$  ini akan berekombinasi kembali, baik di permukaan partikel (jalur A) atau didalam *bulk* partikel (jalur B). Sementara itu sebagian pasangan  $e^-$  dan  $h^+$  dapat bertahan sampai pada permukaan semikonduktor (jalur C dan D), dimana  $h^+$  dapat menginisiasi reaksi oksidasi dan dilain pihak  $e^-$  akan menginisiasi reaksi reduksi zat kimia yang ada disekitar permukaan semikonduktor (Gunlazuardi, 2001). Pada prinsipnya, reaksi oksidasi pada

permukaan semikonduktor dapat berlangsung melalui donasi elektron dari substrat ke  $h^+$  (menghasilkan radikal pada substrat yang akan menginisiasi reaksi berantai). Semakin kuat intensitas absorpsi UV, maka makin banyak elektron yang mampu dipromosikan dari pita valensi ke pita konduksi. Artinya makin banyak pula elektron ( $e^-$ ) dan lubang ( $h^+$ ) yang dihasilkan. Dengan demikian, aktivitas fotokatalitik akan semakin meningkat (Liuxue et al., 2008).



**Gambar 2. 1** Ilustrasi Foto-eksitasi dan De-eksitasi pada Semikonduktor TiO<sub>2</sub> (Gunlazuardi, 2001)

Peristiwa eksitasi dan rekombinasi yang terjadi dapat ditulis dalam persamaan berikut:



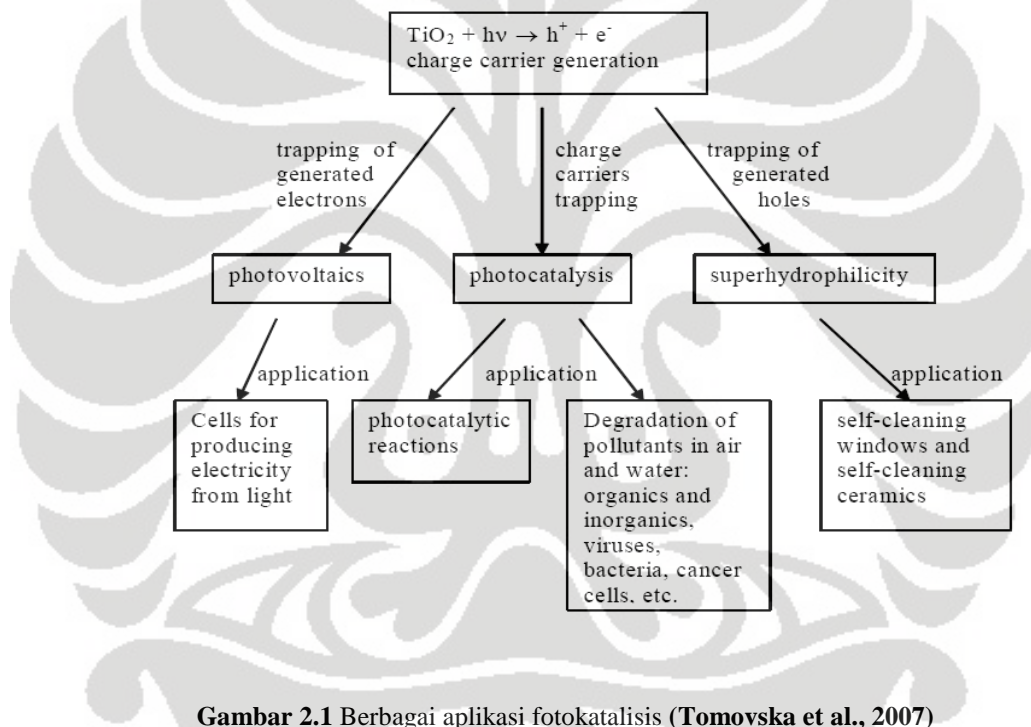
Dengan dominasi peristiwa rekombinasi jika semikonduktor tersinari oleh cahaya ( $h\nu$ ) dengan energi yang sesuai, maka panas yang dihasilkan dapat menjadi daya tarik tersendiri bagi nyamuk. Panas ini diperkirakan menyerupai panas tubuh manusia.

Apabila potensial oksidasi yang dimiliki oleh  $h^+$  pada pita valensi ini cukup besar untuk mengoksidasi air dan/atau gugus hidroksil pada permukaan partikel maka akan dihasilkan radikal hidroksil. Radikal hidroksil adalah spesi pengoksidasi kuat yang pada pH = 1 memiliki potensial redoks sebesar 2,8 Volt

(relatif terhadap elektroda hidrogen Nernst). Potensial sebesar ini cukup kuat untuk mengoksidasi kebanyakan zat organik menjadi air, asam mineral dan karbon dioksida (Gunlazuardi, 2001). Prinsip semacam inilah yang seringkali dijadikan dasar untuk aplikasi penghilangan spesi organik berbahaya.

## 2.7 Aplikasi Fotokatalisis

Gambar 2.2 di bawah ini menunjukkan berbagai aplikasi dari proses fotokatalisis. Melalui pasangan elektron dan lubang pada reaksi fotokatalisis, maka kita dapat memperoleh berbagai keuntungan seperti sumber energi, degrasi polutan air dan udara, serta fungsi swa-bersih.



**Gambar 2.1** Berbagai aplikasi fotokatalisis (Tomovska et al., 2007)

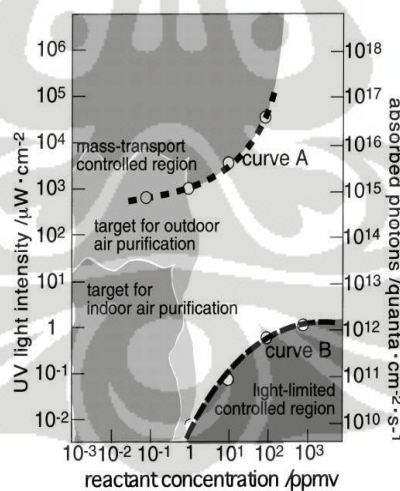
- **Purifikasi Udara**

Banyak cara yang digunakan untuk meminimalkan polusi udara dalam ruangan, misalnya saja dengan mengeliminasi sumber polutan, pemilihan material yang punya emisi rendah, pengembangan ventilasi di ruangan, adsorpsi oleh karbon aktif atau zeolit alam Lampung, dan penggunaan cerobong. Dari berbagai teknik yang ditawarkan untuk mengurangi polusi di dalam ruangan, fotokatalisis merupakan pilihan proses yang sangat efektif. Fotokatalisis

menawarkan proses oksidasi terdepan dimana mampu mendegrasi berbagai polutan udara di dalam ruangan menjadi karbondioksida dan air (Furman et al., 2007). Secara keseluruhan, reaksi oksidasi fotokatalitik untuk mendegradasi polutan adalah sebagai berikut:



Dengan mekanisme fotokatalisis yang telah diutarakan sebelumnya, polutan di udara dapat didegradasi sehingga kualitas udara pun akan semakin baik. Berbagai studi menunjukkan bahwa polutan udara di dalam ruangan lebih tinggi dari polutan udara luar ruangan. Selain itu, sebagian besar orang menghabiskan lebih dari 80% waktunya di dalam ruangan. Hal ini berkontribusi pada lebih tingginya resiko yang ditimbulkan akibat inhalasi (Ao, 2005). Karena konsentrasi polutan di dalam ruangan relatif lebih kecil dibanding di luar ruangan, maka proses fotokatalisis sangat mungkin untuk diaplikasikan untuk mendegradasi polutan yang berada dalam ruangan. Dari Gambar 2.3 di bawah ini, kita dapat melihat target purifikasi udara dalam ruangan dimana hanya dengan intensitas sinar UV yang relatif kecil, maka degradasi polutan dalam ruangan pun akan cukup efektif (Fujishima et al., 2000).



**Gambar 2. 2** Target Purifikasi Udara Ruang (Fujishima et al., 2000)

Pada berbagai penelitian tentang proses degradasi polutan udara dengan reaksi oksidasi fotokatalitik, seringkali produk akhir yang dihasilkan tidak hanya karbondioksida dan air. Terkadang terdapat produk samping berupa senyawa-senyawa antara (*intermediates*) yang dapat bersifat pemanen dan stabil. Misalnya

butanal dan 1-butanoic merupakan senyawa antara dari 1-butanol. Selain itu, asetaldehida, asam asetat, formaldehida, asam formiat merupakan senyawa-senyawa antara dari etanol. Sebenarnya, senyawa antara ini dapat didegradasi secara sempurna jika waktu reaksi cukup sehingga tidak terdeteksi pada aliran gas keluar. Terbentuknya senyawa antara harus dihindari karena selain dapat menutupi sisi aktif katalis, senyawa antara juga dapat bertindak sebagai polutan sekunder (Zhao, 2003).

## 2.8 Proses Adsorpsi

Proses adsorpsi adalah peristiwa tertariknya suatu molekul tertentu dari fluida (cair atau gas) pada permukaan zat padat (adsorben). Hal ini terjadi dikarenakan adanya ketidakseimbangan gaya-gaya molekul pada permukaan zat padat, yang cenderung menarik molekul lain yang bersentuhan pada permukaannya. Zat yang terserap/tertarik pada permukaan padatan disebut fasa teradsorpsi atau adsorbat, sedangkan zat yang menarik disebut adsorben (Ellyana, 2006).

Berdasarkan polaritas permukaannya, adsorben dapat digolongkan menjadi dua, yaitu adsorben polar yang bersifat hidrofilik dan adsorben non-polar yang bersifat hidrofobik. Yang termasuk adsorben polar diantaranya adalah zeolit dan silika gel, sedangkan karbon aktif dan silikat termasuk adsorben nonpolar. Berdasarkan kristalinitas adsorben, karbon aktif dan silika gel termasuk adsorben amorf, sedangkan zeolit dan silikat tergolong adsorben kristalin (Slamet et al., 2007).

Berdasarkan interaksi molekular antara permukaan adsorbat, maka adsorpsi dapat dibagi menjadi dua yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisika terjadi tanpa adanya reaksi antara molekul-molekul adsorbat dengan permukaan adsorben sehingga molekul-molekul adsorbat terikat secara lemah oleh adanya gaya van der Waals dan dapat bergerak dari suatu bagian permukaan ke bagian permukaan lain dari adsorben. Adsorpsi fisika ini berlangsung cepat, bersifat reversibel dan panas adsorpsinya rendah. Pada adsorpsi kimia terjadi reaksi antara molekul-molekul adsorbat dengan permukaan adsorben. Adsorpsi kimia bersifat irreversibel, terjadi pada suhu tinggi, panas

adsorpsinya tinggi dan hanya membentuk satu lapisan tunggal (*monolayer*). Proses adsorpsi yang terjadi pada zeolit adalah proses adsorpsi fisika.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi zeolit adalah luas permukaan, ukuran pori serta kemurnian zeolit. Bertambahnya luas permukaan zeolit maka jumlah adsorbat yang dapat diadsorpsi akan bertambah. Adsorben yang digunakan tidak banyak mengandung zat-zat pengotor lain sehingga daya adsorpsinya lebih baik.

### 2.8.1 Adsorben Zeolit Alam Lampung

Zeolit umumnya didefinisikan sebagai kristal alumina silikat yang berstruktur tiga dimensi, yang terbentuk dari tetrahedral alumina dan silika dengan rongga-rongga di dalam yang berisi ion-ion logam, biasanya alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas. Secara empiris, rumus molekul zeolit adalah  $M_{x/n} \cdot (AlO_2)_x \cdot (SiO_2)_y \cdot xH_2O$ . Struktur zeolit sejauh ini diketahui bermacam-macam, tetapi secara garis besar strukturnya terbentuk dari unit bangun primer, berupa tetrahedral yang kemudian menjadi unit bangun sekunder polihedral dan membentuk polihendra dan akhirnya unit struktur zeolit. Tabel 2.4 menunjukkan beberapa contoh jenis mineral zeolit beserta rumus kimianya.

**Tabel 2.4** Jenis Mineral Zeolit Beserta Rumus Kimianya (chem-is-try, 2007)

Nama Mineral	Rumus Kimia Unit Sel
Analsim	$Na_{16}(Al_{16}Si_{32}O_{96}) \cdot 16H_2O$
Kabasit	$(Na_2, Ca)_6 (Al_{12}Si_{24}O_{72}) \cdot 40H_2O$
Klipnoptolit	$(Na_4K_4)(Al_8Si_4O_{96}) \cdot 24H_2O$
Erionit	$(Na, Ca_5K) (Al_9Si_{27}O_{72}) \cdot 27H_2O$
Ferrerit	$(Na_2Mg_2)(Al_6Si_{30}O_{72}) \cdot 18H_2O$
Heulandit	$Ca_4(Al_8Si_{28}O_{72}) \cdot 24H_2O$
Laumonit	$Ca(Al_8Si_{16}O_{48}) \cdot 16H_2O$
Mordenit	$Na_8(Al_8Si_{40}O_{96}) \cdot 24H_2O$
Filipsit	$(Na, K)_{10}(Al_{10}Si_{22}O_{64}) \cdot 20H_2O$
Natrolit	$Na_4(Al_4Si_6O_{20}) \cdot 4H_2O$
Wairakit	$Ca(Al_2Si_4O_{12}) \cdot 12H_2O$



Zeolit memiliki sifat fisika dan kimia yang unik. Sifat-sifat unik tersebut meliputi dehidrasi, adsorben dan penyaring molekul, katalisator dan penukar ion. Zeolit memiliki sifat dehidrasi (melepaskan molekul  $H_2O$ ) apabila dipanaskan. Pada umumnya struktur kerangka zeolit akan menyusut. Tetapi kerangka dasarnya tidak mengalami perubahan secara nyata. Disini molekul  $H_2O$  seolah-olah mempunyai posisi yang spesifik dan dapat dikeluarkan secara reversibel. Sifat zeolit sebagai adsorben dan penyaring molekul, dimungkinkan karena struktur zeolit berongga, sehingga zeolit mampu menyerap sejumlah molekul yang berukuran lebih kecil atau sesuai dengan ukuran rongganya. Selain itu kristal zeolit yang telah terdehidrasi merupakan adsorben yang selektif dan mempunyai efektivitas adsorpsi yang tinggi.

Kemampuan zeolit sebagai katalis berkaitan dengan tersedianya pusat-pusat aktif dalam saluran antar zeolit. Pusat-pusat aktif tersebut terbentuk karena adanya gugus fungsi asam tipe Bronsted maupun Lewis. Perbandingan kedua jenis asam ini tergantung pada proses aktivasi zeolit dan kondisi reaksi. Pusat-pusat aktif tersebut bersifat asam ini selanjutnya dapat mengikat molekul-molekul basa secara kimiawi. Sedangkan sifat zeolit sebagai penukar ion karena adanya kation logam alkali dan alkali tanah. Kation tersebut dapat bergerak bebas didalam rongga dan dapat dipertukarkan dengan kation logam lain dengan jumlah yang sama. Akibat struktur zeolit berongga, anion atau molekul berukuran lebih kecil atau sama dengan rongga dapat masuk dan terjebak. (Chem-Is-Try, 2007).

Ketersediaan zeolit alam di Indonesia cukup melimpah karena sebagian besar wilayah Indonesia terdiri dari batuan gunung api yang merupakan sumber mineral zeolit. Zeolit alam Lampung merupakan zeolit yang berasal dari Way Mull, Lampung yang diproduksi oleh PT. Minamata Mineral Perdana.

Zeolit alam Lampung merupakan campuran dari zeolit jenis klinoptilolit sebanyak 78%, analsim 14% dan mordenit 8%. Ukuran rongga sangat mempengaruhi daya adsorpsi zeolit. Ukuran rongga dan rasio Si/Al beberapa jenis zeolit dapat dilihat pada Tabel 2.5. Ukuran rongga dan rasio Si/Al sangat mempengaruhi daya adsorpsi zeolit. Dari Tabel 2.5, kita dapat memperkirakan berapa rasio Si/Al dan ukuran pori zeolit alam Lampung yang akan digunakan. Zeolit dapat dimanfaatkan sebagai adsorben maupun sebagai penyangga katalisis.

Molekul-molekul zat dengan diameter tertentu akan dapat melewati dan menempati pori-pori dan rongga dari zeolit, molekul yang terlalu besar akan ditolak. Zeolit memiliki kemampuan untuk mengkonsdensasi gas yang teradsorpsi.

**Tabel 2.5** Ukuran rongga (A) dan rasio Si/Al beberapa jenis zeolit (Sutarti, 1994)

Jenis Zeolit	Ukuran Rongga (A)	Si/Al	Kapasitas tukar kation (meq/g)
Analsim	2.6	4	4.9
Klipnoptilolit	3.7 x 4.2	4	4.9
	4.0 x 5.5	10	
Erionit	3.6 x 5.5	5	2.6
Ferririt	3.6 x 5.2	11	3.3
	3.4 x 4.6		
Mordenit	6.7 x 7.0	10	2.4
	2.9 x 5.7		
Filipsit	4.2 x 4.4	4.4	4.7
	4.3 x 4.0		

Zeolit yang merupakan adsorben polar yang bersifat hidrofilik, ternyata dapat menyerap zat organik maupun anorganik. Kemampuan zeolit menyerap zat organik maupun anorganik ini, bergantung dari rasio Si/Al dalam zeolit. Makin rendah rasio Si/Al maka zeolit akan cenderung memilih molekul-molekul yang polar (air dan amoniak) untuk diadsorpsi. Sebaliknya, jika rasio Si/Al makin tinggi maka zeolit cenderung memilih molekul-molekul non-polar (senyawa organik) untuk diadsorpsi. Hal ini disebabkan karena dengan semakin rendahnya rasio Si/Al dalam zeolit maka dalam zeolit tersebut akan timbul gradien medan elektronik yang makin besar sehingga molekul-molekul polar akan berinteraksi lebih kuat dengan medan elektronik itu daripada molekul-molekul non-polar.

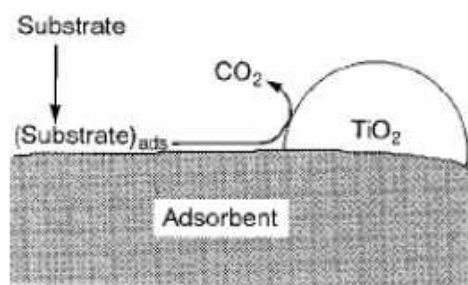
Zeolit digunakan sebagai penyangga katalis karena struktur kristalnya berpori dan memiliki luas permukaan yang besar, tersusun oleh kerangka silika-alumina, memiliki stabilitas termal yang tinggi, harganya murah serta ketersediaannya cukup melimpah. Dispersi katalis/logam aktif ke permukaan penyangga katalis bertujuan untuk memperluas permukaan katalis dan memperbanyak jumlah situs aktif. Dengan demikian diharapkan kontak antara reaktan dengan katalis akan semakin banyak sehingga reaksi akan berlangsung mudah dan cepat. Selain itu, penggunaan penyangga katalis adalah untuk

mengatur jumlah katalis/logam aktif yang dibutuhkan, meningkatkan aktivitas katalis serta daya tahan kerja katalis (Slamet et al.,2007).

### **2.8.2 Adsorben sebagai Penyangga Fotokatalis**

Kehadiran penyangga diperlukan terutama untuk meningkatkan kualitas sifat tekstur demi efektivitas kontak dengan reaktan. Sifat-sifat tekstur tersebut dapat meningkatkan kontak antara katalis dengan reaktan sehingga laju reaksi dapat ditingkatkan. Selain itu, penyangga yang meningkatkan porositas dapat mencegah lolosnya produk antara yang beracun ke lingkungan (Slamet et al.,2007).

Penyangga katalis  $\text{TiO}_2$  harus memiliki konfigurasi dan luas area yang besar sehingga memungkinkan radiasi UV ke seluruh partikel katalis berlangsung efisien (meningkatkan luas reaksi dan luas penyerapan) (Tomosvka et al., 2007). Salah satu tahap kritis dalam reaksi oksidasi senyawa organik adalah tahap inisiasi pembentukan radikal hidroksil (oksidator polutan) yang diproduksi di permukaan fotokatalis. Oleh karenanya, adsorbabilitas polutan ke permukaan fotokatalis adalah suatu faktor yang penting dalam mengevaluasi efisiensi reaksi fotokatalitik. Untuk meningkatkan efisiensi dekomposisi, fotokatalis sebaiknya dimuati dengan adsorben tertentu untuk mengkonsentrasikan polutan pada permukaan fotokatalis. Memilih adsorben yang tepat dengan kemampuan adsorpsi yang lebih baik perlu dilakukan (Lu et al., 1999). Ide penggunaan adsorben dengan luas permukaan yang besar dan kapasitas adsorpsi tinggi, misalnya zeolit, karbon aktif, dan silika terbukti mampu meningkatkan aktivitas katalis. Dengan penggunaan adsorben, adsorpsi senyawa objek pada permukaan penyangga dan difusi pada permukaan interfasa antara sisi aktif fotokatalisis dan sisi inert yang adsorptif akan terjadi seperti yang terlihat pada Gambar 2.4. Selain itu, deaktivasi katalis dan kemungkinan terbentuknya senyawa *intermediate* yang berbahaya akan menurun secara signifikan. Walaupun aktivitas fotokatalitik yang dihasilkan bukanlah yang terbaik, proses semacam ini sangatlah efektif untuk konsentrasi polutan tingkat rendah seperti untuk aplikasi dalam ruangan.



**Gambar 2. 3** Mekanisme Degradasi Polutan pada Adsorben sebagai Penyangga  $\text{TiO}_2$  (Slamet et al., 2007)

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan manfaat penggunaan adsorben sebagai penyangga  $\text{TiO}_2$  (Matsuoka dan Anpo, 2003 ; Takeda et al., 1995; Torimoto et.al, 1996; Yoneyama dan Torimoto, 2000):

- Meningkatkan konsentrasi senyawa yang akan didegradasi pada sekitar ruang  $\text{TiO}_2$ , sehingga dapat meningkatkan laju reaksi.
- Meningkatkan kemampuan adsorpsi katalis. Bila kemampuan adsorpsi meningkat maka kinetika fotokatalitik meningkat karena fotokatalis dapat langsung mengoksidasi polutan tersebut.
- Penggunaan penyangga dapat mendispersikan fotokatalis  $\text{TiO}_2$  sehingga luas permukaan katalis menjadi lebih besar dan fotokatalis menjadi lebih aktif.
- Polutan teradsorpsi oleh penyangga kemudian dioksidasi oleh fotokatalis, sehingga *intermediate* yang terbentuk pun akan teradsorpsi oleh penyangga yang selanjutnya akan dioksidasi lagi oleh fotokatalis.
- Polutan yang teradsorpsi oleh penyangga dapat langsung dioksidasi oleh fotokatalis menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  sehingga adsorben akan membutuhkan waktu yang cukup lama untuk menjadi jenuh. Jadi adsorben diregenerasi secara insitu oleh fotokatalis, sehingga proses degradasi polutan dapat berlangsung dalam waktu yang cukup lama dan lebih efisien.

Daya adsorpsi adsorben mempengaruhi kinerja material adsorpsi-fotokatalis terintegrasi (AFT). Makin tinggi daya adsorpsi adsorben yang digunakan maka laju fotodegradasi akan semakin meningkat. Setiap adsorben memiliki kemampuan adsorpsi yang berbeda-beda untuk tiap jenis senyawa yang

diadsorpsi. Oleh karena itu pemilihan adsorben yang tepat untuk mengadsorpsi suatu senyawa tertentu perlu diperhatikan. Selain itu hal yang perlu diperhatikan adalah kemampuan terdifusinya adsorbat ke fotokatalis  $\text{TiO}_2$ . Bila kemampuan terdifusinya adsorbat ke fotokatalis  $\text{TiO}_2$  tinggi, maka keaktifan material AFT dan laju fotodegradasi akan meningkat (Yoneyama, H.2000).

## **2.9 Aktivasi Zeolit dengan Metode Dealuminasi**

Terdapat beberapa metode aktivasi zeolit yaitu metode kalsinasi, metode pertukaran ion dan metode dealuminasi. Pada penelitian ini akan dilakukan aktivasi zeolit dengan metode dealuminasi untuk mengurangi kadar alumina dalam zeolit atau meningkatkan rasio Si/Al. Dengan meningkatnya rasio Si/Al pada zeolit diharapkan adsorpsi senyawa organik yaitu asetaldehida dan toluena dapat meningkat. Proses dealuminasi akan menyebabkan pergeseran aluminium tetrahedral dari posisi rangka ke posisi non rangka. Pada penelitian ini, proses dealuminasi akan dilakukan dengan merendam zeolit dalam larutan asam klorida dengan konsentrasi yang relatif pekat dan waktu yang cukup lama sehingga Al dalam kerangka menjadi diluar kerangka (perlakuan asam).

Selain mengekstraksi alumina dalam kerangka, proses dealuminasi dapat mengakibatkan ketidakstabilan kerangka oksigen. Akibatnya atom Si berpindah ketempat kosong yang ditinggalkan Al. Sehingga ukuran unit sel menyusut. Penyusutan tersebut mengakibatkan meningkatnya rasio Si/Al dan mengecilnya ukuran pori. Pengecilan ukuran pori perlu diperhatikan karena zeolit tidak hanya berperan sebagai penyangga katalis tetapi juga berperan sebagai adsorben. Bila pengecilan ukuran pori zeolit terjadi akibat proses dealuminasi maka perlu dilakukan optimasi agar ukuran pori zeolit masih cukup besar untuk mengadsorpsi senyawa organik. Meningkatnya rasio Si/Al akan membuat zeolit aktif mengadsorpsi senyawa organik (Handoko,2002).

## **2.10 Karakterisasi Fotokatalis**

### **2.10.1 Karakterisasi BET**

Karakterisasi BET digunakan untuk mengukur luas permukaan katalis dengan penentuan jumlah molekul gas yang dibutuhkan untuk menutupi

permukaan katalis dengan satu lapis (*monolayer*) zat yang diserap (adsorbat) dan dengan mengetahui luas permukaan yang ditempati oleh satu molekul adsorbat. Fenomena ini terjadi jika suatu gas dialirkan pada suatu permukaan logam yang bersih maka gas tersebut sebagian akan menempel pada permukaan logam dan membentuk suatu lapisan yang lemah. Ikatan yang lemah ini akan terbentuk karena adanya gaya van der Waals. Ikatan ini dapat diputuskan dengan mudah dengan cara *degassing*, yaitu dengan memanaskan katalis selama 2-3 jam pada suhu sekitar 120-200°C (Slamet et al., 2007).

Dalam metode BET, cara yang dikembangkan oleh Brunauer–Emmett–Teller pada tahun 1938 ada dua yaitu *single point* dan *multi point*. Pengukuran *single point* dilakukan bila profil isoterm telah diketahui dan dilaksanakan pada suatu nilai tekanan parsial adsorbat di mana profil isotermnya linier. Sedangkan pengukuran *multi point* dilakukan jika profil isotermnya belum diketahui dilakukan dengan memvariasikan nilai tekanan parsial adsorbat pada rentang  $0.05 < (P/P_o) < 0.35$ . Bila adsorbat yang digunakan adalah gas nitrogen, maka nitrogen cair digunakan sebagai media pendinginnya. Selain itu, melalui karakterisasi BET kita juga dapat mengetahui volume pori-pori total dan diameter pori rata-rata. Panas adsorpsi untuk semua lapisan kecuali lapisan pertama dianggap sama dengan panas kondensasi gas yang diadsorp (Slamet et al., 2007). Jumlah lapisan yang diadsorp ditunjukkan dengan persamaan (Maron dan Lando, 1974):

$$\frac{P}{V(P_o - P)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{(C-1)P}{V_m C P_o} \quad (2.4)$$

dengan :

V = volume gas yang diadsorp pada tekanan P

V<sub>m</sub> = volume gas yang diadsorp dalam lapisan tunggal

P<sub>o</sub> = tekanan saturasi gas yang diadsorp pada temperatur percobaan

C = konstanta yang dihubungkan secara eksponensial dengan panas adsorpsi dan pencairan gas.

Persamaan di atas dapat dibuat satu grafik yang linear dengan mem-plot antara  $P/V(P_o - P)$  vs  $P/P_o$  sehingga didapat *slope* =  $(C-1)/V_m C$  dan *intercept* =  $1/V_m C$ . Dari hubungan di atas kita dapat menghitung harga  $V_m$  dan dengan

diketuinya  $V_m$  maka luas permukaan total katalis dapat dihitung (Maron dan Lando, 1974).

### 2.10.2 Karakterisasi SEM

*Scanning Electron Microscope* (SEM) adalah mikroskop yang menggunakan hamburan elektron sebagai ganti cahaya untuk membentuk bayangan/gambar. Alat ini memiliki banyak keuntungan jika dibandingkan dengan mikroskop cahaya. SEM menghasilkan bayangan dengan resolusi yang tinggi, artinya pada jarak yang sangat dekat tetap dapat menghasilkan perbesaran yang maksimal tanpa memecahkan gambar (Sartono, 2006b). Elektron diproduksi pada bagian atas mikroskop dengan menggunakan *electron gun*. Kemudian elektron akan melintasi lintasan vertikal dalam kondisi vakum di sepanjang mikroskop. Ketika sinar elektron ini menumbuk sampel, maka sejumlah elektron dan sinar-X akan dipancarkan. Detektor akan mengumpulkan sinar X-ray dan elektron (*secondary electrons* dan *backscattered electrons*) dan mengubahnya menjadi sinyal yang dikirim ke layar yang mirip dengan layar televisi. Tahap inilah yang akan memproduksi gambar (Purdue, 2006).

Karena SEM digunakan pada kondisi vakum dan menggunakan elektron untuk membentuk gambar, perlu dilakukan preparasi khusus pada sampel. Semua air harus dihilangkan dari sampel karena air dapat menguap pada kondisi vakum. Semua logam bersifat konduktif dan tidak memerlukan preparasi sebelum digunakan. Semua non-logam harus dibuat konduktif terlebih dahulu dengan melapisi sampel dengan lapisan tipis material konduktif. Alat yang digunakan untuk melapisi sampel non-logam disebut *sputter coater* (Purdue, 2006). Ketebalan sampel tidak berpengaruh seperti pada Mikroskop Elektron Transmisi (TEM). Karena itu sampel yang tebal sekalipun (bulk) dapat dianalisis dengan SEM. Kombinasi dari perbesaran kedalaman jarak fokus, resolusi yang bagus, dan persiapan yang mudah membuat SEM merupakan satu dari alat-alat yang sangat penting untuk digunakan dalam penelitian saat ini (Sartono, 2006b)

## 2.11 Teknik Analisis

### 2.11.1 *Gas Chromatography (GC)*

Teknik analisis kromatografi gas digunakan untuk melihat efisiensi proses fotokatalisis dalam mendegradasi senyawa sampel gas yang akan dijadikan model polutan udara dengan cara mengukur perubahan konsentrasi sampel tersebut dalam selang waktu yang ditentukan (Harris, 1995).

Dalam kromatografi gas, proses pemisahan komponen-komponen sampel dalam kromatografi gas berlangsung di dalam kolom berdasarkan pada interaksi komponen sampel dan fasa diam. Interaksi tersebut dapat berupa absorpsi atau partisi. Jika fasa diamnya berupa padatan berpori maka peristiwanya adalah absorpsi dan bila fasa diamnya berupa cairan peristiwanya partisi gas-cair. Proses kromatografi gas mirip dengan peristiwa gabungan antara ekstraksi dan destilasi. Proses pemisahannya dapat dipandang sebagai serangkaian peristiwa partisi, dimana sampel masuk ke dalam fasa cair, dan selang beberapa waktu akan teruapkan kembali.

Interaksi antara sampel dengan fasa diam (cair) sangat menentukan beberapa lama komponen-komponen sampel akan ditahan. Komponen-komponen yang mempunyai afinitas lebih rendah (tidak suka) terhadap fasa diam akan keluar dari kolom lebih dahulu. Sedangkan komponen-komponen dengan afinitas lebih besar (larut dengan baik) terhadap fasa diam akan keluar kolom kemudian (Sunardi, 2006).

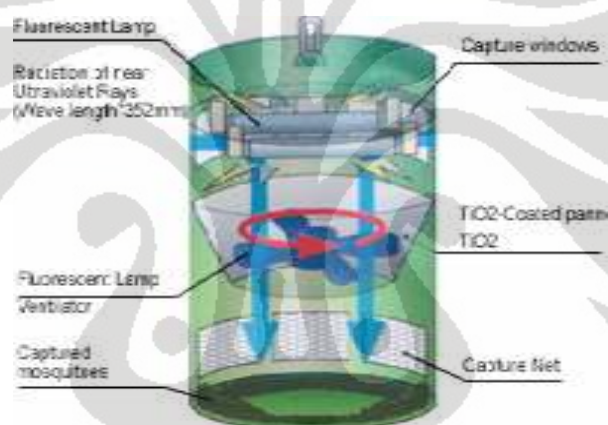
Intensitas puncak pada kromatogram yang dihasilkan dari sampel yang terdegradasi diharapkan akan menurun seiring dengan penambahan waktu reaksi. Adanya penurunan puncak pada kromatogram akan menunjukkan degradasi senyawa sampel. Perubahan konsentrasi terhadap waktu reaksi dapat dianalisa secara kuantitatif dengan menggunakan kromatogram diatas. Luas dibawah puncak kromatogram sebanding dengan konsentrasi sampel (Harris, 1995).

## 2.12 Paten dan Penelitian Terkait

- *Sertifikasi Patent International No. PCT/KR/01-00427 dan Korean Domestic Patent No. 43847 (2001).*



Reaksi fotokatalis di permukaan  $\text{TiO}_2$  dapat menghasilkan dua hal sekaligus, yaitu  $\text{CO}_2$  yang mirip dengan hembusan nafas manusia dan spektrum panas yang mirip dengan panas tubuh manusia. Kedua hal tersebut ditambah dengan adanya lampu UV (sebagai sumber energi foton) diduga akan bersinergi mengelabui nyamuk untuk mendekat sehingga segera terhisap masuk dalam jaring perangkap yang telah dirancang khusus, dan mati karena dehidrasi. Alat ini mampu memusnahkan nyamuk atau serangga, tanpa asap, tanpa bau, tanpa bahan kimia (disklorovos), tidak menyebabkan bakteri dan suara bising akibat hentakan sengatan listrik, cocok untuk pemakaian *indoor* maupun *outdoor*. Kemampuan degradasi polutan udara ruang kurang efektif karena waktu kontak polutan udara ruang terhadap proses fotokatalisis yang terjadi sangat pendek.



**Gambar 2.54** Tampak samping alat perangkap nyamuk berbasis fotokatalisis

- ***Rekayasa Alat Yang Berfungsi Sebagai Perangkap Nyamuk Dan Purifikasi Udara Ruang Dengan Prinsip Fotokatalisis*** (dari Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia oleh Sylvia Yusim pada tahun 2008).

Reaksi fotokatalis di permukaan  $\text{TiO}_2$  dapat menghasilkan dua hal sekaligus, yaitu  $\text{CO}_2$  yang mirip dengan hembusan nafas manusia dan spektrum panas yang mirip dengan panas tubuh manusia yang diduga akan bersinergi mengelabui nyamuk untuk mendekat sehingga segera terhisap masuk dalam jaring perangkap dan mati karena dehidrasi. Alat ini efektif memusnahkan nyamuk atau serangga, cocok untuk pemakaian *indoor* maupun *outdoor*, menggunakan adsorben karbon aktif untuk meningkatkan keefektifan proses fotokatalisis, menerapkan

self cleaning pada kipas. Kemampuan degradasi polutan udara ruang kurang efektif karena waktu kontak polutan udara ruang terhadap proses fotokatalisis yang terjadi sangat pendek.



**Gambar 2.6** Prototipe Alat Perangkap Nyamuk (Yusim, 2009)

Penelitian ini melanjutkan penelitian sebelumnya dengan menggunakan kombinasi  $\text{TiO}_2$  dan zeolit alam Lampung. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui kondisi optimal penggunaan  $\text{TiO}_2$ -ZAL dalam menarik nyamuk dan purifikasi udara.

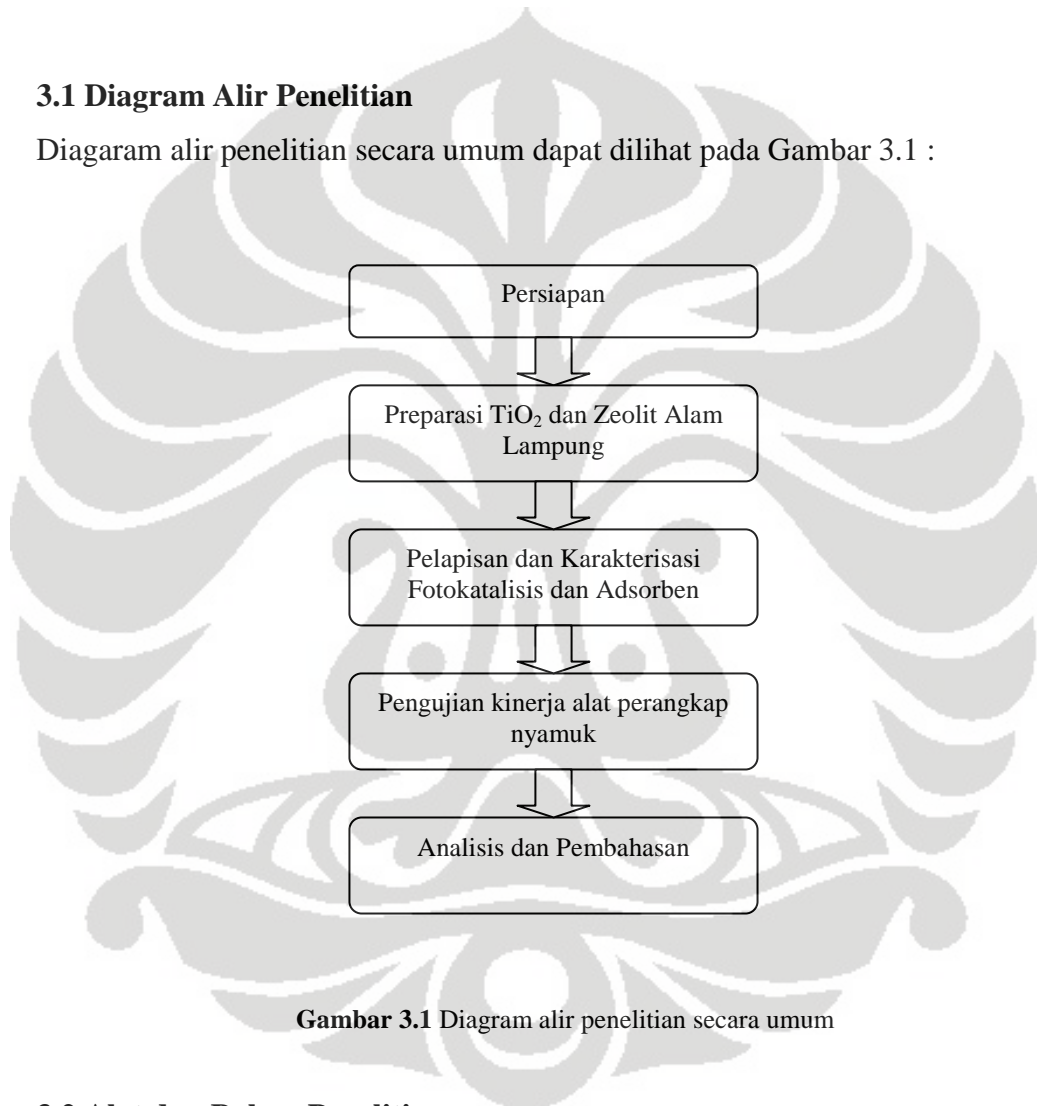
## BAB 3

### METODE PENELITIAN

Percobaan dilakukan di Laboratorium Rekayasa Produk Kimia dan Alam (Lab. RPKA) dan Laboratorium Dasar Proses Kimia (Lab. DPK) Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik.

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian secara umum dapat dilihat pada Gambar 3.1 :



**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian secara umum

#### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

##### 3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian yaitu :

- Alat ultrasonifikasi
- *Beaker glass*
- Cawan porselen

- Corong
- *Gas chromatography*
- Gelas Ukur
- Kaca arloji
- Kertas saring
- Lampu UV-A 4W
- Mortar
- *Magnetic stirrer*
- Pipet tetes dan pipet volume
- *Programmable Furnace*
- Spatula kaca
- *Sampling tube*
- *Sieve*
- *Syringe*
- Timbangan mekanik

### 3.2.2 Bahan

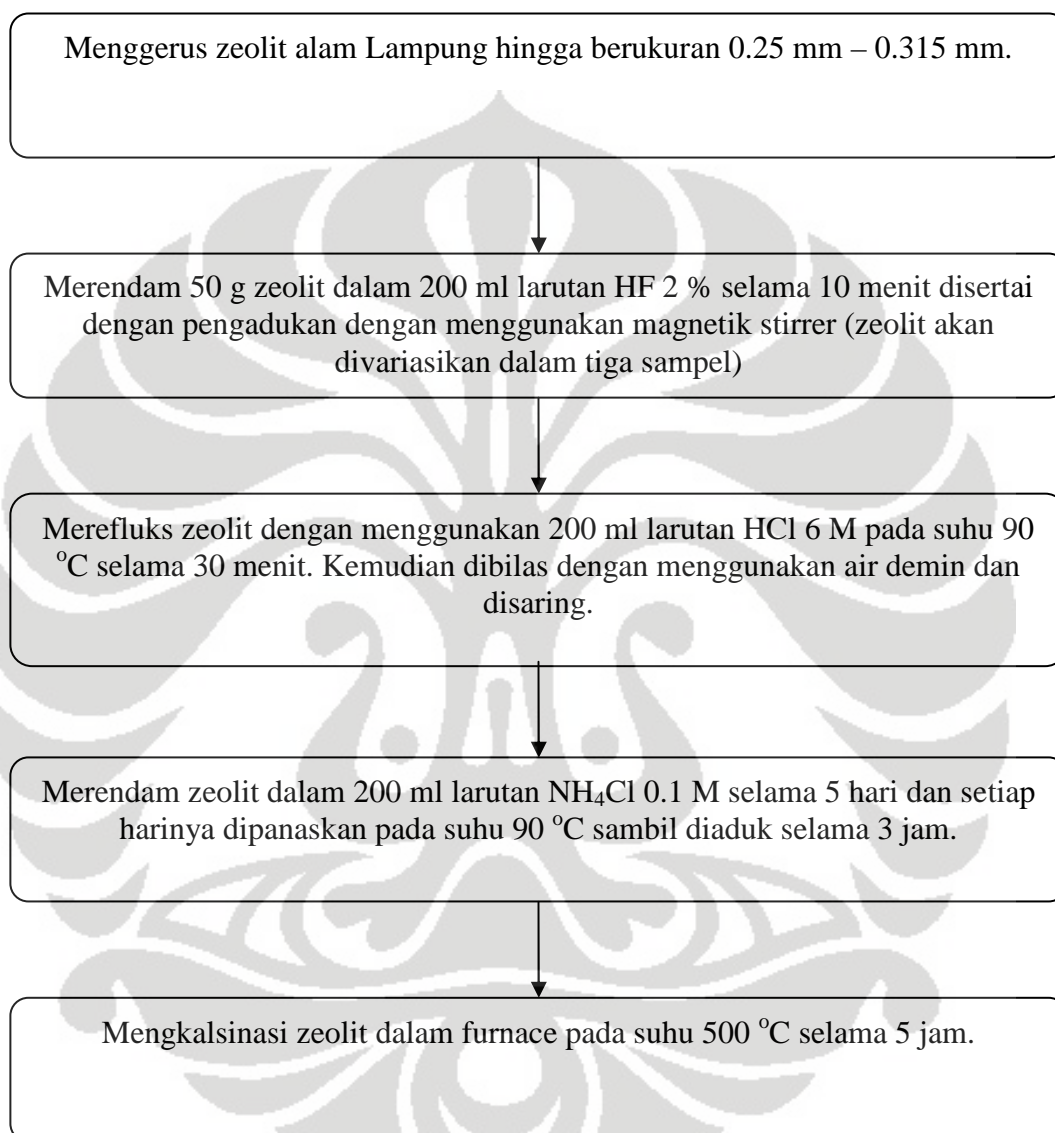
Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu :

- Zeolit Alam Lampung : sebagai adsorben.
- HF 2% (Merck): sebagai pelarut oksida-oksida pengotor.
- HCl 6 M (Merck): sebagai pengekstrak aluminium dalam zeolit.
- NH<sub>4</sub>Cl 0.1 M (Merck): sebagai pemerkuat struktur.
- *Demineralized water*: sebagai pelarut TiO<sub>2</sub> dan zeolit alam Lampung
- Bubuk TiO<sub>2</sub> Degussa-P25 (luas area: 53,6 m<sup>2</sup>/g dan struktur: 79,23% anatase dan 20,77% rutil): sebagai fotokatalis.
- Aseton (Merck) : sebagai pembersih pelat aluminium.
- Toluena pro analysi (Merck) : sebagai model polutan udara.
- Asetaldehida pro analysi (Merck) : sebagai model polutan udara.

### 3.3 Prosedur Penelitian

#### 3.3.1 *Treatment* Awal Zeolit Alam Lampung

Secara ringkas *treatment* awal zeolit alam Lampung dapat dilihat pada Gambar 3.2 dibawah ini :



**Gambar 3.2** Diagram alir *treatment* awal zeolit alam Lampung

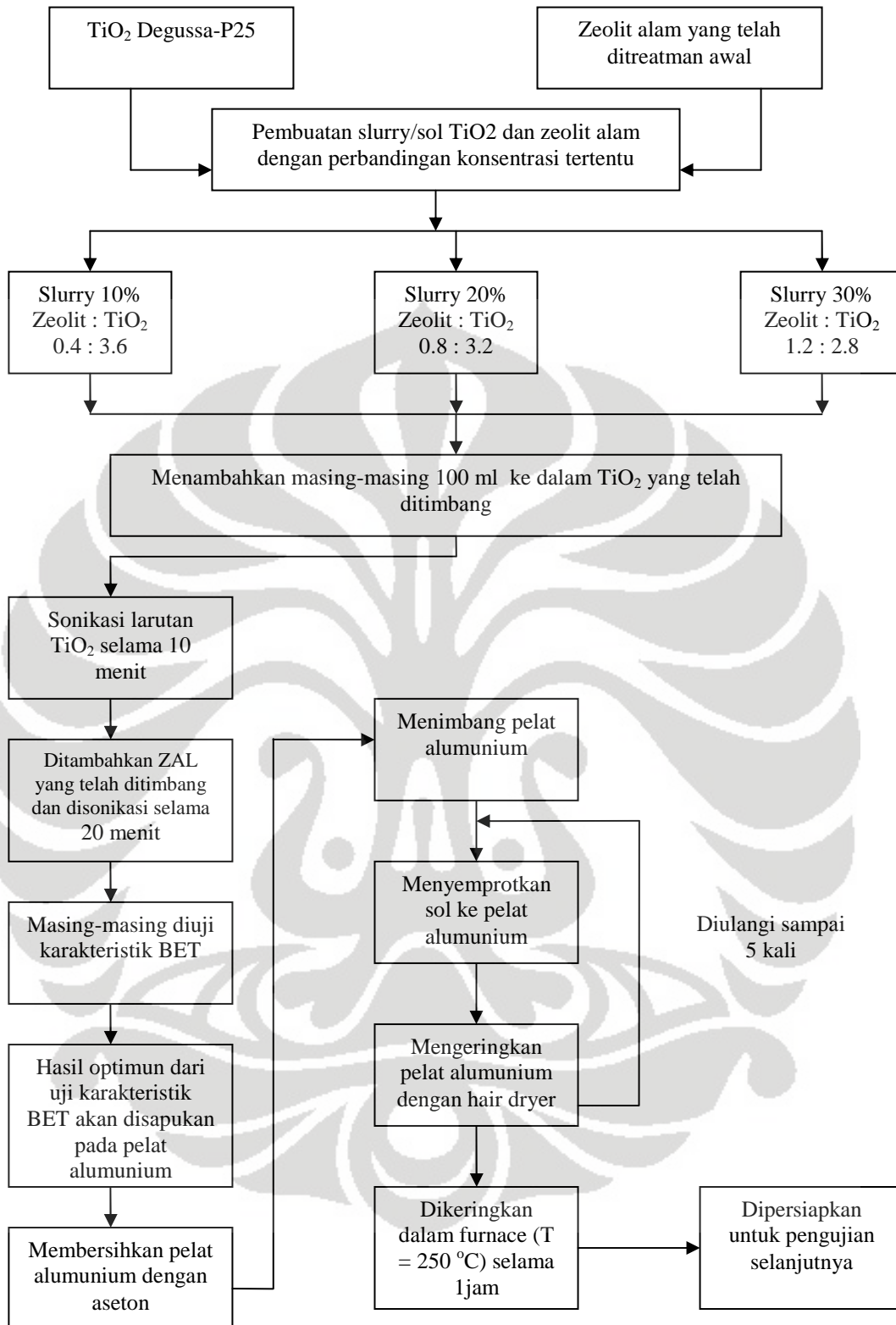
Pada penelitian ini dilakukan *treatment* awal zeolit alam Lampung dengan menggunakan metode dealuminasi. Secara lengkap prosedurnya yaitu:

1. Menggerus zeolit alam Lampung hingga berukuran 0.25 mm- 0.315 mm

2. Merendam 50 g zeolit dengan 200 ml larutan HF 2% selama 10 menit disertai pengadukkan menggunakan magnetik stirrer. Setelah itu zeolit dibilas dengan air demin dan disaring. Perendaman zeolit dalam larutan HF 2% bertujuan untuk melarutkan oksida-oksida pengotor yang terdapat dalam zeolit.
3. Kemudian dilanjutkan dengan merefluks zeolit dengan 200 ml larutan HCl 6 M pada suhu 90 °C selama 30 menit. Zeolit ini kemudian dibilas dengan air demin dan disaring. Refluks zeolit dalam larutan HCl 6 M bertujuan agar alumunium dalam zeolit dapat terekstrak dan alumunium dalam kerangka menjadi alumunium luar kerangka sehingga rasio Si/Al dapat meningkat.
4. Setelah itu merendam zeolit tersebut dalam 200 ml larutan NH<sub>4</sub>Cl 0.1 M selama 5 hari. Dan setiap harinya dipanaskan pada suhu 90 °C dan diaduk selama 3 jam. Perendaman zeolit dalam NH<sub>4</sub>Cl 0.1 M bertujuan untuk memperkuat struktur baru yang terbentuk karena proses dealuminasi oleh HCl.
5. Mengkalsiansi zeolit tersebut dalam furnace pada suhu 500 °C selama 5 jam. Kalsinasi zeolit bertujuan untuk menguapkan kandungan air yang terperangkap dalam kristal zeolit.

### **3.3.2 Pembuatan dan Pelapisan Fotokatalis TiO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Lampung**

Pelat alumunium yang akan dilapisi dengan katalis adalah bagian panel dan ditambahkan pada bagian reflektor lampu UV. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan keefektifan alat perangkap nyamuk dalam hal purifikasi udara. Secara ringkas tahapan ini dapat dilihat pada Gambar 3.3 dibawah ini :



**Gambar 3.3** Diagram alir pembuatan dan pelapisan  $\text{TiO}_2$  pada Zeolit Alam Lampung

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan dan pelapisan fotokatalisis TiO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Lampung dengan prosedurnya yaitu :

1. Membuat slurry/sol TiO<sub>2</sub> dan zeolit alam yang telah ditreatmen dengan perbandingan konsentrasi tertentu. Caranya : menimbang TiO<sub>2</sub> dan ZAL

- a. Slurry 10%

Basis: 4 g campuran

$$\text{Berat ZAL} = \frac{10}{100} \times 4 \text{ g} = 0.4 \text{ g}$$

$$\text{Berat TiO}_2 = \frac{90}{100} \times 4 \text{ g} = 3.6 \text{ g}$$

- b. Slurry 20%

Basis: 4 g campuran

$$\text{Berat ZAL} = \frac{20}{100} \times 4 \text{ g} = 0.8 \text{ g}$$

$$\text{Berat TiO}_2 = \frac{80}{100} \times 4 \text{ g} = 3.2 \text{ g}$$

- c. Slurry 30%

Basis: 4 g campuran

$$\text{Berat ZAL} = \frac{30}{100} \times 4 \text{ g} = 1.2 \text{ g}$$

$$\text{Berat TiO}_2 = \frac{70}{100} \times 4 \text{ g} = 2.8 \text{ g}$$

2. Melarutkan masing-masing TiO<sub>2</sub> yang telah ditimbang dalam 100 ml air demin kemudian disonikasi selama 10 menit, kemudian ditambahkan masing-masing zeolit alam Lampung dengan perbandingan tertentu dan disonikasi selama 20 menit.
3. Melakukan uji karakteristik untuk masing-masing sampel.  
Uji yang dilakukan adalah uji BET bertujuan untuk menghitung luas permukaan dan ukuran pori katalis.
4. Hasil optimun yang diperoleh dari pengujian masing-masing sampel diatas disajikan pada pelat aluminium.
5. Membersihkan pelat aluminium dengan cara dibilas dengan air agar debu dan kotoran hilang terbawa pancuran air keran. Kemudian, panel aluminium

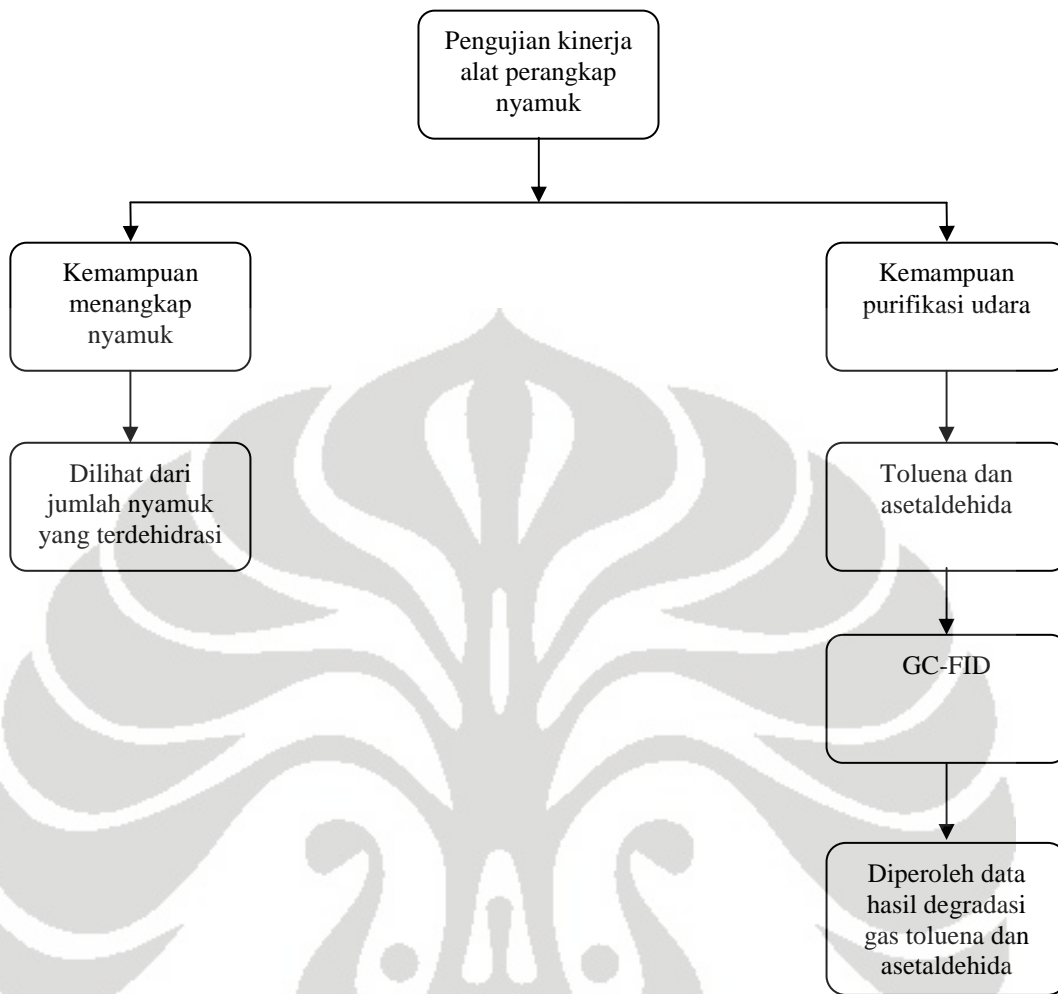


dibersihkan dengan aseton agar senyawa-senyawa organik yang masih menempel di panel dapat larut oleh aseton yang merupakan pelarut organik. Setelah itu, keringkan pada kondisi ruangan. Menimbang pelat aluminium yang akan dilapisi untuk mengetahui berat sebelum dan sesudah di-*coating*.

6. Memasukkan sol yang telah dibuat ke dalam botol *spray*, kemudian semprotkan sol ke pelat aluminium dengan jarak  $\pm 50$  cm secara merata. Semprotan yang dihasilkan tidak boleh terlihat menetes pada pelat aluminium. Pelapisan dengan menggunakan *spray coating* harus diatur sedemikian agar kondisi dan hasil pelapisan sama.
7. Mengeringkan pelat aluminium yang telah dilapisi katalis dengan menggunakan hair dryer.
8. Mengulangi langkah 6 dan 7 sebanyak 5 kali sampai hasil *coating* terlihat merata.
9. Dikeringkan dalam furnace pada suhu 250 °C selama 1 jam.
10. Dipersiapkan pelat yang telah di *coating* untuk pengujian selanjutnya.

### **3.3.3 Pengujian Kinerja Alat Perangkap Nyamuk**

Pada tahapan pengujian kinerja alat perangkap nyamuk dilakukan beberapa tahap pengujian yaitu pengujian kemampuan menangkap nyamuk dan pengujian kemampuan mendegradasi polutan udara (toluena dan asteldehida). Secara ringkas tahapan ini dapat dilihat pada Gambar 3.4 dibawah ini:

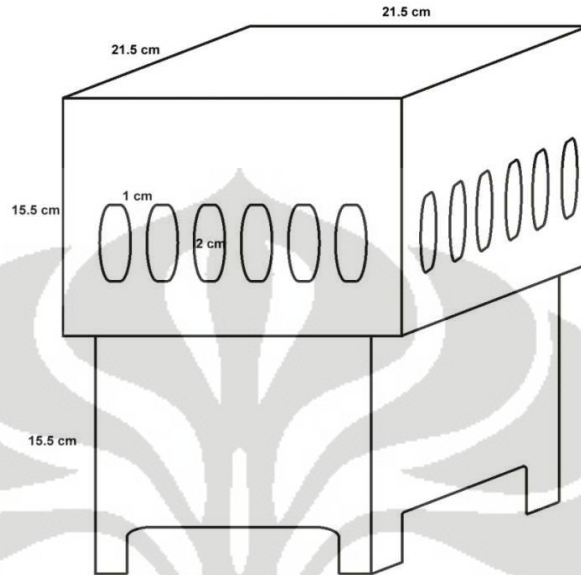


**Gambar 3.4** Diagram alir pengujian alat perangkap nyamuk

Penelitian sebelumnya telah dilakukan pengujian kinerja alat perangkap nyamuk dengan menggunakan fotokatalis  $\text{TiO}_2$  dan karbon aktif dalam hal kemampuan menangkap nyamuk dan kemampuan mendegradasi toluena dan asetaldehida. Dengan menggunakan alat perangkap nyamuk yang sama ingin diketahui keefektifan perangkap nyamuk dengan menggunakan fotokatalis  $\text{TiO}_2$  dan zeolit alam Lampung. Bentuk alat perangkap nyamuk dapat dilihat pada Gambar 2.6 pada bab sebelumnya.

Alat perangkap nyamuk berbentuk kotak agar penyebaran radiasi lampu ke panel lebih merata ke semua sisi. Tinggi keseluruhan alat adalah 31 cm. Ukuran jendela memiliki lebar 2 cm, tinggi 5 cm dan jarak antar jendela 1 cm yang dibuat sama dengan alat yang telah ada sebelumnya. Keseluruhan alat terbuat dari bahan

*textwood*. Bahan ini dipilih karena bersifat ringan (lebih ringan dari triplek), permukaannya halus, mudah dipotong dan tidak berongga. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.



**Gambar 3.5** Tampak Luar dan Dimensi Alat

Instalasi lampu alat perangkap nyamuk menggunakan lampu UV-A 4 W sebanyak 3 buah. Lampu UV-A dipilih karena relatif lebih murah, merupakan sumber UV energi rendah dan paling aman digunakan untuk jangka waktu yang relatif lama (Fujishima dan Zhang, 2006). Daya 4 Watt dipilih karena ukurannya kecil sehingga dapat diinstalasi pada dimensi alat yang relatif kecil. Penggunaan 3 buah lampu UV-A 4 W dimaksudkan untuk meningkatkan proses fotokatalisis. Semakin tinggi intensitas UV maka proses fotokatalisis yang akan terjadi akan berlangsung semakin efektif (Liuxure et al., 2008). Bagian atas lampu diberikan reflektor yang terbuat dari aluminium dan dilapisi dengan fotokatalis. Aluminium dipilih karena dapat memantulkan sinar yang akan menambah intensitas lampu yang jatuh pada permukaan fotokatalis. Pelapisan reflektor dengan fotokatalis karena tidak semua sinar lampu UV dipantulkan tetapi sebagian kecil sinar lampu terserap permukaan reflektor. Dengan pelapisan reflektor ini, proses fotokatalisis menjadi lebih efektif. Gambar 3.6 memperlihatkan susunan lampu di alat perangkap nyamuk.



**Gambar 3. 6** Susunan Lampu di Alat

Bagian panel terbuat dari bahan aluminium. Bahan ini dipilih karena mudah dibentuk dan tahan panas. Fungsi utama panel yaitu tempat meletakkan fotokatalis. Pemilihan panel dari aluminium dikarenakan panel akan dikeringkan pada suhu 250 °C maka panel harus tahan panas dan tidak berubah fasa. Titik lebur aluminium adalah 660 °C.

Kipas yang digunakan pada alat ini bersifat menyedot aliran udara ke bawah (*suction*). Tujuan pemasangan kipas *suction* adalah untuk menarik nyamuk yang masuk ke ruang jendela alat atau kisi-kisi. Jumlah *blade* kipas tidak boleh terlalu rapat karena akan menghalangi nyamuk yang tersedot ke bawah. Oleh karena itu, dipilih kipas yang memiliki empat buah *blade*. Untuk meningkatkan daya sedot kipas, kipas diletakkan tepat dibagian bawah panel aluminium. Pada bagian ini, terdapat pengurangan luasan area udara yang disedot. Adanya pengurangan luasan akan mengakibatkan kecepatan udara di bagian yang disedot akan bertambah. Hal ini sesuai dengan rumus seperti berikut:

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

karena  $A_2 < A_1$ , maka  $v_2 > v_1$ .

Kawat nyamuk yang berfungsi sebagai tempat keluar udara sekaligus jaring penghalang nyamuk untuk keluar diletakkan di bagian bawah. Dengan meletakkan kawat nyamuk di bagian bawah, maka hambatan udara yang keluar akan semakin besar. Akibatnya tarikan udara ke bawah juga makin kuat. Bagian

dalam alat perangkap nyamuk secara lengkap dapat dilihat pada penelitian sebelumnya (Yusim, 2008)

### 3.3.3.1 Kemampuan menangkap nyamuk

Uji kemampuan menangkap nyamuk dimaksudkan untuk:

- a. Melihat kinerja masing-masing komponen pada alat ini seperti lampu UV, fotokatalis, dan kipas.
- b. Membuktikan bahwa dengan adanya fotokatalis yang dilapisi pada panel aluminium, prototipe alat perangkap nyamuk ini mampu merangkap nyamuk lebih banyak atau lebih efektif dibandingkan jika tidak memiliki lapisan fotokatalis di panel aluminium-nya.

#### A. Uji Blangko 1: Melihat Peran Fotokatalis

Variabel dalam uji blangko ini adalah panel aluminium yang di-*coating* dan tidak di-*coating*, sedangkan konfigurasi yang tetap adalah lampu UV yang menyala dan kipas yang dimatikan. Uji blangko ini dilakukan dengan rincian prosedur berikut:

1. Meletakkan prototipe alat nyamuk di atas dudukan dengan ketinggian  $\pm 70$  cm dalam kondisi luar ruangan yang tidak diberi nyala lampu penerang.
2. Meletakkan panel aluminium yang tidak di-*coating* pada alat dengan menyalakan lampu UV dan kipas.
3. Kemudian, ganti panel aluminium yang tidak di-*coating* dengan panel aluminium yang di-*coating*.
4. Pengujian masing-masing konfigurasi dilakukan selama 12 jam.
5. Bandingkan perbedaan jumlah nyamuk yang berhasil ditangkap dengan dan tanpa adanya fotokatalis.

#### B. Uji Blangko 2: Melihat Peran Kipas

Variabel dalam uji blangko ini adalah kipas yang menyala dan dimatikan, sedangkan konfigurasi yang tetap adalah panel aluminium yang di-*coating* (panel 10% ZAL, 20% ZAL dan 30% ZAL) dan lampu UV yang menyala. Uji blangko ini dilakukan dengan rincian prosedur berikut:

1. Meletakkan prototipe alat nyamuk di atas dudukan dengan ketinggian  $\pm 70$  cm dalam kondisi luar ruangan yang tidak diberi nyala lampu penerang.
2. Meletakkan panel aluminium yang di-*coating* pada alat dengan menyalakan lampu UV dan kipas.
3. Menghitung jumlah nyamuk yang terperangkap di prototipe alat setelah langkah 2 dilakukan.
4. Lakukan pula langkah 3 untuk panel aluminium yang sama dengan kondisi lampu UV menyala dan kipas dimatikan.
5. Bandingkan perbedaan jumlah nyamuk yang berhasil ditangkap dengan dan tanpa adanya kipas.

### **C. Uji Blangko 3: Melihat Peran Lampu UV**

Variabel dalam uji blangko ini adalah lampu UV yang menyala dan dimatikan, sedangkan konfigurasi yang tetap adalah panel aluminium yang tidak di-*coating* dan kipas yang menyala. Uji blangko ini dilakukan dengan rincian prosedur berikut:

1. Meletakkan prototipe alat nyamuk di atas dudukan dengan ketinggian  $\pm 70$  cm dalam kondisi luar ruangan yang tidak diberi nyala lampu penerang.
2. Meletakkan panel aluminium yang tidak di-*coating* pada alat dengan menyalakan kipas dan juga lampu UV.
3. Menghitung jumlah nyamuk yang terperangkap di prototipe alat setelah langkah 2 dilakukan.
4. Lakukan pula langkah 3 untuk panel aluminium yang tidak di-*coating* dengan kondisi kipas menyala dan lampu UV dimatikan.
5. Bandingkan perbedaan jumlah nyamuk yang berhasil ditangkap dengan dan tanpa adanya lampu UV.

### **D. Uji Kemampuan Alat dalam Menangkap Nyamuk**

Pada pengujian ini, peneliti membandingkan keefektifan alat perangkap nyamuk dengan panel yang dilapisi fotokatalis dan tidak dilapisi fotokatalis. Adapun prosedur umum penelitian adalah sebagai berikut:

1. Meletakkan prototipe alat nyamuk di atas dudukan dengan ketinggian  $\pm 70$  cm.
2. Menyalakan prototipe alat selama 12 jam dalam kondisi luar ruangan yang tidak diberi nyala lampu penerang.
3. Menghitung jumlah nyamuk yang terperangkap di prototipe alat setelah langkah 2 dilakukan.

Variabel percobaan disini adalah konfigurasi prototipe alat, yaitu:

1. Konfigurasi 1: Panel yang dilapisi fotokatalis  $\text{TiO}_2$  + 10% ZAL, lampu UV dan kipas tetap menyala.
2. Konfigurasi 2: Panel yang dilapisi fotokatalis  $\text{TiO}_2$  + 20% ZAL, lampu UV dan kipas tetap menyala.
3. Konfigurasi 3: Panel yang dilapisi fotokatalis  $\text{TiO}_2$  + 30% ZAL, lampu UV dan kipas tetap menyala.
4. Konfigurasi 4: Panel tidak dilapisi fotokatalis, lampu UV dan kipas tetap menyala.

Catatan: Pengujian untuk tiap konfigurasi dilakukan selang seling maksudnya pada hari pertama dilakukan uji dengan konfigurasi 1, kemudian hari berikutnya pada konfigurasi 2, dan seterusnya.

### 3.3.3.2 Kemampuan purifikasi udara

Pada penelitian ingin dilihat kinerja alat perangkap nyamuk dalam mendegradasi polutan udara. Dalam percobaan ini, model polutan yang digunakan adalah gas asetaldehida dan gas toluena. Analisis konsentrasi gas ini dengan menggunakan teknik analisis kromatografi gas dengan detektor FID (*flame ionization detector*) dan kolom PEG (*poly ethylene glycol*). Detektor FID dipilih karena limit deteksinya 100 kali lebih rendah dari detektor TCD (*thermal conductivity detector*). Selain itu, gas nitrogen yang digunakan sebagai gas pembawa juga memberikan limit deteksi yang terendah (Harris, 1995). Sedangkan kolom PEG dipilih karena kolom ini merupakan kolom yang paling baik digunakan untuk mendeteksi senyawa aldehida serta paling cocok digunakan

untuk banyak aplikasi lain termasuk gas toluena (Barry dan Grob, 2004). Prosedur pengujian purifikasi udara adalah sebagai berikut:

### A. Uji Blangko dan Kebocoran Reaktor

Uji ini dilakukan untuk memastikan bahwa penurunan peak area saat uji degradasi gas toluena dan asetaldehida disebabkan oleh reaksi fotokatalitik. Gas yang dipakai pada percobaan ini adalah gas asetaldehida. Pemilihan gas yang akan dipakai pada percobaan ini boleh apa saja karena yang diharapkan pada pengujian ini hanyalah peak area tetap konstan untuk interval waktu yang relatif lama, bukan pada jenis gasnya. Caranya masukkan panel yang dilapisi fotokatalis ke dalam alat. Kemudian isolasi alat dan masukkan sejumlah gas toluena ke dalam reaktor, kemudian injeksikan 1 mL sampel gas ke dalam GC untuk setiap waktu tertentu. Selain itu, pada pengujian ini kita juga dapat mengetahui apakah reaktor bocor atau tidak.

### B. Uji Degradasi Gas Asetaldehida dan Toluena

Pada pengujian ini, peneliti memvariasikan persen ZAL yang ada di panel aluminium. Variabelnya adalah 0% ZAL, 10% ZAL, 20% ZAL dan 30% ZAL. Prosedur umum yang dipakai pada percobaan ini adalah sebagai berikut:

1. Menyalakan GC-FID sesuai prosedur penyalaaan GC. Kemudian aturlah beberapa parameter dalam GC, diantaranya sebagai berikut:

**Tabel 3.1** Parameter dalam GC

Parameter yang diatur	Nilai (untuk asetaldehida)	Nilai (untuk toluena)
<i>Column Temperature</i>	110°C	110°C
<i>Inject Temperature</i>	130°C	130°C
<i>Speed</i>	10	10
<i>Stop Time</i>	2 menit	3 menit
<i>Attenuation</i>	5	7
<i>Range</i>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>1</sup>

2. Setelah kondisi GC siap digunakan (lampu READY akan menyala), maka tekan tombol START untuk *purging* memastikan GC tidak kotor.



3. Mengecek *syringe* yang digunakan dengan cara mengambil udara ruang sebanyak 1 mL kemudian injeksikan ke dalam GC. Lihat hasilnya, jika muncul *peak-peak* besar maka *syringe* yang digunakan kotor dan harus dibersihkan dengan cara di vakum atau dicuci dengan air sampai tidak muncul *peak* yang berarti saat 1 mL udara diinjeksikan.
4. Jika *syringe* telah bersih, ambil udara di dalam reaktor sebanyak 1 mL. Jika hasil analisis udara di dalam reaktor telah sama dengan udara ruang, maka reaktor telah siap untuk digunakan.
5. Memasukkan sejumlah gas toluena ke dalam tempat pengujian. Diamkan sesaat agar proses pencampuran gas di dalamnya homogen. Untuk mengecek distribusi gas di dalam reaktor dan untuk menguji kebocoran, sampel gas diambil dari beberapa sisi reaktor pada setiap waktu tertentu.
6. Setelah homogen, dinyalakan lampu UV dan tepat saat penyalan lampu waktu mulai dihitung sebagai  $t = 0$  menit.
7. Diambil sample gas sebanyak 1 ml pada interval tertentu dari waktu penyalan lampu UV. Injeksikan tiap sampel yang diambil ke dalam GC-FID dan analisis hasilnya.

### 3.4 Variabel Penelitian

Variabel yang terkait pada tahapan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Variabel bebas :
  - a. Variasi jumlah loading  $\text{TiO}_2$  (% berat) yang berbeda yaitu 10%, 20%, dan 30%.
  - b. Jenis pengujian : UV saja, UV +  $\text{TiO}_2/\text{ZAL}$  pada panel dan kipas, non UV.
  - c. Jenis polutan organik yang akan di degradasi.
2. Variabel terikat : luas permukaan dan ukuran pori (BET), morfologi permukaan film katalis (SEM), rasio Si/Al zeolit (XRF), konsentrasi sampel toluena dan asetaldehida (GC).

### 3.5. Data Penelitian dan Pengolahan Data

Data yang diambil dalam penelitian ini adalah hasil karakterisasi dengan menggunakan BET, SEM dan XRF, jumlah nyamuk yang diperoleh dan peak area gas asetaldehida dan toluena setiap waktu tertentu. Data jumlah nyamuk akan

diperbandingkan untuk setiap variabel yang diujikan. Data peak area akan diolah menjadi data % degradasi dengan rumus

$$\% \text{ degradasi} = \frac{c_o - c}{c_o} \times 100\% \quad (3.1)$$

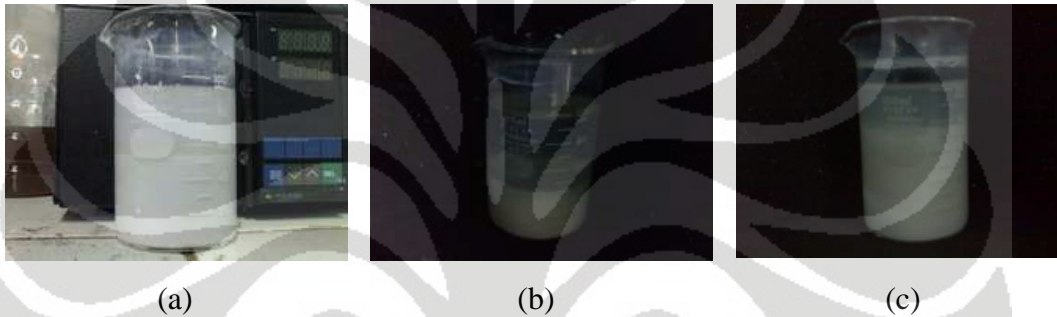
Kurva % degradasi vs waktu untuk tiap variabel kemudian diperbandingkan.



## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pelapisan Fotokatalis Pada Panel

Pada alat perangkap nyamuk yang telah direkayasa, panel yang terbuat dari bahan aluminium merupakan salah satu bagian yang memegang peranan penting, terutama sebagai permukaan tempat fotokatalis diletakkan. Sebelum pelapisan dilakukan, sol fotokatalis dibuat terlebih dahulu dan dapat dilihat pada Gambar 4.1.



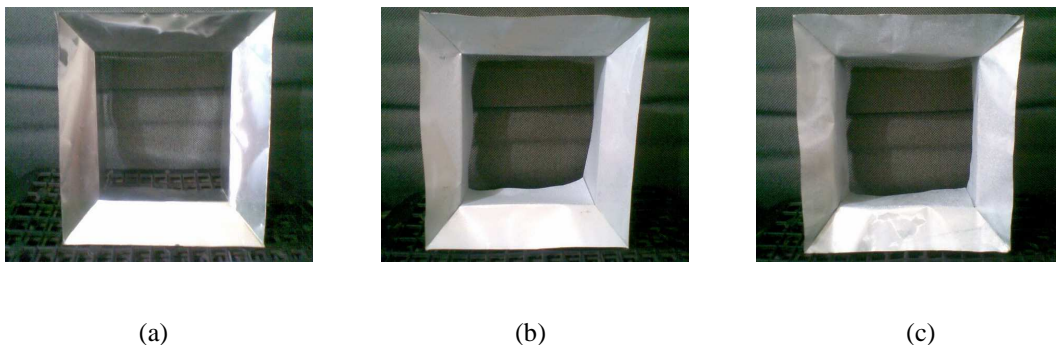
**Gambar 4.1** Larutan Sol TiO<sub>2</sub>- ZAL (a) TiO<sub>2</sub>-10% ZAL (b) TiO<sub>2</sub>-20% ZAL (c) TiO<sub>2</sub>-30% ZAL

Panel aluminium ditimbang sebelum pelapisan dan sesudah pelapisan sebanyak lima kali. Penambahan berat panel aluminium dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini:

**Tabel 4.1** Penambahan Berat Panel Aluminium

Konsentrasi	Berat Panel Aluminium (g)			Berat Reflektor Aluminium (g)		
	Sebelum	Sesudah	Penambahan	Sebelum	Sesudah	Penambahan
10 %	17,87 g	18,35 g	0,48 g	8,18 g	8,36 g	0,18 g
20 %	17,76 g	18,24 g	0,48 g	8,16 g	8,34 g	0,18 g
30 %	17,72 g	18,21 g	0,49 g	8,17 g	8,39 g	0,22 g

Secara fisik, panel aluminium sebelum dan sesudah dilapisi fotokatalis tidak jauh berbeda. Gambar 4.2 menunjukkan panel aluminium yang dilapisi fotokatalis TiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>-ZAL dan panel aluminium yang tidak dilapisi fotokatalis.



**Gambar 4. 1** Panel Aluminium (a) Tidak Dilapisi Katalis (b) Dilapisi  $\text{TiO}_2$  (c) Dilapisi  $\text{TiO}_2$ -ZAL

## 4.2 Karakterisasi

### 4.2.1 Karakterisasi BET terhadap Zeolit dan $\text{TiO}_2$ -ZAL

Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi ZALNT (non treatment), ZALT (treatment awal),  $\text{TiO}_2$  Degussa P25, dan  $\text{TiO}_2$ -ZAL menggunakan BET. Karakterisasi ini dilakukan untuk mengetahui luas permukaan serta ukuran pori zeolit (BET) sebelum dan sesudah treatment. Hasil karakterisasi BET dapat dilihat pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Hasil Karakterisasi BET (*Multi-point BET*)

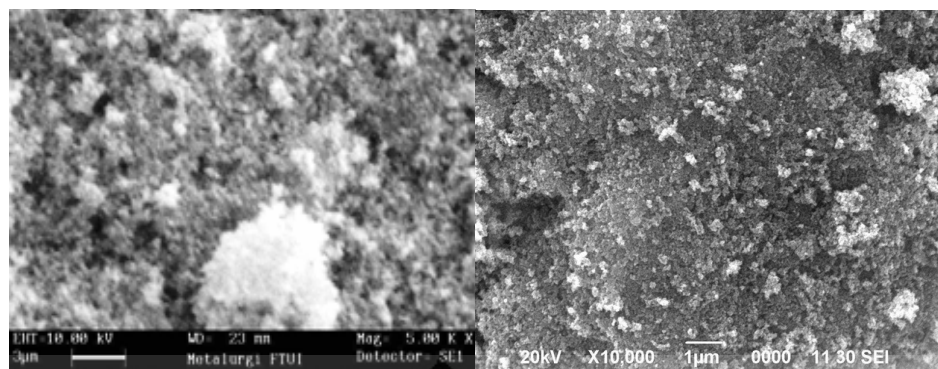
Sampel	Luas Permukaan $\text{m}^2/\text{g}$
ZALNT	35,9
ZALT	37,4
$\text{TiO}_2$ P25	54
$\text{TiO}_2$ -ZAL	35,34

Karakterisasi BET dilakukan untuk mengetahui kondisi zeolit sebelum dan sesudah treatment awal, dan setelah dikombinasikan dengan  $\text{TiO}_2$ . Hasil karakterisasi BET membuktikan bahwa zeolit yang telah ditreatment mempunyai luas permukaan yang lebih kurang sama.

### 4.2.2. Karakterisasi SEM

Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi  $\text{TiO}_2$ -ZAL. Karakterisasi ini dilakukan untuk mengetahui analisis morfologi permukaan katalis.

Morfologi permukaan katalis dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut.

Morfologi Permukaan (a) TiO<sub>2</sub>(b) TiO<sub>2</sub>-10%ZAL**Gambar 4.3** Morfologi Permukaan Katalis

### 4.3 Uji Kemampuan Menangkap Nyamuk

Uji kemampuan menangkap nyamuk bertujuan untuk melihat keefektifan fotokatalis yang terdapat pada permukaan panel aluminium dan reflektor aluminium dalam memikat nyamuk mendekati alat. Berdasarkan percobaan awal yang dilakukan, nyamuk yang terperangkap dalam alat ini mati karena dehidrasi yang diakibatkan terhisap kipas secara terus menerus. Ada tiga uji blanko dalam melihat peran masing-masing komponen dalam alat perangkap nyamuk ini. Setelah dilakukan uji blanko, uji kemampuan alat perangkap nyamuk dapat dilakukan.

#### 4.3.1 Peran Fotokatalis

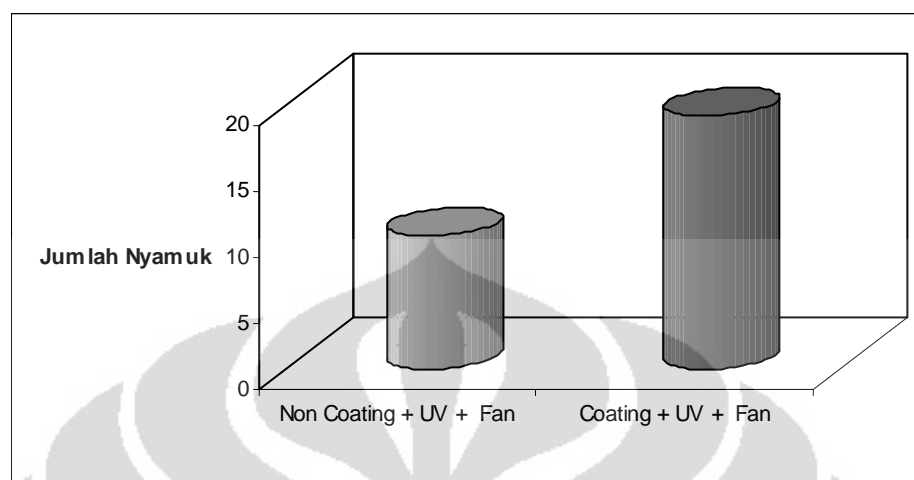
Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui peran fotokatalis pada alat. Kondisi pengujian dengan lampu UV menyala dan kipas dihidupkan. Pengujian ini dapat merupakan uji blanko yang dapat memperjelas peran fotokatalis dalam menarik nyamuk. Hasil pengujian lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut ini.

**Tabel 4.3** Pengaruh Fotokatalisis

Variasi Pengujian	Jumlah Nyamuk
Non Coating +UV+ Fan	10
Coating + UV+ Fan	19

Pada Tabel 4.3 terlihat bahwa pengujian dilakukan dengan keadaan lampu UV dan kipas menyala. Variasi panel yang digunakan adalah panel yang di

coating dan yang tidak dicoating. Gambar 4.4 menunjukkan grafik jumlah



nyamuk hasil pengujian peran fotokatalis.

**Gambar 4.4** Grafik Hasil Pengujian Melihat Peran Fotokatalis

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 jumlah nyamuk yang terperangkap dan mati akibat dehidrasi dengan menggunakan panel yang dilapisi fotokatalis lebih banyak dibandingkan dengan tidak dilapisi. Lampu UV yang dinyalakan dengan panel yang tidak dicoating pada dasarnya mampu menarik nyamuk untuk masuk ke alat, didukung daya sedot kipas/*fan* yang dapat menyedot nyamuk hingga terperangkap dan mati karena dehidrasi. Pengujian ini menunjukkan bahwa dengan adanya fotokatalis jumlah nyamuk yang terperangkap lebih banyak dibandingkan tanpa fotokatalis.

#### 4.3.2 Peran Kipas

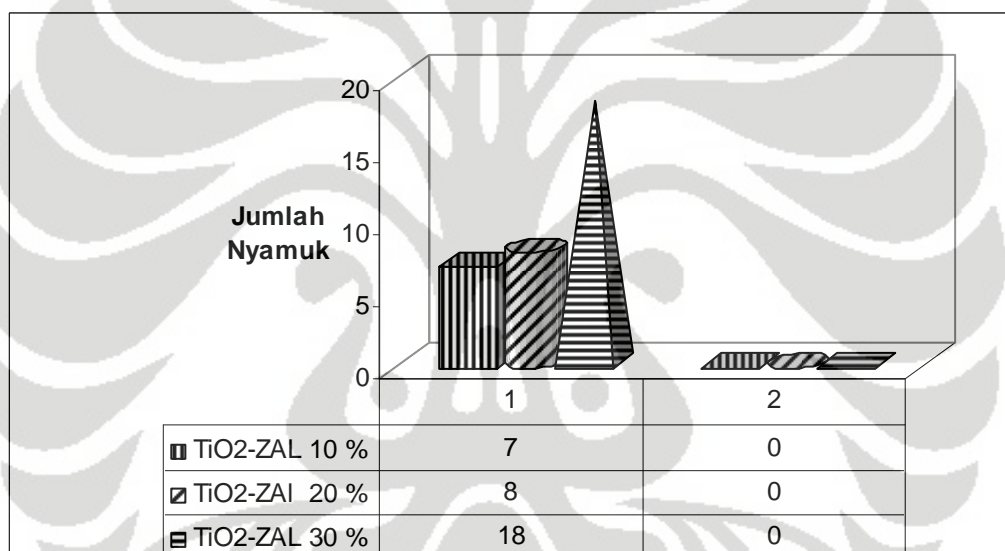
Pengujian ini dilakukan untuk melihat peran kipas dengan menggunakan panel dengan konsentrasi 10%, 20% dan 30%. Variabel yang diujikan yaitu kipas yang dinyalakan dan kipas yang dimatikan. Pengujian dilakukan dengan konfigurasi Coating+UV+*Fan*, kemudian hari berikutnya dilakukan dengan konfigurasi Coating+UV+*Non Fan*, dan diteruskan pada hari berikutnya dengan

konsentrasi panel 20% dan 30%. Pengujian dilakukan selama 12 jam pada tempat yang sama. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 4.4 dibawah ini:

**Tabel 4.4** Uji Peran Kipas

Panel	COATING + UV + FAN	COATING + UV + NON FAN
TiO <sub>2</sub> -10% ZAL	7	0
TiO <sub>2</sub> -20% ZAL	8	0
TiO <sub>2</sub> -30% ZAL	18	0

Grafik hasil pengujian peran kipas dapat dilihat pada Gambar 4.5 di bawah ini



**Gambar 4.5** Grafik Hasil Pengujian Melihat Peran Kipas

Dari grafik diatas dapat kita ketahui bahwa kipas sangat memegang peranan penting dalam menangkap nyamuk. Walaupun proses fotokatalisis terjadi pada setiap konfigurasi, tanpa adanya kipas yang menarik udara ke bagian bawah maka tidak akan ada nyamuk yang dapat terperangkap. Jadi kipas berfungsi untuk, merangkap nyamuk yang mendekat atau terkonsentrasi ke alat akibat proses fotokatalisis. Dari grafik diatas dapat diketahui dengan menggunakan panel 10% nyamuk yang diperoleh sebanyak tujuh ekor, dengan menggunakan panel 20% diperoleh delapan ekor nyamuk dan dengan menggunakan panel 30% diperoleh 18 nyamuk.

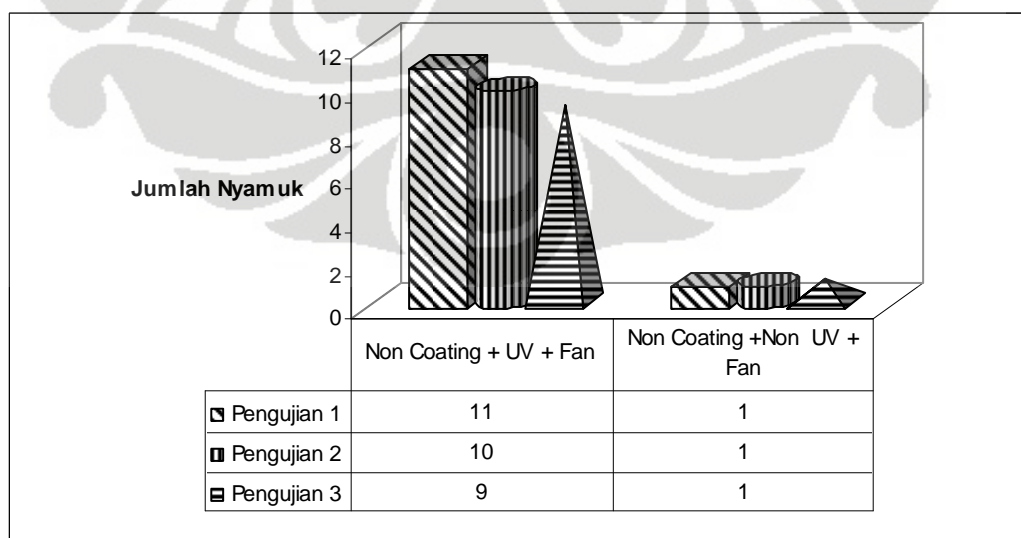
### 4.3.3 Peran Lampu UV

Pengujian ini dilakukan untuk melihat peran lampu UV dengan menggunakan panel alumunium yang tidak di-coating. Untuk masing-masing konfigurasi dilakukan pengujian sebanyak tiga kali di tempat dan kondisi cuaca yang sama. Pengujian untuk tiap konfigurasi dilakukan selang seling maksudnya pada hari pertama dilakukan pengujian ke-1 dengan konfigurasi *Non-Coating+UV+Fan*, kemudian hari berikutnya dilakukan pengujian ke-1 pada konfigurasi *Non-Coating+Non-UV+Fan*. Hari berikutnya dilakukan pengujian ke-2 untuk konfigurasi *Non-Coating+UV+Fan* dan seterusnya sampai masing-masing konfigurasi memiliki tiga data (sampai pengujian ke-3). Pengujian dilakukan selama 12 jam. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 4.5 dibawah ini:

**Tabel 4.5** Uji Peran Lampu UV

Panel	NON COATING + UV + FAN	NON COATING + NON UV + FAN
Pengujian 1	11	1
Pengujian 2	10	1
Pengujian 3	9	1

Grafik hasil pengujian peran kipas dapat dilihat pada Gambar 4.6 di bawah ini:



**Gambar 4.6** Grafik Hasil Pengujian Melihat Peran Lampu UV

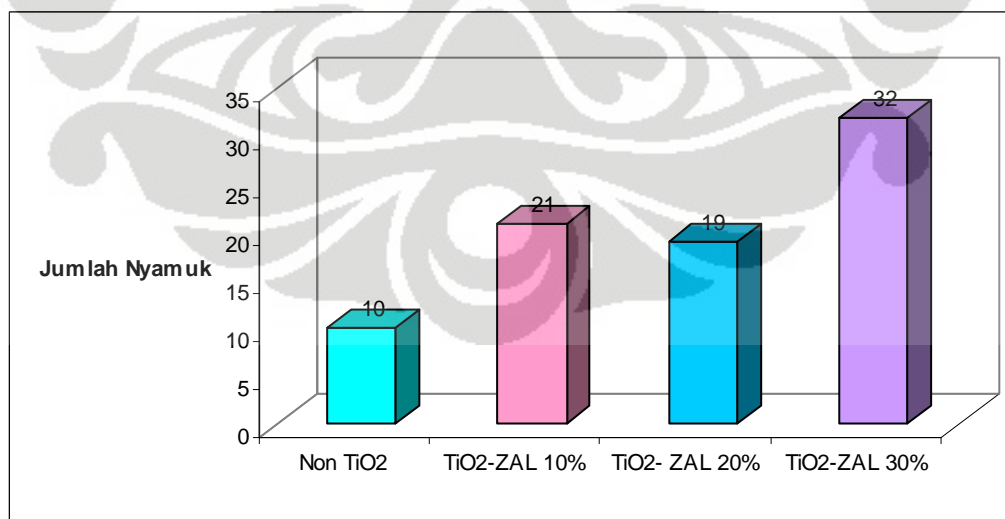


Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa lampu UV dan kipas memegang peranan penting. Jumlah nyamuk yang diperoleh disebabkan lamanya waktu penyinaran UV yaitu selama 12 jam. Panas yang dihasilkan berasal dari lamanya waktu penyinaran yang menjadi daya tarik bagi nyamuk. Peran kipas yaitu untuk menyedot nyamuk sehingga nyamuk mati karena dehidrasi.

Berdasarkan ketiga uji blangko yang dilakukan, baik panel berlapis fotokatalis, lampu UV, dan kipas memiliki peran yang saling mendukung. Jika fotokatalis dan lampu UV berperan untuk mengkonsentrasikan nyamuk agar mendekat, maka kipas berfungsi untuk merangkap nyamuk tersebut dengan cara menarik nyamuk yang mendekat ke alat bersama dengan aliran udara. Nyamuk kemudian mati dehidrasi karena tidak bisa keluar dari putaran kipas.

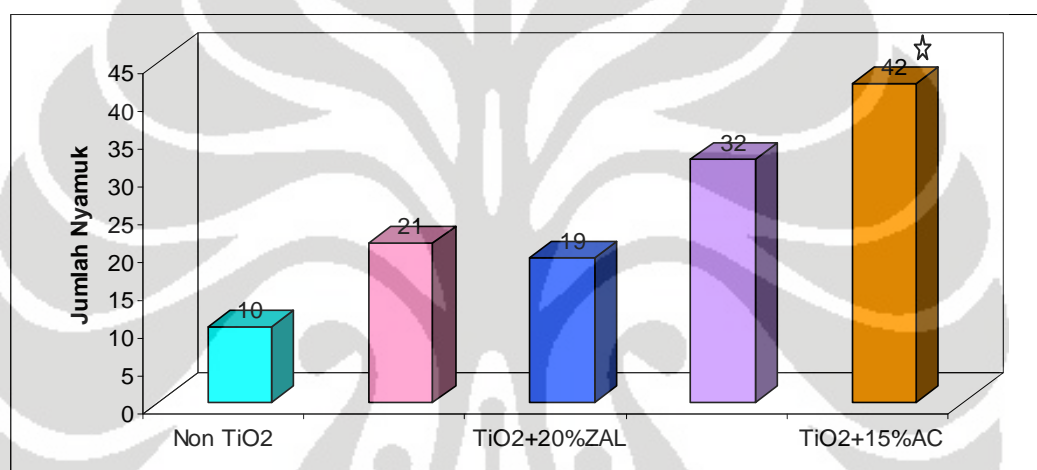
#### 4.3.4 Uji Kemampuan Alat dalam Menangkap Nyamuk

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui keefektifan alat ini dalam menangkap nyamuk yaitu dengan cara membandingkan tangkapan nyamuk yang diperoleh untuk tiap-tiap konfigurasi. Konfigurasi alat yang diuji yaitu Coating TiO<sub>2</sub>-ZAL 10%+UV+Fan, TiO<sub>2</sub>-ZAL 20% +UV+Fan, TiO<sub>2</sub>-ZAL 30%+UV+Fan dan Non-Coating+UV+Fan. Pengujian dilakukan di halaman rumah dan cuaca cerah selama 12 jam. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut.



**Gambar 4.7** Hasil Penangkapan Nyamuk

Penggunaan kombinasi  $\text{TiO}_2$ -30% ZAL memperlihatkan hasil yang maksimal dibandingkan dengan kombinasi  $\text{TiO}_2$ -10% ZAL dan  $\text{TiO}_2$ -20% ZAL. Jumlah nyamuk untuk panel yang tidak dilapisi fotokatalis berada dibawah jumlah nyamuk yang diperoleh untuk panel yang dilapisi fotokatalis. Artinya proses fotokatalisis yang ada di alat ini lebih unggul untuk menangkap nyamuk jika dibandingkan dengan mengandalkan lampu UV saja. Penelitian sebelumnya menggunakan panel dengan kombinasi  $\text{TiO}_2$ -15% AC. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini dibandingkan dengan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Gambar 4.8 berikut.



\*Data hasil penelitian Silvy Yusim

**Gambar 4.8** Perbandingan Hasil Penangkapan Nyamuk

Gambar 4.8 memperlihatkan jumlah nyamuk yang diperoleh dengan kombinasi  $\text{TiO}_2$ -15% karbon aktif (AC) lebih banyak dibandingkan dengan kombinasi  $\text{TiO}_2$ -30% ZAL. Hal ini dapat dikarenakan lokasi pengujian yang berbeda. Penggunaan fotokatalis baik dengan adsorban penyangga ZAL ataupun AC lebih unggul dibandingkan tanpa fotokatalis. Gambar 4.9 adalah contoh gambar nyamuk yang diperoleh dari hasil pengujian dengan menggunakan panel berlapis  $\text{TiO}_2$ - 30% ZAL.



**Gambar 4.9** Nyamuk yang Telah Mati akibat Dehidrasi

Pada panel yang tidak dilapisi fotokatalis jumlah nyamuk yang diperoleh adalah 10 nyamuk. Pada panel yang dilapisi fotokatalis dengan konsentrasi 10%, 20% dan 30% diperoleh jumlah nyamuk sebanyak 21, 19 dan 32. Dari grafik dapat dilihat pada panel yang dilapisi fotokatalis dengan konsentrasi 30% lebih efektif dibandingkan dengan panel yang dilapisi fotokatalis dengan konsentrasi 10% dan 20%.

Keseluruhan hasil ini menunjukkan bahwa alat dengan panel yang dilapisi  $\text{TiO}_2$ - 30% ZAL paling efektif dalam menangkap nyamuk. Hal ini menunjukkan bahwa dengan proses fotokatalisis akan lebih efektif dalam menangkap nyamuk terutama dengan komposisi  $\text{TiO}_2$ -ZAL 30% yang dapat dianalisis melalui mekanisme fotokatalisis.

Cahaya yang dipancarkan lampu UV-A dengan panjang gelombang 365 nm, akan mengaktifkan  $\text{TiO}_2$  dengan cara menyediakan energi yang dibutuhkan elektron untuk tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi. Elektron ( $e^-$ ) pada pita valensi akan pindah ke pita konduksi, dan meninggalkan lubang positif (*hole*, disingkat sebagai  $h^+$ ) pada pita valensi. Peristiwa ini disebut eksitasi. Namun, sebagian besar pasangan  $e^-$  dan  $h^+$  ini akan berekombinasi kembali, baik di permukaan partikel) atau didalam *bulk* partikel. Sementara itu sebagian pasangan  $e^-$  dan  $h^+$  dapat bertahan sampai pada permukaan semikonduktor), dimana  $h^+$  dapat menginisiasi reaksi oksidasi dan dilain pihak  $e^-$  akan menginisiasi reaksi reduksi zat kimia yang ada disekitar permukaan semikonduktor (Gunlazuardi, 2001). Semakin kuat intensitas absorpsi UV, maka makin banyak elektron yang mampu dipromosikan dari pita valensi ke pita konduksi. Artinya makin banyak pula elektron ( $e^-$ ) dan lubang ( $h^+$ ) yang dihasilkan. Dengan demikian, aktivitas

fotokatalitik akan semakin meningkat (Liuxue et al., 2008). Nyamuk yang mendekati ke alat ini dapat disebabkan oleh energi panas yang dihasilkan oleh adanya proses rekombinasi. Energi panas ataupun cahaya yang ini merupakan penarik nyamuk karena menyerupai energi panas yang dihasilkan oleh tubuh manusia (*TiO<sub>2</sub> Mosquito, n.d.*).

Zeolit digunakan sebagai penyangga katalis karena struktur kristalnya berpori dan memiliki luas permukaan yang besar, tersusun oleh kerangka silika-alumina, memiliki stabilitas termal yang tinggi, harganya murah serta ketersediaannya cukup melimpah. Dispersi katalis/logam aktif ke permukaan penyangga katalis bertujuan untuk memperluas permukaan katalis dan memperbanyak jumlah situs aktif. Dengan demikian diharapkan kontak antara reaktan dengan katalis akan semakin banyak sehingga reaksi akan berlangsung mudah dan cepat. Selain itu, penggunaan penyangga katalis adalah untuk mengatur jumlah katalis/logam aktif yang dibutuhkan, meningkatkan aktivitas katalis serta daya tahan kerja katalis (Slamet et al., 2007). Dengan adanya kombinasi TiO<sub>2</sub>-ZAL dapat meningkatkan proses fotokatalisis.

Dengan terjadinya peristiwa fotokatalisis yang menghasilkan CO<sub>2</sub> dan panas dapat menarik nyamuk mendekati ke alat. Dengan bantuan kipas sehingga nyamuk terperangkap dan mati akibat dehidrasi. Disamping panas yang merupakan penarik nyamuk karena menyerupai panas yang dihasilkan oleh tubuh manusia, CO<sub>2</sub> memiliki peran yang sama karena menyerupai hembusan nafas manusia (Furman et al., 2007).

Hal yang perlu diperhatikan disini bahwa hasil kinerja alat dipengaruhi oleh tempat pengujian dan cuaca. Pada tiap yang berbeda diperoleh hasil tangkapan nyamuk yang berbeda pula. Jika diletakkan di tempat yang banyak nyamuk, maka alat ini akan menangkap banyak nyamuk begitu pula sebaliknya.

#### **4.4 Uji Degradasi Gas Asetaldehida dan Toluena**

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui dan membandingkan penurunan asetaldehida dan toluena, baik yang menggunakan zeolit alam Lampung maupun tanpa penambahan zeolit alam Lampung. Uji degradasi gas asetaldehida dan toluena menggunakan *gas chromatography* (GC).

#### 4.4.1 Uji Blanko dan Uji Kebocoran Reaktor

Uji ini dilakukan untuk mengetahui reaktor yang digunakan untuk uji degradasi gas toluena dan asetaldehida tidak bocor dan untuk memastikan bahwa penurunan luas area dibawah peak saat uji degradasi gas toluena dan asetaldehida disebabkan oleh proses reaksi fotokatalitik.

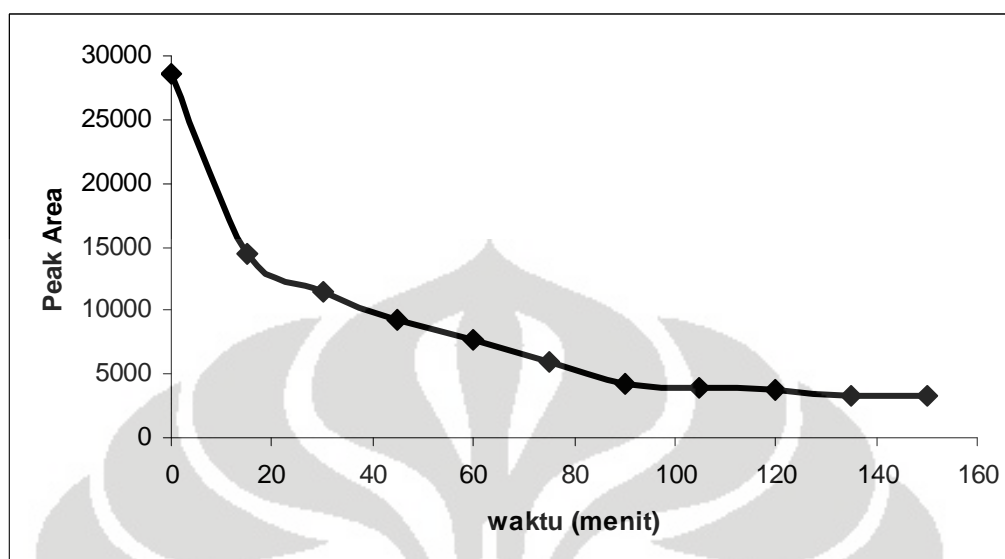
Pada uji blanko dan uji degradasi gas asetaldehida dan toluena, panel yang dilapisi fotokatalis dimasukkan ke dalam reaktor dengan ukuran 50 x 50 x 50 cm dan diisolasi agar tidak bocor. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut.



**Gambar 4.10** Kotak Pengujian Degradasi Asetaldehida dan Toluena

Pada uji blanko ini, diperoleh hasil yang dapat dilihat pada Gambar 4.11 dan data dapat dilihat di Lampiran 3. Dari hasil ini dapat jelas terlihat bahwa sesaat setelah penginjeksian gas asetaldehida ke dalam reaktor ( $t = 0$  menit) sampai  $t = 95$  menit, distribusi gas belum homogen. Artinya gas asetaldehida memerlukan waktu yang cukup untuk berdistribusi di dalam reaktor. Setelah homogen, maka konsentrasi gas asetaldehida di dalam reaktor selama waktu pengamatan dapat dikatakan konstan. Ini berarti tanpa adanya lampu UV, proses fotokatalitik yang dapat mendegradasi polutan organik tidak terjadi. Lampu UV disini berfungsi untuk mengaktifkan  $\text{TiO}_2$  dengan cara menyediakan energi yang dibutuhkan elektron untuk tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi (Vohra et al., 2006). Selain itu, dapat disimpulkan pula bahwa reaktor tidak bocor dan siap

digunakan untuk percobaan. Jadi adanya penurunan konsentrasi saat pengujian nanti maka bukan disebabkan oleh adanya kebocoran.



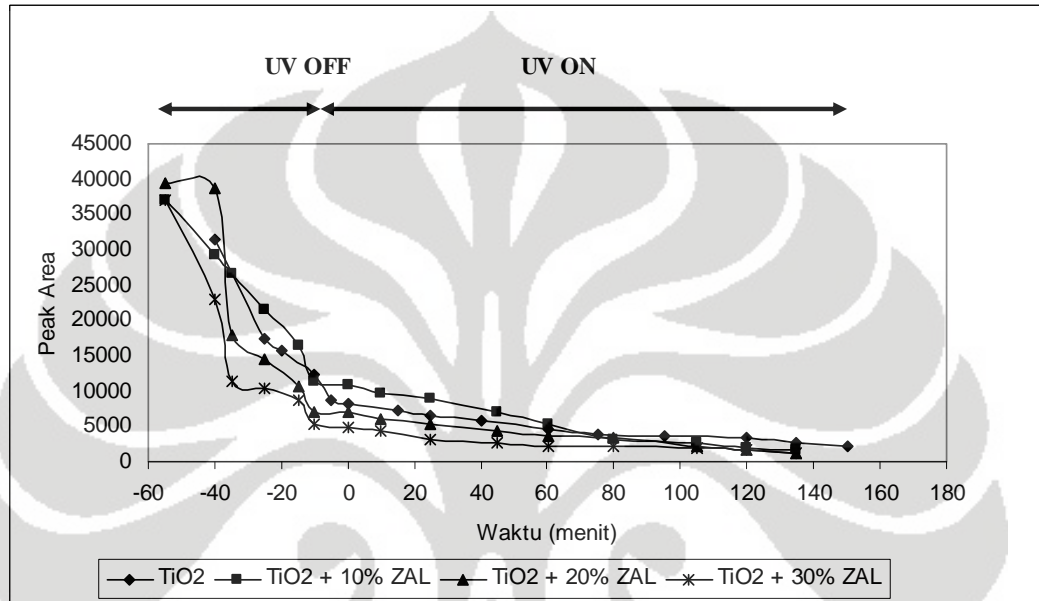
**Gambar 4. 11** Hasil Uji Blanko dan Kebocoran Reaktor Menggunakan Gas Asetaldehida

#### 4.4.2 Uji Degradasi Gas Asetaldehida dan Toluena

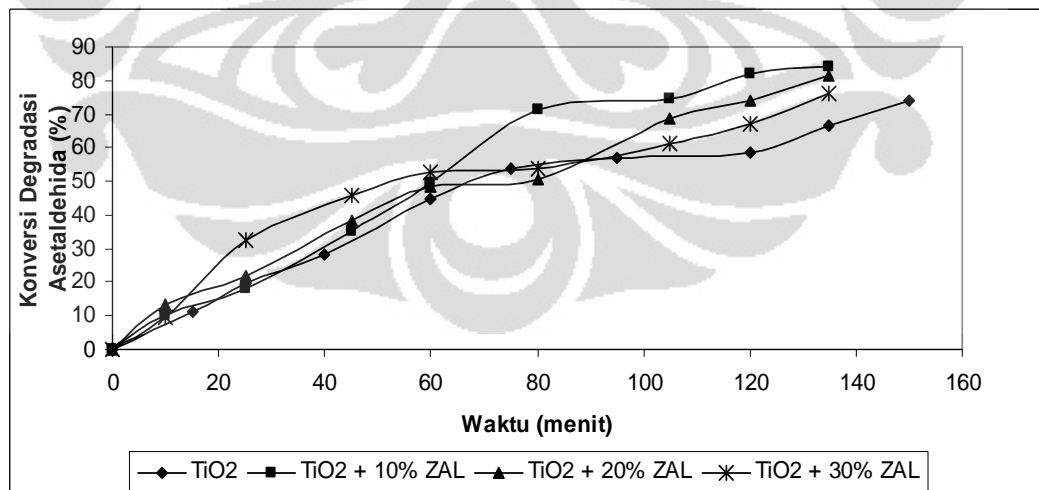
Percobaan ini dimaksudkan untuk melihat kemampuan alat untuk mendegradasi gas. Asetaldehida dan toluena dipilih sebagai model polutan udara karena kemudahannya untuk menguap dan juga merupakan polutan yang sering ditemukan di udara ruang. Dengan tekanan uap yang relatif rendah, maka pengambilan sampel dalam bentuk uap akan lebih mudah. Pada percobaan ini variasi dilakukan pada panel aluminium, yakni dengan menggunakan panel aluminium dengan katalis  $\text{TiO}_2$  tanpa Zeolit Alam Lampung (ZAL), dan dengan panel aluminium dengan katalis  $\text{TiO}_2$  dan Zeolit Alam Lampung. Terdapat tiga variasi panel berlapis katalis  $\text{TiO}_2$  dan ZAL, yaitu panel  $\text{TiO}_2 + 10\%$  ZAL, panel  $\text{TiO}_2 + 20\%$  ZAL dan panel  $\text{TiO}_2 + 30\%$  ZAL.

Setiap pengujian degradasi gas toluena dan asetaldehida dilakukan dengan mengisolasi reaktor terlebih dahulu. Gas yang akan didegradasi kemudian diinjeksikan ke dalam reaktor dalam kondisi lampu UV yang tidak menyala. Konsentrasi gas setiap waktu kemudian diamati sampai luas area di bawah peak-nya tetap. Saat lampu UV dinyalakan, maka waktu  $t=0$  menit untuk uji degradasi gas mulai dihitung.

Percobaan degradasi gas asetaldehida dilakukan dengan menggunakan panel yang berlapis katalis  $\text{TiO}_2$  dan ZAL. Hasil uji degradasi gas asetaldehida dengan menggunakan panel  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2 + 10\%$  ZAL,  $\text{TiO}_2 + 20\%$  ZAL, dan  $\text{TiO}_2 + 30\%$  ZAL dapat dilihat pada Gambar 4.12-4.15 berikut (data pengujian degradasi gas asetaldehida dapat dilihat pada Lampiran 3)

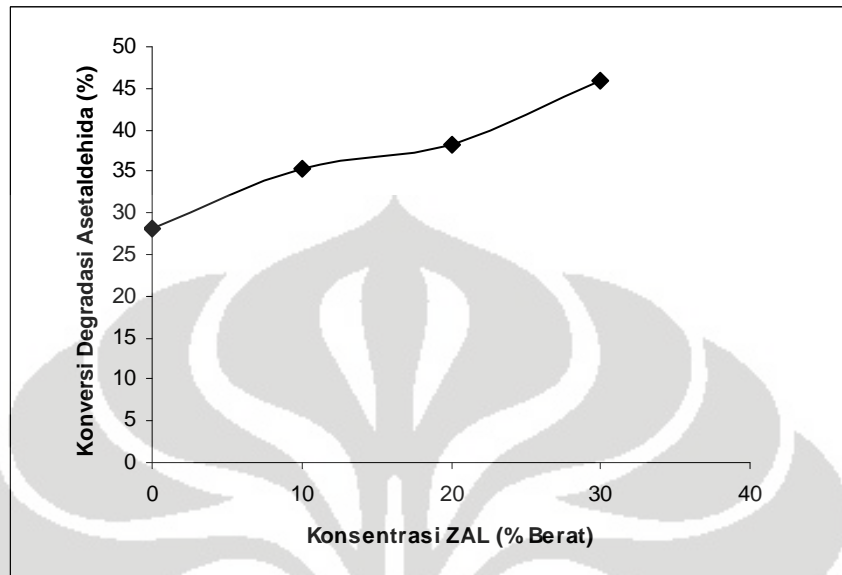


**Gambar 4. 12** Hasil Uji Degradasi Gas Asetaldehida dengan Menggunakan Panel  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2 + 10\%$  ZAL,  $\text{TiO}_2 + 20\%$  ZAL, dan  $\text{TiO}_2 + 30\%$  ZAL

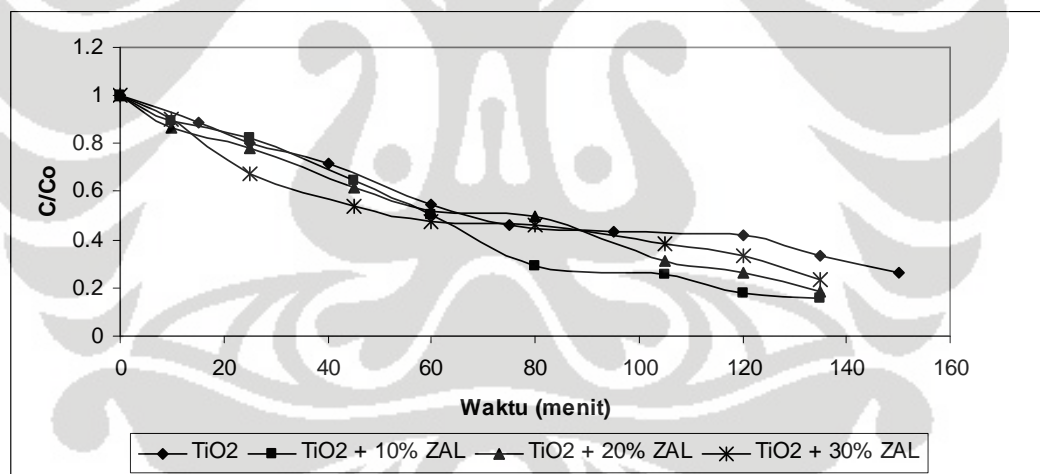


**Gambar 4. 2** Perbandingan % Degradasi Gas Asetaldehida dengan Menggunakan Panel  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2 + 10\%$  ZAL,  $\text{TiO}_2 + 20\%$  ZAL, dan  $\text{TiO}_2 + 30\%$  ZAL

Gambar 4.14 menunjukkan persen ZAL terhadap persen degradasi gas asetaldehida pada  $t = 45$  menit.



Gambar 4.14 Persen Zal terhadap Persen Degradasi pada  $t = 45$



Gambar 4. 15 Perbandingan  $C/C_0$  vs Waktu untuk Degradasi Asetaldehida

Dari grafik-grafik diatas dapat terlihat bahwa dengan adanya penggunaan variasi  $TiO_2$  dan zeolit alam Lampung dapat bekerja lebih baik dibandingkan dengan penggunaan  $TiO_2$  saja. Penggunaan variasi  $TiO_2 + 30\%$  ZAL lebih cepat menurunkan peak area asetaldehida. Dari Gambar 4.10, juga dapat dilihat peran zeolit alam Lampung dalam mempercepat proses degradasi gas asetaldehida.



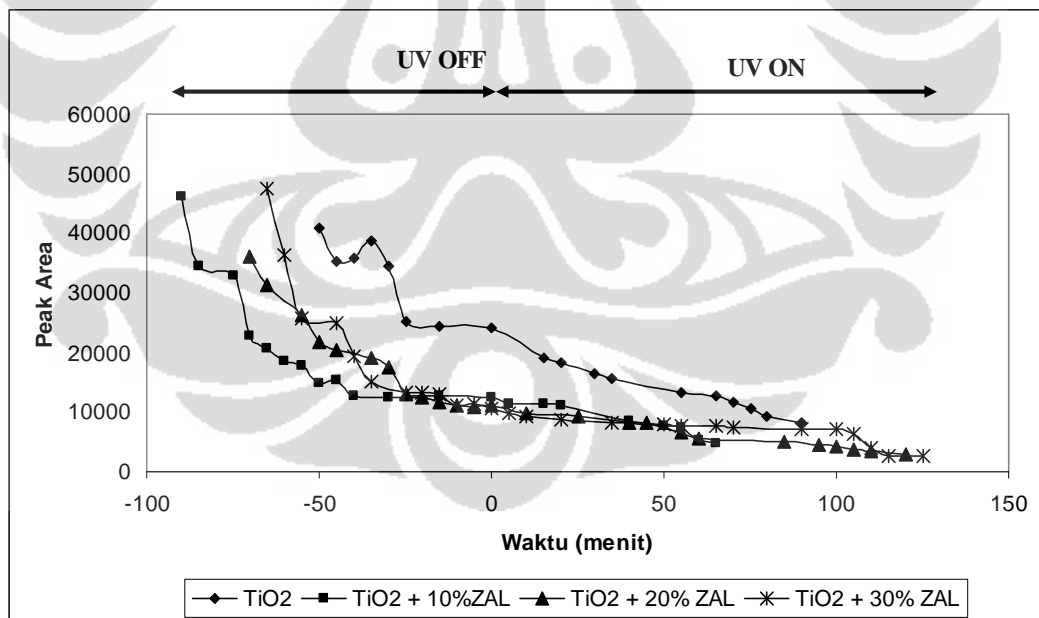
Melalui grafik perbandingan C/Co (Gambar 4.15), dapat dilihat bahwa penurunan peak area sampai  $t = 60$  menit memiliki nilai yang hampir serupa walaupun panel yang dilapisi zeolit alam Lampung lebih cepat menurunkan peak area. Persen degradasi gas asetaldehida dengan menggunakan panel TiO<sub>2</sub>-ZAL lebih besar dibandingkan dengan panel TiO<sub>2</sub> saja, yaitu (Gambar 4.13). Ini berarti dengan adanya penambahan zeolit alam Lampung, degradasi polutan akan lebih efisien. Hal ini dapat terjadi karena zeolit alam Lampung yang bersifat sebagai adsorben yang mampu meningkatkan konsentrasi senyawa yang akan didegradasi pada sekitar ruang TiO<sub>2</sub> dengan cara meningkatkan kemampuan adsorpsi katalis, sehingga dapat meningkatkan laju kinetika reaksi fotokatalitik Matsuoka dan Anpo, 2003 ; Takeda et al., 1995; Torimoto et al., 1996; Yoneyama dan Torimoto, 2000).

Dalam proses degradasi, asetaldehida juga tidak langsung membentuk produk akhir, melainkan membentuk senyawa antara atau *intermediates* berupa asam asetat dan asam formiat (Hu et al., 2006; Nishijima et al., 2007). Reaksi yang pertama adalah melibatkan pembentukan asam asetat dari asetaldehida. Ikatan  $\alpha$ -karbon dioksidasi langsung menjadi CO<sub>2</sub> sementara  $\beta$ -karbon dioksidasi menjadi asam formiat dan formaldehida. Reaksi yang kedua melibatkan pembentukan asam formiat/formaldehida langsung dari asetaldehida diikuti dengan pembentukan CO<sub>2</sub> (Zehr et al, 2008). Karena waktu pengamatan selama 150 menit dari waktu penyalaan lampu UV akan meminimalisasi jumlah *intermediates* yang terbentuk. Dari referensi yang diperoleh, kemampuan degradasi asetaldehida akan semakin berkurang seiring dengan berjalannya waktu adsorpsi *intermediate* (seperti asam asetat) pada sisi aktif katalis (Hai et al., 2007; Hu et al., 2006; Sano et al., 2004; Obuchi et al., 1999). Laju pembentukan CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh oksidasi asam formiat akan berbeda dengan CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh oksidasi asam asetat (Nishijima et al., 2007). Selain itu, penurunan degradasi asetaldehida mungkin juga disebabkan oleh adsorpsi kompetitif antara uap air dan asetaldehida sehingga menyebabkan jumlah asetaldehida yang teradsorpsi menjadi menurun. Hal ini mungkin terjadi karena udara terpolusi seringkali mengandung uap air (Sano et al., 2004).

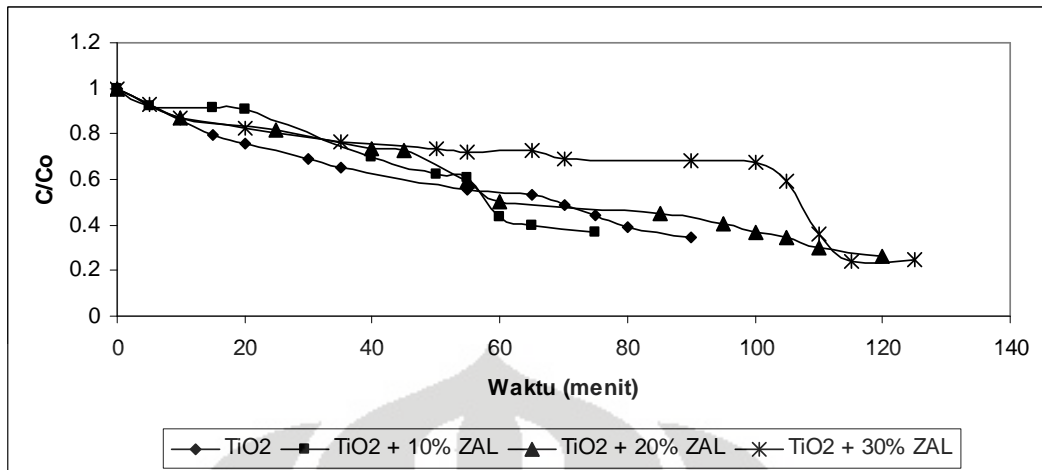
Penurunan konsentrasi pada panel TiO<sub>2</sub>-ZAL lebih efisien dibandingkan pada panel TiO<sub>2</sub> saja mungkin dikarenakan sebagian senyawa *intermediate* yang terbentuk dan menempel di permukaan katalis telah didegradasi menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Jika waktu pengujian diteruskan lagi maka penurunan konsentrasi akan cenderung kecil karena semakin banyaknya uap air yang terbentuk maka laju degradasi polutan akan menurun pula.

Persentase degradasi dari asetaldehida TiO<sub>2</sub> dan 10% ZAL jauh lebih efektif dalam mendegradasi dibandingkan dengan panel berlapis TiO<sub>2</sub>. TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub> + 10% ZAL masing-masing memiliki persen degradasi  $((C_0-C)/C_0) = 66,7\%$  dan  $84,1\%$  pada  $t = 135$  menit. Namun, akan efektif memilih TiO<sub>2</sub>-30% ZAL dengan waktu 45 menit dan degradasi 45,8%, degradasi tidak tinggi tetapi waktunya tidak terlalu lama dibandingkan dengan  $t = 135$  menit (keuntungannya adalah menggunakan bahan yang sama untuk uji menangkap nyamuk).

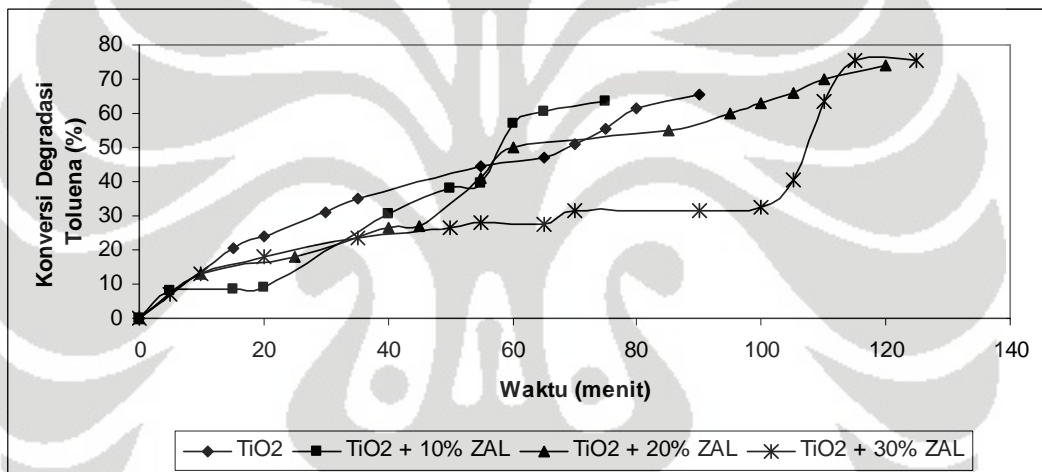
Percobaan degradasi juga dilakukan pada panel TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub>-ZAL dengan menggunakan gas toluena. Hasil uji degradasi gas toluena dapat dilihat pada Gambar 4.16-4.19 berikut (data pengujian degradasi gas toluena dapat dilihat pada Lampiran 4).



**Gambar 4. 16** Hasil Uji Degradasi Gas Toluena dengan Menggunakan Panel TiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> + 10 % ZAL, TiO<sub>2</sub> + 20 % ZAL, dan TiO<sub>2</sub> + 30 % ZAL

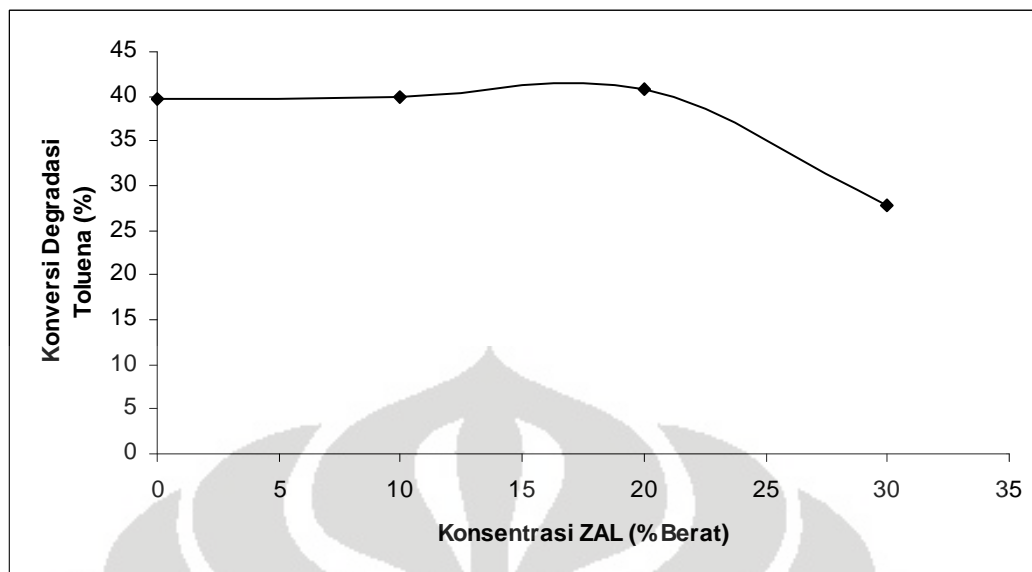


**Gambar 4.17** Perbandingan  $C/C_0$  vs Waktu untuk Degradasi Toluena



**Gambar 4.3** Perbandingan % Degradasi Gas Toluena dengan Menggunakan Panel TiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> + 10 % ZAL, TiO<sub>2</sub> + 20 % ZAL, dan TiO<sub>2</sub> + 30 % ZAL

Gambar 4.19 menunjukkan persen ZAL terhadap persen degradasi gas toluena pada  $t = 55$  menit.



**Gambar 4.19** Persen Zal terhadap Persen Degradasi pada  $t = 55$

Hasil uji degradasi gas toluena menunjukkan adanya penurunan peak area untuk setiap waktu tertentu. Penurunan peak area ini akan sebanding dengan penurunan konsentrasi (Harris, 1995). Dari grafik-grafik di atas dapat dilihat penurunan peak area dengan menggunakan panel  $\text{TiO}_2$ -ZAL lebih cepat dibandingkan dengan penurunan peak area dengan menggunakan panel  $\text{TiO}_2$  saja.

Dalam uji degradasi toluena ini, penurunan peak area disebabkan oleh terdekomposisinya toluena menjadi senyawa lain. Senyawa lain ini dapat berupa senyawa *intermediate* (proses konversi) ataupun produk akhir berupa  $\text{CO}_2$  (proses mineralisasi). Pada waktu pengujian yang relatif singkat, seringkali senyawa *intermediate* lebih berbahaya dibandingkan senyawa induknya (Guo, 2008). Total waktu keseluruhan untuk pengamatan degradasi toluena dapat dikatakan relatif lama sehingga pembentukan senyawa *intermediate* yang lebih berbahaya dapat diminimalisasi. Walaupun pada penelitian ini tidak dilakukan identifikasi senyawa-senyawa *intermediate* yang terbentuk, berbagai referensi yang menggunakan toluena sebagai target polutan udara menunjukkan toluena memiliki banyak senyawa *intermediate* yang terbentuk. Sebenarnya proses oksidasi fotokatalitik (*PCO* atau *Photocatalytic Oxidation*) toluena sangat dipengaruhi oleh kelembaban udara relatif. Pada percobaan ini dianggap kelembaban udara relatifnya sama. Berbeda kelembaban udara maka kecenderungan proses PCO dan senyawa *intermediate* yang dihasilkan akan berbeda (Demeestere et al., 2008;

Guo et al., 2008; Sleiman et al., 2008). *Benzyl alcohol*, *benzaldehyde*, dan *benzoic acid* ditemukan di hampir semua eksperimen dan *benzaldehyde* merupakan *intermediate* yang paling melimpah di setiap kondisi kelembaban udara (Guo et al., 2008). Selain itu dari penelitian yang dilakukan Augugliaro et al. (1999) juga mempelajari senyawa *intermediate* yang dihasilkan oleh toluena, yaitu benzaldehida (produk utama), benzena, benzil alkohol, CO<sub>2</sub> dan sejumlah asam benzoat dan fenol. Menurut penelitian yang dilakukan Irokawa et al. (2006), benzaldehida yang terbentuk dari fotooksidasi toluena akan teradsorpsi lebih kuat ke permukaan fotokatalis. Namun lama kelamaan senyawa-senyawa antara akan terdegradasi menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O (Wang et al., 2007).

Persentase degradasi dari toluena, TiO<sub>2</sub> dan 10% ZAL jauh lebih efektif dalam mendegradasi dibandingkan dengan panel berlapis TiO<sub>2</sub>. TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub> + 10% ZAL masing-masing memiliki persen degradasi  $((C_0-C)/C_0) = 55.7\%$  dan 63,5% pada  $t = 75$  menit. Namun dalam memilih bahan, TiO<sub>2</sub>-30% ZAL yang sama dalam uji menangkap nyamuk akan mendegradasi sebesar 28% dalam waktu yang sama dan itu lebih efektif.

Baik pada gas toluena maupun asetaldehida, alat mampu melakukan pendegradasian dua model polutan udara dari konsentrasi awalnya. Pada konsentrasi polutan udara ruang yang sesungguhnya, biasanya pada orde ppb, alat ini mampu menunjukkan kinerja yang baik pula dalam mendegradasi polutan.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Proses fotokatalisis pada alat ini terbukti dapat menjadi daya tarik nyamuk ke alat perangkap nyamuk.
2. Perpaduan antara fotokatalisis dengan panel Aluminium yang dilapisi kombinasi  $\text{TiO}_2$  dan 30 % zeolit alam Lampung, lampu UV dan gaya sedot kipas menunjukkan hasil optimal dalam menangkap nyamuk dan mendegradasi asetaldehida dan toluena.
3. Selain berfungsi sebagai perangkap nyamuk juga dapat berfungsi sebagai alat purifikasi udara ruang dengan model udara adalah gas toluena dan asetaldehida.
4. Kinerja alat perangkap nyamuk dipengaruhi oleh lokasi pengujian dan juga kondisi cuaca saat alat dinyalakan.
5. Kombinasi  $\text{TiO}_2$ -30% ZAL mampu mendegradasi asetaldehida sebesar 45,8 % pada menit ke 45 sejak penyalaan lampu UV.
6. Kombinasi  $\text{TiO}_2$ -30% ZAL mampu mendegradasi toluena sebesar 27,7% pada menit ke 55 sejak penyalaan lampu UV.

**DAFTAR PUSTAKA**

Anonim. (2005). *Waspadai Polusi Dalam Ruang!* [online]. Available from: <http://www.kompas.com/kesehatan/news/0505/29/210803.htm>. April 20, 2008.

Anonim. (2007). *Nanomaterial based catalyst* [online]. Available from: <http://wikipedia.com> . April 13, 2008.

Anonim. (2007). Sick Building Syndrome [online]. Available from: <http://wikipedia.com>. November 28, 2009.

Ao, C.H. dan Lee, S.C. (2004). Combination effect of activated carbon with TiO<sub>2</sub> for the photodegradation of binary pollutants at typical indoor air level. *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, 161, pp. 131–140.

Ao, C.H. dan Lee, S.C. (2005). Indoor air purification by photocatalyst TiO<sub>2</sub> immobilized on an activated carbon filter installed in an air cleaner . *Chem. Eng. Sci.*, 60, pp. 103-109.

Coulson, J.M. dan Richardson, J.F. (1997). *Chemical Engineering*, Vol.2. New York: Pergamon Press.

Demeestere, K., Dewulf, J., Witte, B.D., Beeldens, A. dan Laneghve, H.V. (2008). Heterogeneous photocatalytic removal of toluene from air on building materials enriched with TiO<sub>2</sub>. *Build. Environ.*, 43, pp. 406-414.

Euvananont, C., Junin, C., Inpor, K., Limthongkul, P. dan Thanachayanont, C. (2008). TiO<sub>2</sub> optical coating layers for self-cleaning applications. *Ceramics Inter.*, 34, pp. 1067-1071.

Ellyana, Meta. (2007). *Modifikasi Zeolit Alam Lampung dengan Fotokatalisis TiO<sub>2</sub> melalui Metode Sol Gel untuk Penyisihan Fenol*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. [Skripsi].

Fujishima, A., Rao, T. N. dan Tryk, D. A. (2000). Titanium dioxide photocatalysis. *J. Photochem. Photobiol. C: Photochem. Rev.*, 1. pp. 1-21.

Fujishima, A. dan Zhang, X. (2006). Titanium dioxide photocatalysis: present situation and future approaches. *C.R. Chimie*, 9. pp.750-760.

Guo, T., Bai, Z., Wu, C. dan Zhu, T. (2008). Influence of relative humidity on the photocatalytic oxidation (PCO) of toluene by TiO<sub>2</sub> loaded on activated carbon fibers: PCO rate and intermediates accumulation. *Appl. Catal. B: Environ.*, 79. pp.171-178.

Hai, H. Wen-jun, X., Jian-wei, S., Ming-xia, C. dan Wen-feng, S.G. (2007). Preparations of TiO<sub>2</sub> film coated on foam nickel substrate by sol-gel processes and its photocatalytic activity for degradation of acetaldehyde. *J.of. Environ. Sci.*, 19. pp. 80-85.

Harris, D.C. (1995). *Quantitative Chemical Analysis. edisi keempat*. New York: W..H. Freeman and Company.

Hu, X., Hu, C. dan Qu, J. (2006). Photocatalytic decomposition of acetaldehyde and *Escherichia coli* using NiO/SrBi<sub>2</sub>O<sub>4</sub> under visible light irradiation. *Appl. Catal. B: Environ*, 69. pp. 17-23.

Liuxie, Z., Xiulian, W., Peng, L. dan Zhixing, S. (2008). Low temperature deposition of TiO<sub>2</sub> thin films on polyvinyl alcohol fibers with photocatalytic and antibacterial activities. *Appl. Surf. Sci.*, 254. pp. 1771-1774.



Lu, M.C., Chen, J.N. dan Chang, K.T. (1999). Effect of adsorbents coated with titanium dioxide on the photocatalytic degradation of propoxur. *Chemosphere*, 38.pp. 617-627.

Inu. (2008). *100 Juta Penduduk Berisiko Tertular Malaria* [online]. Available from:

<http://www.kompas.com/index.php/read/xml/2008/05/08/10162956/100.juta.penduduk.berisiko.tertular.malaria>. Mei 19, 2008.

Matsuoka, M. dan Anpo, M. (2003). Local structures, excited states, and photocatalytic reactivities of highly dispersed catalysts constructed within zeolites. *J. Photochem. Photobiol. C: Photochem. Rev.*, 3.pp. 225-252.

Nishijima, K., Ohtani, B., Yan, X., Kamai, T., Chiyoya, T., Tsubota, T., Murakami, N. dan Ohno, T. (2007). Incident light dependence for photocatalytic degradation of acetaldehyde and acetic acid on S-doped and N-doped TiO<sub>2</sub> photocatalysts. *Chem. Phys.*, 339.Pp. 64-72.

Nurhayati, Y. (1999). *Pengaruh Dealuminasi Menggunakan HCl Pada Zeolit Alam Lampung Terhadap Aktivitas dan Stabilitasnya Pada Reaksi Dehidarsi Etanol*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia [Skripsi]

Obuchi, E. Sakamoto, T. dan Nakano. K. (1999). Photocatalytic decomposition of acetaldehyde over TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> catalyst. *Chem. Eng. Sci.*, 54.Pp. 1525-1530.

Putra, S.E. (2007). *Zeolit sebagai Mineral Serba Guna* [online]. Available from: <http://www.chem-is-try.org>. Mei 29, 2009.

Reeves, W.C. (1953). Quantitative Field Studies on a Carbon Dioxide Chemotropism of Mosquitoes. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 2(2).pp. 325-331.

Sano, T., Negishi, N. Takeuchi, K. dan Matsuzawa, S. (2004). *Solar Energy*, 77,pp.543-552.

Slamet, Bismo, S. dan Arbianti, R. (2007). *Laporan Penelitian Hibah Bersaing Tahun II : Modifikasi Zeolit Alam dan Karbon Aktif dengan TiO<sub>2</sub> serta Aplikasinya sebagai Bahan Adsorben dan Fotokatalis untuk Degradasi Polutan Organik*. Depok: Universitas Indonesia.

Slamet, E, M. dan Bismo, S. (2008). *Modifikasi Zeolit Alam Lampung dengan Fotokatalisis TiO<sub>2</sub> Melalui Metode Sol Gel dan Aplikasinya untuk Penyisihan Fenol*.hlm. 59-68. Depok: Universitas Indonesia.

Sleiman, M., Conchon, P., Ferronato, C. dan Chovelon, J. M. (2008). Photocatalytic oxidation of toluene at indoor air levels (ppbv): Towards a better assessment of conversion, reaction intermediates and mineralization. *Appl. Catal. B: Environ.*, article in press.

Takeda, N., Torimoto, T., Sampath, S., Kuwabata, S., dan Yoneyama, H. (1995). Effect of inert support for titanium dioxide loading on enhancement of photodecomposition rate of gaseous propionaldehyde. *J. Phys. Chem.*, 99. pp. 9986-9991.

Torimoto, T., Ito, S., Kuwabata, S., dan Yoneyama, H. (1996). Effects of adsorbent used as supports for titanium dioxide loading on photocatalytic degradation of propylamide. *Environ. Sci. Technol.*, 30,pp. 1275-1281.

Wahyuni,T. (2005). *Waspada! Efek Negatif Anti-Nyamuk!* [online]. Available from: [http:// www.suarakarya-online.com/news](http://www.suarakarya-online.com/news). Mei 8,2008.

Vohra, A., Goswarni, D. Y., Deshpande, D. A. dan Block, S.S. (2006). Enhanced photocatalytic disinfection of indoor air. *Appl. Catal. B: Environ.*, 65. pp. 57-65.

Wang, S., Ang, H.M., dan Tade, M.O. (2007). Volatile organic compounds in indoor environment and photocatalytic oxidation: State of the art. *Environ. Inter.*, 33. pp. 694-705.

Wu, C. (2000). *Mosquito Magnets - identifying skin chemicals that attract mosquitoes* [online]. Available from:  
[http://findarticles.com/p/articles/mi\\_m1200/is\\_/ai\\_62111663?tag=artBody;coll](http://findarticles.com/p/articles/mi_m1200/is_/ai_62111663?tag=artBody;coll)  
[Accessed 13:12:08]

Yoneyama, H. dan Torimoto, T. (2000). Titanium dioxide/adsorbent hybrid photocatalysts for photodestruction of organic substances of dilute concentrations. *Catal. Today*, 58.Pp. 133-140.

Yusim, S. (2008). *Rekayasa Alat yang Berfungsi sebagai Perangkap Nyamuk dan Purifikasi Udara Ruang dengan Prinsip Fotokatalisis*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia.Depok. [Skripsi].

Zher, R.T dan Handerson, M.A., (2008), "Acetaldehyde Photochemistry on TiO<sub>2</sub>", *Surf.Sci.*,602, pp. 2238-2239.

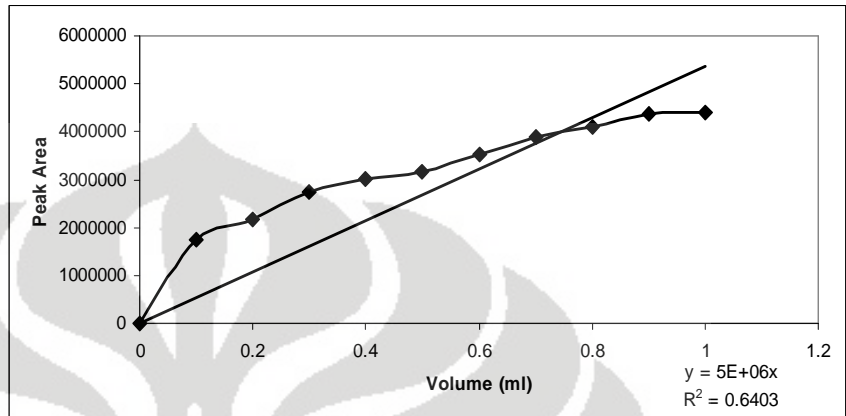
Zhao, J. dan Yang, X. (2003). Photocatalytic oxidation for indoor air purification: a literature review.*Build. Environ.*, 38. pp. 645-654.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Data Kalibrasi Gas Asetaldehida dan Gas Toluena

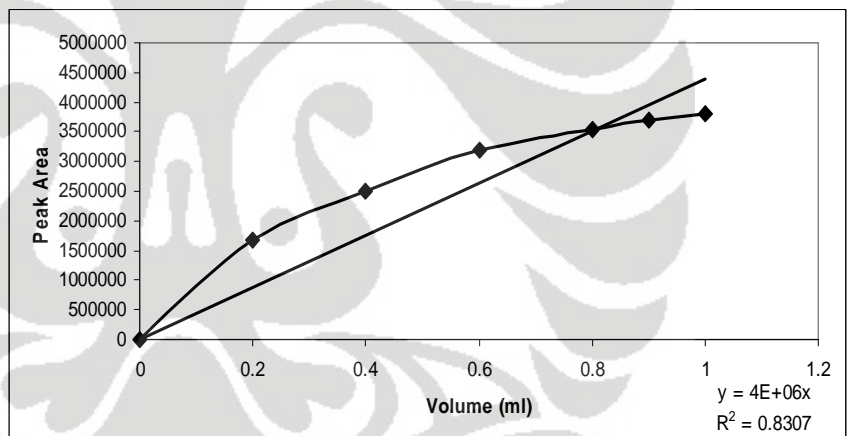
#### 2.1 Hasil Kalibrasi Gas Asetaldehida

Volume	Peak Area
0	0
0.1	1741890
0.2	2175467
0.3	2745132
0.4	3022931
0.5	3159035
0.6	3533647
0.7	3875724
0.8	4107911
0.9	4367979
1	4387755



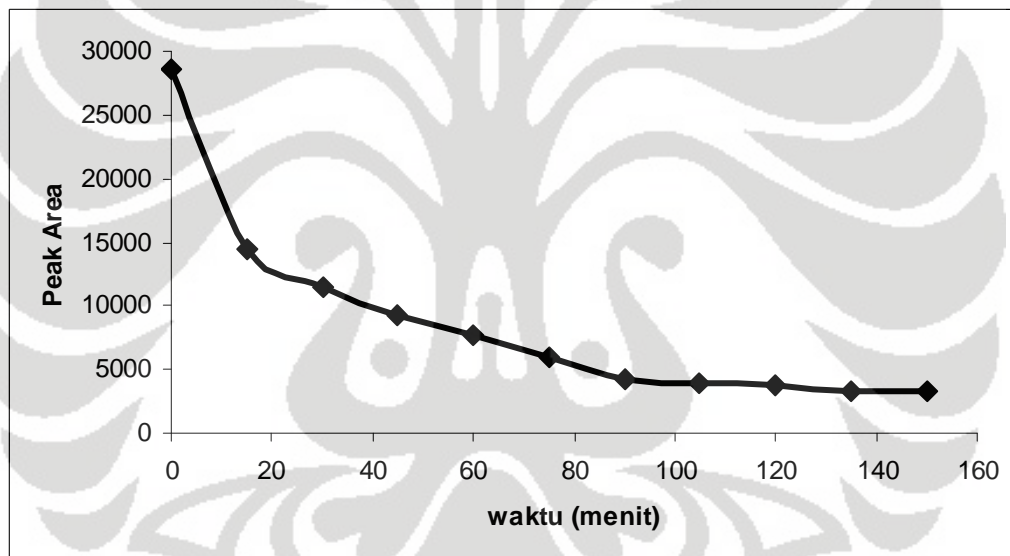
#### 2.2 Hasil Kalibrasi Gas Asetaldehida

Volume	Peak Area
0	0
0.2	1676848
0.4	2505189
0.6	3193890
0.8	3542759
0.9	3690766
1	3790504



**Lampiran 2. Data Uji Blanko Gas Asetaldehida**

t	Peak Area
0	28536
15	14452
30	11397
45	9206
60	7700
75	5923
90	4164
105	3980
120	3755
135	3278
150	3224



### Lampiran 3. Data Uji Degradasi Asetaldehida

#### Hasil Uji Degradasi Asetaldehida dengan Panel TiO<sub>2</sub>

t	Peak Area
-40	31433
-25	17302
-20	15703
-10	12424
-5	8723
0	8143
15	7221
25	6542
40	5858
60	4481
75	3781
95	3510
120	3394
135	2708
150	2118

t Total	Peak Area	C/Co	% Degradasi
0	8143	1	0
15	7221	0.886773916	11.32260838
25	6542	0.803389414	19.66105858
40	5858	0.719390888	28.06091121
60	4481	0.550288591	44.97114086
75	3781	0.464325187	53.56748127
95	3510	0.431045069	56.89549306
120	3394	0.416799705	58.32002947
135	2708	0.332555569	66.74444308
150	2118	0.2601007	73.98993000

### Hasil Uji Degradasi Asetaldehida dengan Panel TiO<sub>2</sub>-10% ZAL

t	Peak Area
-55	36922
-40	29224
-35	26658
-25	21525
-15	16483
-10	11467
0	10821
10	9704
25	8876
45	7001
60	5433
80	3121
105	2742
120	1925
135	1717

t Total	Peak Area	C/Co	% Degradasi
0	10821	1	0
10	9704	0.89677479	10.32252102
25	8876	0.820256908	17.97430921
45	7001	0.646982719	35.30172812
60	5433	0.50207929	49.79207097
80	3121	0.288420664	71.15793365
105	2742	0.253396174	74.66038259
120	1925	0.177894834	82.21051659
135	1717	0.158672951	84.13270493

### Hasil Uji Degradasi Asetaldehida dengan Panel TiO<sub>2</sub>-20% ZAL

t	Peak Area
-55	39547
-40	38730
-35	17787
-25	14527
-15	10751
-10	7096
0	6921
10	6003
25	5397
45	4271
60	3572
80	3426
105	2149
120	1797
135	1289

t Total	Peak Area	C/Co	% Degradasi
0	6921	1	0
10	6003	0.867360208	13.26397919
25	5397	0.779800607	22.01993932
45	4271	0.617107354	38.28926456
60	3572	0.516110389	48.38896113
80	3426	0.495015171	50.49848288
105	2149	0.310504262	68.94957376
120	1797	0.25964456	74.035544
135	1289	0.186244762	81.37552377

### Hasil Uji Degradasi Asetaldehida dengan Panel TiO<sub>2</sub> -30% ZAL

t	Peak Area
-55	36955
-40	22939
-35	11277
-25	10500
-15	8799
-10	5443
0	4782
10	4325
25	3236
45	2591
60	2262
80	2216
105	1846
120	1584
135	1128

t Total	Peak Area	C/Co	% Degradasi
0	4782	1	0
10	4325	0.904433292	9.556670849
25	3236	0.676704308	32.32956922
45	2591	0.541823505	45.81764952
60	2262	0.473023839	52.69761606
80	2216	0.463404433	53.65955667
105	1846	0.386030949	61.39690506
120	1584	0.331242158	66.87578419
135	1128	0.235884567	76.41154329



#### Lampiran 4. Data Uji Degradasi Toluena

##### Hasil Uji Degradasi Toluena dengan Panel TiO<sub>2</sub>

t	Peak Area
-120	2613790
-115	2052188
-110	1448680
-105	952996
-100	504432
-95	219244
-90	191143
-80	123439
-75	87.125
-70	62365
-60	58651
-55	58421
-50	40944
-45	35197
-40	35936
-35	38637
-30	34635
-25	25312
-15	24322
0	24043
15	19161
20	18219
30	16580
35	15606
55	13328
65	12715
70	11760
75	10647
80	9305
90	8276

t Total	Peak Area	C/Co	% Degradasi
0	24043	1	0
15	19161	0.796947	20.305286
20	18219	0.757767	24.223267
30	16580	0.689598	31.04022
35	15606	0.649087	35.091295
55	13328	0.55434	44.565986
65	12715	0.528844	47.115585
70	11760	0.489124	51.087635
75	10647	0.442832	55.716841
80	9305	0.387015	61.298507
90	8276	0.344217	65.578339

### Hasil Uji Degradasi Toluena dengan Panel TiO<sub>2</sub>-10% ZAL

t	Peak Area
-135	2741286
-130	2157370
-125	1478160
-120	683239
-115	292252
-110	152119
-105	94887
-95	77660
-90	46234
-85	34384
-75	32932
-70	22719
-65	20696
-60	18574
-55	17871
-50	14789
-45	15309
-40	12841
-30	12570
-15	12621
0	12362
5	11395
15	11293
20	11219
40	8580
50	7672
55	7464
60	5339
65	4870
75	4507

t Total	Peak Area	C/Co	% Degradasi
0	12362	1	0
5	11395	0.921776	7.82235884
15	11293	0.913525	8.64746805
20	11219	0.907539	9.24607669
40	8580	0.694062	30.5937551
50	7672	0.620612	37.9388448
55	7464	0.603786	39.6214205
60	5339	0.431888	56.8111956
65	4870	0.393949	60.6050801
75	4507	0.364585	63.5414981

### Hasil Uji Degradasi Toluena dengan Panel TiO<sub>2</sub>-20% ZAL

t	Peak Area
-95	2783879
-90	1318952
-85	265509
-80	98242
-75	59204
-70	36177
-65	31415
-55	26325
-50	21743
-45	20413
-35	18991
-30	17633
-25	12973
-20	12356
-15	11680
-10	11205
-5	10777
0	11246
10	9771
25	9219
40	8257
45	8215
55	6653
60	5623
85	5055
95	4517
100	4151
105	3845
110	3390
120	2926

t Total	Peak Area	C/Co	% Degradasi
0	11246	1	0
10	9771	0.8688423	13.1157745
25	9219	0.8197581	18.0241864
40	8257	0.7342166	26.578339
45	8215	0.7304819	26.9518051
55	6653	0.5915881	40.841188
60	5623	0.5	50
85	5055	0.4494932	55.0506847
95	4517	0.4016539	59.8346079
100	4151	0.369109	63.0890983
105	3845	0.3418993	65.8100658
110	3390	0.3014405	69.8559488
120	2926	0.2601814	73.9818602

### Hasil Uji Degradasi Toluena dengan Panel TiO<sub>2</sub>-30% ZAL

t	Peak Area
-85	2431272
-80	870998
-75	178285
-70	99195
-65	47628
-60	36259
-55	25769
-45	24924
-40	19494
-35	15072
-25	13228
-20	13159
-15	12921
-10	11071
-5	11433
0	10644
5	9899
10	9254
20	8751
35	8126
50	7838
55	7686
65	7726
70	7315
90	7289
100	7182
105	6338
110	3863
115	2592
125	2610

t Total	Peak Area	C/Co	% Degradasi
0	10644	1	0
5	9899	0.930008	6.9992484
10	9254	0.86941	13.0590004
20	8751	0.822153	17.7846674
35	8126	0.763435	23.6565201
50	7838	0.736377	26.3622698
55	7686	0.722097	27.7903044
65	7726	0.725855	27.4145058
70	7315	0.687242	31.2758362
90	7289	0.684799	31.5201052
100	7182	0.674746	32.5253664
105	6338	0.595453	40.4547163
110	3863	0.362927	63.7072529
115	2592	0.243517	75.6482525
125	2610	0.245209	75.4791432