



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**REKAYASA ALAT YANG BERFUNGSI SEBAGAI  
PERANGKAP NYAMUK DAN PURIFIKASI UDARA RUANG  
DENGAN PRINSIP FOTOKATALISIS**

**SKRIPSI**

**SYLVIA YUSIM  
0405060636**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
PROGRAM SARJANA  
DEPOK  
DESEMBER 2008**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**REKAYASA ALAT YANG BERFUNGSI SEBAGAI  
PERANGKAP NYAMUK DAN PURIFIKASI UDARA RUANG  
DENGAN PRINSIP FOTOKATALISIS**

**SKRIPSI**

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

**SYLVIA YUSIM  
0405060636**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
PROGRAM SARJANA  
DEPOK  
DESEMBER 2008**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Sylvia Yusim**  
**NPM : 0405060636**  
**Tanda Tangan :**  
**Tanggal : 12 Desember 2008**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Sylvia Yusim  
NPM : 0405060636  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul Skripsi : Rekayasa Alat yang Berfungsi Sebagai Alat Perangkap  
Nyamuk dan Purifikasi Udara Ruang dengan Prinsip  
Fotokatalisis

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 : Dr. Ir. Slamet, MT ( )  
Penguji : Prof. Dr. Ir. M. Nasikin, M.Eng ( )  
Penguji : Ir. Setiadi, M.Eng ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Desember 2008

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Slamet, MT., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Kang Jajat, Mang Izal, dan Mas Eko sebagai teknisi laboratorium yang telah membantu saya secara teknis.
3. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
4. Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

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, 12 Desember 2008

Penulis

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

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

Nama : Sylvia Yusim

Program Studi : Teknik Kimia

Departemen : Teknik Kimia

NPM : 0405060636

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

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

“Rekayasa Alat yang Berfungsi Sebagai Alat Perangkap Nyamuk dan  
Purifikasi Udara Ruang dengan Prinsip Fotokatalisis”

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 : 12 Desember 2008

Yang menyatakan

( Sylvia Yusim )

## ABSTRAK

Nama : Sylvia Yusim  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Rekayasa Alat yang Berfungsi Sebagai Alat Perangkap Nyamuk dan Purifikasi Udara Ruang dengan Prinsip Fotokatalisis

Alat perangkap nyamuk dengan bentuk unik yang juga berfungsi sebagai alat purifikasi udara ruang telah dirancang di dalam penelitian ini. Secara umum, alat ini terdiri dari lampu UV, panel berbahan aluminium, dan kipas penyedot. Panel aluminium dilapisi dengan kombinasi fotokatalis  $\text{TiO}_2$  dan adsorben karbon aktif AC melalui metode penyemprotan. Hasil pengujian kinerja alat dalam menangkap nyamuk menunjukkan bahwa panel yang dilapisi fotokatalis jauh lebih efektif dalam menarik nyamuk dibandingkan panel yang tidak dilapisi fotokatalis. Dalam mendegradasi dua model polutan udara ruang yakni gas toluena dan asetaldehida, panel yang berlapis  $\text{TiO}_2$ -AC lebih efektif dibandingkan dengan panel tanpa karbon aktif. Kombinasi proses yang mengintegrasikan adsorpsi dan fotokatalisis sangat menjanjikan untuk diterapkan pada alat perangkap nyamuk fungsi ganda ini.

Kata kunci:

Fotokatalisis, nyamuk, polusi udara dalam ruang, titanium dioksida, karbon aktif

## ABSTRACT

Name : Sylvia Yusim  
Study Program: Chemical Engineering  
Title : Mosquito Trap and Indoor Air Purifier Device with  
Photocatalysis Principle

Unique mosquito trap device which also have air purifier function has been constructed. Basically, the device consists of UV lamps, aluminum panel, and suction fan. The composite of  $\text{TiO}_2$  photocatalyst and activated carbon (AC) adsorbent were coated to panel by spray coating method. Results show that panel coated by photocatalyst is more effective in trap the mosquitoes compare to uncoated panel. Removal of two models of indoor organic pollutant, toluene and acetaldehyde, is also more effective when using  $\text{TiO}_2$ -AC as panel compare to  $\text{TiO}_2$  panel only.

Key words:

Photocatalysis, mosquito, indoor air pollution, titanium dioxide, activated carbon



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xii
<b>1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	5
1.5 Sistematika Penulisan .....	6
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>7</b>
2.1 Nyamuk .....	7
2.1.1 Jenis Nyamuk dan Penyakit yang Ditimbulkan .....	7
2.1.2 Ketertarikan Nyamuk terhadap Manusia .....	10
2.2 Polusi Udara dalam Ruangan .....	10
2.2.1 Sumber Polusi dalam Ruangan .....	10
2.2.2 Polutan VOCs ( <i>Volatile Organic Compounds</i> ) .....	11
2.3 Fotokatalisis .....	13
2.3.1 Definisi Fotokatalisis .....	13
2.3.2 TiO <sub>2</sub> Sebagai Semikonduktor Fotokatalis .....	14
2.3.3 Mekanisme Fotokatalisis TiO <sub>2</sub> .....	15
2.3.4 Aplikasi Fotokatalisis .....	17
2.4 Adsorben .....	19
2.4.1 Adsorben Karbon Aktif .....	19
2.4.2 Adsorben sebagai Penyangga Katalis TiO <sub>2</sub> .....	21

2.5 Preparasi dan Karakterisasi Katalis.....	24
2.5.1 Preparasi Katalis .....	24
2.5.2 Karakterisasi Fotokatalis .....	26
2.6 Teknik Analisis .....	27
2.6.1 <i>Gas Chromatography</i> (GC) .....	27
2.7 Jenis-jenis Alat Perangkap Nyamuk .....	28
2.7.1 Penggunaan Sinar UV .....	28
2.7.2 Penggunaan Cairan Penarik Serangga.....	31
2.7.3 Penggunaan Prinsip Fotokatalisis .....	32
<b>3. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>33</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	33
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	33
3.3 Prosedur Penelitian.....	34
3.3.1 Perancangan Konfigurasi Alat Perangkap Nyamuk.....	34
3.3.2 Pelapisan Fotokatalis dan Adsorben .....	40
3.3.3 Pengujian Kinerja Alat Perangkap Nyamuk.....	43
3.4 Data Penelitian dan Pengolahan Data .....	48
<b>4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>50</b>
4.1 Rekayasa Alat Perangkap Nyamuk .....	50
4.1.1 Pelapisan Fotokatalis Pada Panel.....	50
4.2 Uji Kemampuan Menangkap Nyamuk .....	53
4.2.1 Hasil Uji Blangko 1: Melihat Peran Fotokatalis dan Lampu UV .....	53
4.2.2 Hasil Uji Blangko 2: Melihat Peran Kipas .....	54
4.2.3 Hasil Uji Blangko 3: Melihat Peran Lampu UV dan <i>Fan</i> .....	55
4.2.4 Uji Kemampuan Alat dalam Menangkap Nyamuk.....	57
4.3 Uji Degradasi Gas Toluena dan Asetaldehida .....	61
4.3.1 Uji Blangko dan Uji Kebocoran Reaktor .....	61
4.3.2 Uji Degradasi Gas Toluena dan Asetaldehida .....	62
<b>5. KESIMPULAN .....</b>	<b>71</b>
DAFTAR REFERENSI .....	72
LAMPIRAN .....	79

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi Foto-eksitasi dan De-eksitasi pada Semikonduktor $TiO_2$ ...	16
Gambar 2. 2 Berbagai Aplikasi Fotokatalisis.....	17
Gambar 2. 3 Target Purifikasi Udara Ruang.....	18
Gambar 2. 4 Mekanisme Degradasi Polutan pada Adsorben.....	21
Gambar 2. 5 Distribusi Partikel $TiO_2$ dan AC pada Rasio yang Berbeda.....	24
Gambar 2. 6 Tampak Atas dan Samping <i>Solar Insect Killer and Catcher</i> .....	29
Gambar 2. 7 <i>Flying Insect Trap</i> .....	29
Gambar 2. 8 Tampak Samping <i>Multipurpose Mosquito Trap Lamp</i> .....	30
Gambar 2. 9 Tampak Samping dan Depan <i>Flying Insect Trap</i> .....	31
Gambar 2. 10 Alat Perangkap Nyamuk Berbasis Fotokatalisis .....	32
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian Secara Umum .....	33
Gambar 3. 2 Diagram Alir Perancangan Konfigurasi Alat Perangkap Nyamuk...	34
Gambar 3. 3 Prototipe Alat Perangkap Nyamuk .....	35
Gambar 3. 4 Tampak Luar dan Dimensi Alat .....	36
Gambar 3. 5 Susunan Lampu di Alat.....	37
Gambar 3. 6 Bagian Dalam Alat Perangkap Nyamuk .....	38
Gambar 3. 7 Diagram Alir Pelapisan Fotokatalis dan Adsorben .....	40
Gambar 4. 1 Larutan Sol $TiO_2$ saja (kiri) dan Sol $TiO_2$ -15% AC (kanan) .....	51
Gambar 4. 2 Panel Aluminium (a) Tidak Dilapisi Katalis (b) Dilapisi $TiO_2$ (c) Dilapisi $TiO_2$ -AC.....	51
Gambar 4. 3 Hasil Uji Blangko 2 untuk Melihat Peran Kipas ( t = 12 jam).....	55
Gambar 4. 4 Hasil Uji Blangko 2 untuk Melihat Peran Lampu UV ( t= 12 jam) .	56
Gambar 4. 5 Nyamuk yang Telah Mati karena Dehidrasi .....	58
Gambar 4. 6 Hasil Penangkapan Nyamuk di Garasi Rumah (t =12 jam) .....	58
Gambar 4. 7 Hasil Penangkapan Nyamuk di Kebun (t=12 jam) .....	59
Gambar 4. 8 Hasil Uji Blangko dan Kebocoran Reaktor Menggunakan Gas Toluena .....	62
Gambar 4. 9 Hasil Uji Degradasi Gas Toluena Konsentrasi Tinggi dengan Menggunakan Panel $TiO_2$ dan $TiO_2$ -AC .....	63
Gambar 4. 10 Perbandingan % Degradasi Gas Toluena Konsentrasi Tinggi dengan Menggunakan Panel $TiO_2$ dan $TiO_2$ -AC .....	64
Gambar 4. 11 Hasil Uji Degradasi Gas Toluena Konsentrasi Rendah dengan Menggunakan Panel $TiO_2$ dan $TiO_2$ -AC .....	64
Gambar 4. 12 Perbandingan % Degradasi Gas Toluena Konsentrasi Rendah dengan Menggunakan Panel $TiO_2$ dan $TiO_2$ -AC .....	65
Gambar 4. 13 Hasil Pengujian Dekomposisi Toluena dengan ACF/ $TiO_2$ / UV ...	67

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Polutan Udara Dalam Ruangan dan Sumber Emisinya.....	11
Tabel 2. 2 Sumber VOC di Dalam Ruangan.....	12
Tabel 2. 3 Beberapa Acuan Konsentrasi Asetaldehida yang Diizinkan .....	13
Tabel 2. 4 Besarnya Celah Pita Energi Berbagai Fotokatalis.....	14
Tabel 2. 5 Luas Permukaan Penyangga Fotokatalis .....	23
Tabel 2. 6 Metode Imobilisasi TiO <sub>2</sub> dan Berbagai Penyangganya.....	25
Tabel 4. 1 Komponen Utama di Alat dan Perannya.....	57



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Foto Pengamatan Peran Fotokatalis dan Lampu UV .....	79
Lampiran 2. Data Uji Blangko Gas Toluena.....	82
Lampiran 3. Data Uji Degradasi Toluena .....	83
Lampiran 4. Data Uji Degradasi Asetaldehida.....	84



# **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. Berdasarkan data WHO, di seluruh dunia malaria menyebabkan kematian setidaknya 3 juta orang per tahun dan 2,5 triliun orang terancam demam berdarah. Bahkan di wilayah DKI Jakarta, yang merupakan ibukota negara pernah menyandang kondisi luar biasa demam berdarah di tahun 2007. Sekitar 45 persen atau lebih dari 100 juta penduduk juga Indonesia berisiko tertular malaria (Inu, 2008). Ditambah lagi kenaikan suhu udara (di Indonesia mencapai 1°C di tahun 1998) menyebabkan masa inkubasi vektor semakin pendek sehingga nyamuk malaria dan demam berdarah dapat berkembang biak lebih cepat. Jika tahun 1998 di Jawa-Bali terdapat 18 kasus malaria per 100.000 penduduk, maka tahun 2000 meningkat menjadi 48 per 100.000 penduduk (Pusat Komunikasi Publik DepKes RI, 2008).

Untuk mengendalikan jumlah nyamuk penyebab penyakit berbahaya tersebut, ada berbagai obat dan alat penangkap nyamuk yang ditujukan untuk membunuh dan mengusir nyamuk. Obat nyamuk semprot, bakar, dan elektrik merupakan salah satu pilihan yang biasa digunakan untuk membunuh nyamuk. Sedangkan, obat nyamuk oles biasanya bersifat untuk mengusir nyamuk saja. Walaupun terbukti efektif membunuh dan mengusir nyamuk, keempat jenis pilihan obat nyamuk ini ternyata sangatlah berbahaya bagi kesehatan manusia. Obat nyamuk semprot, bakar, dan elektrik memiliki bahan aktif golongan organofosfat yang dilarang penggunaannya oleh WHO karena bersifat karsinogenik. Contoh bahan aktif tersebut adalah dichlorovynil dimethyl fosfat (DDVP), propoxur, dan diethyltoluamide (DEET). Ketiganya merupakan jenis insektisida pembunuh serangga yang cepat terurai dan memiliki daya racun yang

tinggi. DDVP adalah zat turunan klorin yang sejak puluhan tahun dilarang penggunaannya di dunia. Propoxur adalah senyawa karbamat (senyawa antaranya, MIC, pernah menewaskan ribuan orang dan menyebabkan kerusakan saraf ratusan ribu orang lainnya dalam kasus Bhopal di India) yang telah dilarang penggunaannya di luar negeri karena diduga kuat sebagai zat karsinogenik. Terlepas dari itu, obat nyamuk oles juga mengandung bahan aktif diethyltoluamide (DEET) yang bersifat korosif sehingga sangat berbahaya jika dioleskan di permukaan kulit. Buktinya, obat nyamuk oles tidak dapat ditempatkan pada wadah plastik PVC atau besi karena dalam hitungan minggu akan mengikis lapisannya. Selain itu, adanya bahan-bahan tambahan lain seperti pewarna, pengawet, dan pewangi juga dapat merugikan kesehatan (Wahyuni, 2005). Seiring dengan perkembangan obat anti-nyamuk, dikembangkan pula alat penangkap nyamuk seperti raket listrik dan alat penangkap nyamuk dengan pemanfaatan lampu UV. Alat-alat ini tidaklah efektif, menghasilkan bau hangus, dan kurang aman digunakan karena dialiri setrum tegangan tinggi. Jelasnya, berbagai obat dan alat nyamuk tersebut sangatlah merugikan dan berbahaya bagi kesehatan manusia.

Penggunaan pestisida yang terkandung dalam berbagai obat nyamuk sebenarnya juga tidak tepat lagi. Hal ini disebabkan oleh adanya resistensi larva dan nyamuk dewasa terhadap insektisida. Pada tahun 1996 WHO melaporkan, di banyak negara nyamuk *Culex* (yang sering ditemukan di rumah) telah resisten terhadap insektisida golongan organofosfat, karbamat, dan piretroid. Di Jakarta, penelitian terakhir melaporkan bahwa sebagian besar larva *Aedes aegypti* di Tanjung Priok telah resisten terhadap insektisida organofosfat yaitu 44,8 % resisten sedang dan 50% sangat resisten. Di Mampang Prapatan, sebagian besar larva *Aedes aegypti* juga telah resisten terhadap insektisida organofosfat yaitu 57,2% resisten sedang dan 9,8% sangat resisten. Fenomena resistensi ini sebenarnya dapat dijelaskan dengan teori evolusi. Ketika suatu lokasi dilakukan penyemprotan pestisida, nyamuk yang peka akan mati, sebaliknya yang tidak peka akan tetap melangsungkan hidupnya. Paparan pestisida yang terus menerus menyebabkan nyamuk beradaptasi sehingga jumlah nyamuk yang kebal bertambah banyak. Apalagi, nyamuk yang kebal tersebut dapat membawa sifat



resistensinya ke keturunannya. Tak berhenti sampai disitu, nyamuk yang sudah kebal terhadap satu jenis pestisida tertentu akan terus mengembangkan diri agar bisa kebal terhadap jenis pestisida yang lain (Daniel, 2008).

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 (*Waspadai Polusi*, 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.

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 merckayasa 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 perangkap 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, perangkap nyamuk yang beredar di pasaran masih memiliki potensi untuk ditingkatkan kinerjanya. Caranya adalah dengan mengubah konfigurasi alat dan juga meningkatkan proses fotokatalitiknya.

Salah satu teknik yang memungkinkan peningkatan laju reaksi fotokatalitik adalah dengan menggunakan adsorben sebagai penyangga fotokatalis  $\text{TiO}_2$  (Ao dan Lee, 2004). Jika fotokatalis  $\text{TiO}_2$  direkayasa dalam bentuk nanokristalin serta dikombinasi dengan adsorben seperti karbon aktif, maka alat perangkap nyamuk berteknologi fotokatalisis tersebut juga secara simultan jauh lebih berpotensi untuk purifikasi udara. Kombinasi ini akan diwujudkan dalam suatu prototipe alat yang diharapkan dapat meningkatkan kinerja alat perangkap nyamuk berbasis fotokatalisis.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Upaya pemberantasan nyamuk untuk mengendalikan jumlah nyamuk penyebab penyakit berbahaya telah banyak dilakukan. Berbagai metode pemberantasan tersebut seringkali sangat merugikan terutama bagi kesehatan manusia. Untuk mengatasi kelemahan tersebut, perlu dirancang alat perangkap nyamuk yang ramah lingkungan dan tidak berbahaya bagi manusia. Oleh karena itu, ingin diketahui sejauh mana keefektifan proses fotokatalisis untuk diaplikasikan pada alat perangkap nyamuk.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

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

- Kombinasi dari berbagai aspek dalam penelitian ini (fotokatalis  $\text{TiO}_2$ , adsorben, teknologi nanomaterial, dan konfigurasi perangkat 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 perangkat nyamuk.

#### 1.4 Batasan Masalah

- Variasi terhadap desain prototipe alat perangkat nyamuk tidak dilakukan. Peneliti hanya melakukan pemilihan pada satu desain prototipe saja dengan berbagai pertimbangan yang ada dan melakukan konstruksi alat.
- Jenis fotokatalis yang digunakan bubuk  $\text{TiO}_2$  Degussa P25 komersial.
- Jenis adsorben yang digunakan adalah karbon aktif komersial berbentuk granular yang terbuat dari tempurung kelapa dengan merk Karbosorb.
- Penelitian dilakukan bukan untuk mencapai kondisi reaksi fotokatalitik yang optimal, melainkan merekayasa alat perangkat nyamuk yang berfungsi sebagai alat perangkat nyamuk dan juga purifikasi udara ruang.
- Pengujian kinerja prototipe alat perangkat nyamuk dilakukan dalam skala laboratorium, dimana model ruangan yang digunakan bukan seperti ruangan *indoor* sesungguhnya.
- Sumber pencahayaan yang digunakan dalam proses fotokatalitik adalah sinar lampu UV-A.
- Model polutan udara yang digunakan adalah asetaldehida dan toluena yang mewakili senyawa VOC yang sering ditemukan di dalam ruangan.
- Pengujian kemampuan menangkap nyamuk dan kemampuan purifikasi udara, diuji secara terpisah untuk mengetahui kinerja masing-masing fungsi utama alat perangkat nyamuk ini.
- 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 seperti penyakit yang diakibatkan oleh nyamuk dan polutan udara dalam ruang, fotokatalisis, adsorben, serta paten-paten yang terkait dengan alat penangkap nyamuk.

- **BAB III. METODE PENELITIAN**

Berisikan diagram alir penelitian, bahan & alat yang digunakan dalam penelitian, prosedur penelitian yang meliputi pelapisan fotokatalis ke panel, uji blangko, pengujian kinerja alat perangkap nyamuk, serta, data penelitian dan pengolahan data.

- **BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisikan hasil dan pembahasan dari uji blangko, uji kemampuan alat dalam menangkap nyamuk serta kemampuan alat dalam mendegradasi gas asetaldehida dan toluena sebagai model polutan di udara.

- **BAB V. KESIMPULAN**

Berisikan kesimpulan dari hasil penelitian dan pembahasan.

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Nyamuk

Nyamuk adalah serangga yang tergolong dalam orde Diptera dengan 41 genus yang merangkum 2700 spesies. Nyamuk mempunyai dua sayap bersisik, tubuh yang langsing, dan enam kaki dengan panjang antarspesies yang berbeda-beda (Mosquito, 2008). Nyamuk menghisap darah orang atau binatang untuk kelangsungan hidupnya. Nyamuk betina memerlukan protein untuk pembentukan telur sehingga kebanyakan nyamuk betina perlu menghisap darah untuk mendapatkan protein yang diperlukan. Nyamuk jantan berbeda dengan nyamuk betina karena bagian mulutnya yang tidak sesuai untuk menghisap darah. Biasanya nyamuk jantan mendapatkan zat-zat makanan dari alam misalnya saja dari sari-sari bunga. Dua sampai tiga hari setelah menghisap darah, nyamuk akan bertelur. Lalu beberapa hari kemudian telur-telur itu akan menetas di air menjadi jentik-jentik halus. Selanjutnya, jentik akan berkembang menjadi kepompong, sampai akhirnya menjadi nyamuk melalui proses metamorfosis (Uttiek, 2006).

#### 2.1.1 Jenis Nyamuk dan Penyakit yang Ditimbulkan

##### 2.1.1.1 Genus *Culex*

- **Spesies *Culex tarsalis***

*Culex tarsalis* memiliki ciri badan berwarna hitam dengan belang putih pada kaki dan proboscis (jarum penghisap). Spesies nyamuk ini berkembang baik dalam air yang cukup sinar matahari. *Culex tarsalis* suka menghisap darah orang ataupun mamalia lainnya sehingga dapat menjadi vektor virus penyebab encephalitis yang menyerang kuda dan manusia. Terkadang spesies nyamuk ini juga dapat menyebarkan virus penyakit *sleeping sickness* (Waty, n.d.)

- **Spesies *Culex pipiens***

Spesies nyamuk ini distribusinya cukup luas, berwarna coklat dan berkembang subur di lingkungan sekitar manusia, karena dapat bertelur di sembarang genangan air. Nyamuk ini masuk ke rumah pada waktu malam hari

dan mulai menghisap darah manusia. *Culex pipiens* merupakan vektor penyakit filaria dan dirofilaria (*Wuchereria bancrofti* dan *Dirofilaria immitis*) serta merupakan vektor virus *Arbovirus encephalitis* (Waty, n.d.).

- **Spesies *Culex tritaenorinchus***

Spesies nyamuk ini merupakan vektor penyakit Japanese encephalitis. Penyakit Japanese B encephalitis telah dilaporkan di Asia Tenggara yaitu Filipina, Kamboja, Thailand, Malaysia dan Singapura. Di Indonesia, belum pernah dilaporkan secara pasti tentang penyakit Japanese encephalitis tetapi diduga bahwa penyakit meningitis (radang selaput otak) yang banyak terjadi pada anak merupakan penyakit Japanese B encephalitis. Disamping itu, nyamuk *Culex tritaenorinchus* yang diduga sebagai vektor penyakit Japanese B encephalitis banyak ditemukan di Jakarta. Gejala klinis dari penyakit ini adalah demam, sakit kepala, mual, muntah, lemas, malaise, mental disorientasi dan koma, yang akhirnya terjadi kematian dalam waktu beberapa hari (Waty, n.d.).

- **Spesies *Culex fatigans***

Nyamuk ini sering ditemukan di rumah dan menghisap darah di malam hari. Ciri nyamuk ini adalah saat hinggap posisi tubuhnya tidak menekuk tapi mendarat. *Culex fatigans* lebih banyak ditemui di air keruh atau tempat yang banyak mengandung material organik atau bahan makanan, seperti di got. Meski begitu, dia juga suka berada di air yang jernih. Nyamuk ini dapat menjadi perantara penyakit kaki gajah atau *filariasis*. Penyakit ini disebabkan oleh cacing *Wuchereria bancrofti* yang berada di dalam darah seorang penderita. Bila nyamuk mengisap darah penderita yang mengandung bibit *filariasis*, maka cacing dari penderita tersebut bisa terbawa dan ditularkan pada orang lain lewat gigitannya (Uttiek, 2006).

### 2.1.1.2 Genus *Aedes*

- **Spesies *Aedes aegypti***

Spesies nyamuk ini memiliki tubuh dengan bercak hitam putih dan merupakan penyebab penyakit demam berdarah. Nyamuk ini menghisap darah di

pagi dan sore hari, antara pukul 08.00 - 12.00 dan 15.00 - 17.00. Jika nyamuk tersebut menghisap darah seorang penderita demam berdarah, maka kurang lebih dalam 10 hari nyamuk tersebut sudah mengandung virus demam berdarah. Bila menghisap darah manusia, virusnya akan masuk ke tubuh orang yang dihisap. Virus demam berdarah akan ada selama nyamuk itu hidup. Karena setiap 2 hari sekali dia menghisap, maka virusnya bisa masuk ke orang lain lagi. Demikian terus penyebarannya.

Selain menyebabkan penyakit demam berdarah, nyamuk *Aedes aegypti* juga dapat menyebarkan penyakit chikungunya. Penyakit ini disebabkan oleh virus chikungunya yang berbentuk bulat dan berduri. Gejala pengidap chikungunya yaitu adanya rasa linu di persendian seperti siku, lutut, lalu demam tinggi dan juga muntah-muntah. Mimisan biasanya terjadi pada pasien anak-anak.

#### ▪ **Spesies *Aedes albopictus***

Spesies ini juga dapat menularkan demam berdarah. Nyamuk ini biasanya banyak terdapat di kebun atau di halaman rumah. Cirinya hampir sama dengan *Aedes aegypti*, yaitu bercak-bercak putih di badan. Bila dilihat dengan kaca pembesar tampak di median punggungnya ada garis putih. Waktu menggigitnya pun sama dengan *Aedes aegypti*, yaitu di pagi dan sore hari. *Aedes albopictus* bertelur di air tergenang, misalnya pada kaleng-kaleng bekas yang menampung air hujan di halaman rumah. Pada musim penghujan, nyamuk ini banyak terdapat di kebun atau halaman rumah karena di situ terdapat banyak tempat yang terisi air.

#### **2.1.1.3 Genus *Anopheles***

Nyamuk ini memiliki bermacam-macam warna, ada yang hitam, ada pula yang kakinya berbercak-bercak putih. Nyamuk ini juga sering hinggap di dinding rumah dengan posisi menukik atau membentuk sudut. Waktu menghisap darah biasanya dilakukan pada malam hari. Banyak jenis nyamuk *Anopheles* yang bisa menyebabkan penyakit malaria. Ada *Anopheles sundaicus* yang banyak terdapat di air payau, seperti di Kepulauan Seribu. Ada lagi *Anopheles maculatus* dan *Anopheles balabacensis* yang banyak terdapat di perbukitan, seperti di Bukit Manoreh, Yogyakarta. Ada lagi *Anopheles aconitus* yang banyak hidup di daerah



pesawahan atau saluran-saluran air yang ada rumputnya. Selain yang sudah disebutkan, masih banyak lagi jenis *Anopheles* lainnya. Penyakit malaria yang ditimbulkan pun jenisnya bermacam-macam, tergantung jenis parasitnya. Misalnya, ada malaria *falsiparum*, *vivax*, *ovale*, dan *malariae*. Selain itu, nyamuk *Anopheles* bisa juga menyebabkan penyakit kaki gajah (Waty, n.d.).

### 2.1.2 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 (*Why Mosquitos*, n.d.). 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 Polusi Udara dalam Ruangan

### 2.2.1 Sumber Polusi dalam Ruangan

Secara umum, polutan udara dalam ruangan terdiri dari produk pembakaran, produk kimia, radon, dan agen-agen biologi. Polutan ini biasanya diemisikan secara langsung oleh sumber yang ada dalam ruangan seperti kompor masak, pemanas, rokok, material bangunan, dan zat kimia pengontrol hama. Konsentrasi polutan akan semakin tinggi jika kita melakukan aktivitas seperti

memasak, merokok, penggunaan pemanas, penggunaan pelarut untuk pembersih, penggunaan cat untuk dekorasi, dan pemakaian pestisida secara terus-menerus. Polutan udara dalam ruangan juga mungkin berasal dari luar ruangan, misalnya saja akibat sistem ventilasi yang kurang baik (Oanh dan Hung, 2005). Polutan yang biasa ditemukan di dalam ruangan dan sumbernya dapat dilihat di Tabel 2.1. Sumber polutan udara beragam mulai dari hasil pembakaran, perabotan rumah tangga, serta mikroorganisme di udara.

**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

### 2.2.2 Polutan VOCs (*Volatile Organic Compounds*)

Senyawa organik yang mudah menguap (VOC) didefinisikan sebagai senyawa organik yang memiliki range titik didih antara 50°C dan 260°C. Karena titik didihnya yang terbilang rendah, maka senyawa ini biasanya akan berbentuk gas ketika berada di dalam ruangan. Pengontrolan VOC dalam ruangan seringkali sulit dilakukan karena jumlah VOCs yang meningkat dengan cepat,



konsentrasinya yang rendah, dan keterbatasan metode perlakuan terhadap VOCs (Sun et al., 2007). Tabel 2.2 memuat daftar VOCs yang ditemukan di dalam ruangan. Dari tabel tersebut, kita dapat mengetahui bahwa sumber yang mengemisikan VOC sangatlah sering dijumpai sehari-hari.

**Tabel 2. 2** Sumber VOC di Dalam Ruangan (Jones, 1999)

Sumber	Contoh Kontaminan
Produk komersial	Hidrokarbon alifatik (n-dekana, alkana bercabang), hidrokarbon aromatik (toluena, xylene), hidrokarbon terhalogenasi (metilen klorida), alkohol, keton (aseton, metal etil keton), aldehida (formaldehida), ester (alkyl etoksilat), eter (glikol eter), terpen (limonene, alpha-pinene)
Cat	Hidrokarbon alifatik (n-heksana, n-heptana), hidrokarbon aromatik (toluena), hidrokarbon terhalogenasi (metilen klorida, propilen diklorida), alkohol, keton (metal etil keton), ester (etil asetat), eter (metil eter, etil eter, butil eter)
Perekat	Hidrokarbon alifatik (heksana, heptana), hidrokarbon aromatik, hidrokarbon terhalogenasi, alkohol, amina, keton (aseton, metal etil keton), ester (vinil asetat), eter
Perabot rumah tangga dan pakaian	Hidrokarbon aromatik (stiren, aromatik terbrominasi), hidrokarbon terhalogenasi (vinil klorida), aldehida (formaldehida), eter, ester
Bahan bangunan	Alifatik hidrokarbon (n-dekana, n-dodekana), hidrokarbon aromatik (toluena, stiren, etilbenzene), hidrokarbon terhalogenasi (vinil-klorida), aldehida (formaldehida), keton (Aseton, butanon), eter, ester (urethane, etil asetat)
Peralatan pembakaran	Hidrokarbon alifatik (propana, butana, isobutana), aldehida (asetaldehida, akrolein)
Air minum	Hidrokarbon terhalogenasi (1,1,1-trikloroetana, kloroform, trikloroetana)

Salah satu contoh senyawa yang tergolong VOC adalah asetaldehida. Sumber-sumber emisi asetaldehida adalah biasanya adalah akibat pembakaran yang tak sempurna seperti asap rokok (717  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), buangan kendaraan bermotor (8,6  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), kompor gas (0,3  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), serta parfum (0-63  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), *hair spray* (58-82  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), *particle board* (0,4  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ). 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  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (3-15 ppb). Pada konsentrasi 45  $\text{mg}/\text{m}^3$  biasanya menimbulkan iritasi pada manusia dan pada konsentrasi 275  $\text{mg}/\text{m}^3$  bersifat karsinogenik (tergolong karsinogenik golongan 2B) dan iritasi pada tikus (WHO, 2000). Tabel 2.3 menunjukkan beberapa acuan konsentrasi asetaldehida yang diizinkan. Batas aman bagi manusia adalah 45  $\text{mg}/\text{m}^3$ , lebih dari itu maka akan timbul efek yang merugikan pada kesehatan.

**Tabel 2. 3** Beberapa Acuan Konsentrasi Asetaldehida yang Diizinkan (Charles et al., 2005)

Parameter	Konsentrasi (mg/m <sup>3</sup> )	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> )

Senyawa lainnya yang tergolong VOC adalah senyawa BTEX (benzena, toluena, etilen, dan xylen). BTEX sering sekali digunakan dalam berbagai studi degradasi polutan udara melalui proses fotokatalitik. Dari keempat senyawa BTEX, toluena merupakan satu senyawa yang relatif paling sering ditemukan di udara ruang dengan konsentrasi yang relatif paling tinggi dibandingkan ketiga senyawa lainnya. Sebagai gambaran, toluena ditemukan pada konsentrasi 37-320  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , benzena 8-34  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , m/p-xylene 18-120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , dan o-xylene 6-25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Wang et al., 2007).

Secara umum efek senyawa VOC terhadap kesehatan manusia yaitu asma, penyempitan saluran pernafasan, iritasi mata, kulit dan paru-paru. Selain itu pada konsentrasi yang tinggi, senyawa VOC dapat menyebabkan kerusakan fungsi saraf dengan gejala sakit kepala, pandangan kabur, dan ketidaksadaran (Oanh dan Hung, 2005).

## 2.3 Fotokatalisis

### 2.3.1 Definisi Fotokatalisis

Fotokatalisis merupakan 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 2.4 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. 4** 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
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.2	$\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.1

### 2.3.2 TiO<sub>2</sub> Sebagai Semikonduktor Fotokatalis

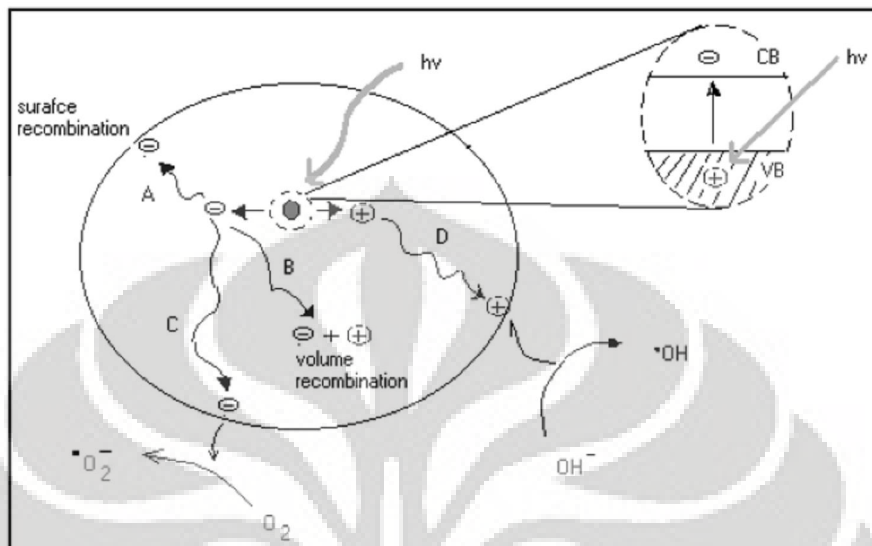
Titanium dioksida memiliki tiga struktur kristal, yaitu *rutil*, *anatase*, dan *brukit*. Hanya *rutil* dan *anatase* yang cukup stabil keberadaannya dan biasa digunakan sebagai fotokatalis, sedangkan karena ketidakstabilannya *brukit* jarang dilaporkan secara ilmiah. Struktur *anatase* memiliki aktivitas 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. Degussa P25 sebagai TiO<sub>2</sub> komersil ini merupakan campuran dari 70% anatase dan 30% rutil. Kombinasi struktur kristal di TiO<sub>2</sub> komersil ini akan meningkatkan proses fotokatalitik, jika dibandingkan dengan penggunaan satu macam struktur kristal saja. Hal ini disebabkan oleh makin bertambahnya jumlah luasan aktif untuk reaksi (Luas anatase = 10m<sup>2</sup>/g, rutil = 20 m<sup>2</sup>/g, dan Degussa P25 = 50 m<sup>2</sup>/g) (Thiruvengkatachari, 2008). TiO<sub>2</sub> banyak dipilih sebagai fotokatalis karena mempunyai berbagai kelebihan yaitu aktivitas fotokatalitik yang tinggi, sifat kimia yang stabil, kestabilan yang tinggi terhadap pencahayaan (fotostabil), harganya murah, inert, tahan terhadap foto-korosi, dan tidak beracun. Struktur kristal dari TiO<sub>2</sub> dan pemilihan material penyangga heterogen mempunyai efek terhadap aktivitas foto-oksidasi. Beberapa penelitian menunjukkan TiO<sub>2</sub> dalam bentuk film mempunyai aktivitas fotokatalitik dibandingkan bubuk komersial TiO<sub>2</sub> yang paling aktif. Kestabilan dan kemudahan aplikasinya membuat konfigurasi film TiO<sub>2</sub> banyak digunakan secara luas untuk foto-oksidasi polutan udara (Zhao dan Yang, 2003).

### 2.3.3 Mekanisme Fotokatalisis TiO<sub>2</sub>

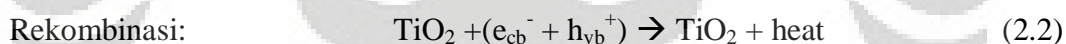
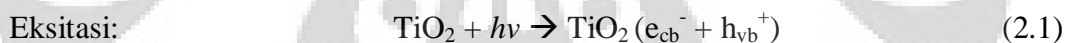
Secara umum, mekanisme fotokatalisis pada permukaan semikonduktor TiO<sub>2</sub> dapat dijelaskan melalui Gambar 2.1. Jika semikonduktor TiO<sub>2</sub> dikenai cahaya ( $h\nu$ ) dengan energi yang sesuai, maka elektron ( $e^-$ ) pada pita valensi akan pindah ke pita konduksi, dan meninggalkan lubang 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  $\text{TiO}_2$  (Gunlazuardi, 2001)

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

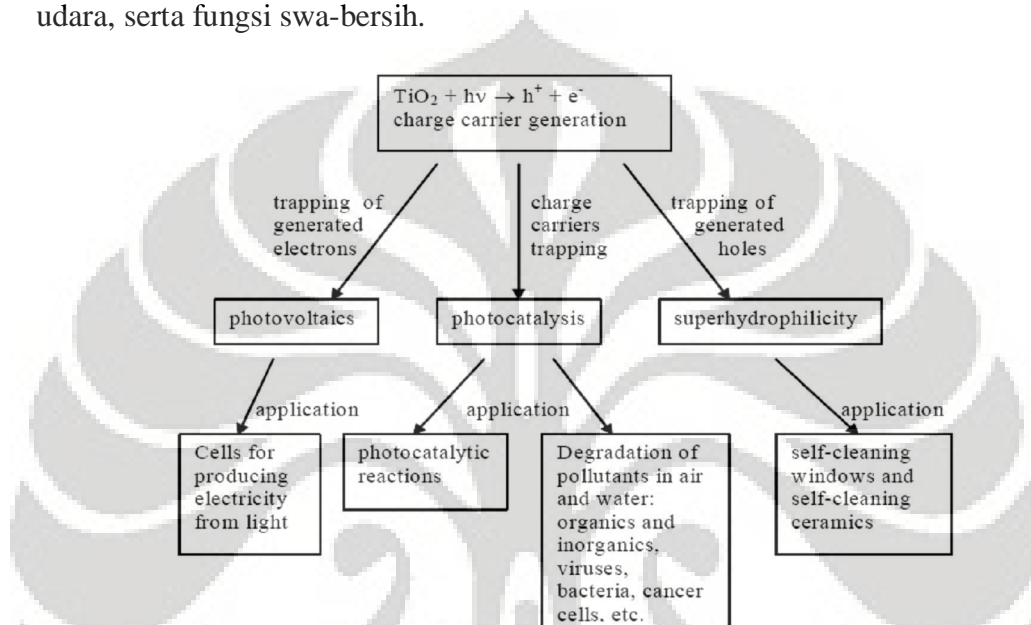


Dengan dominasi peristiwa rekombinasi jika semikonduktor tersinari oleh cahaya ( $h\nu$ ) dengan energi yang sesuai, maka panas yang dihasilkan dapat menjadi daya tarik tersendiri bagi nyamuk. Panas ini diperkirakan menyerupai panas tubuh manusia.

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  $\text{pH} = 1$  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.

### 2.3.4 Aplikasi Fotokatalisis

Dengan memanfaatkan proses fotokatalisis diatas, maka banyak sekali manfaat dan aplikasi yang mungkin diperoleh untuk kehidupan kita sehari-hari. Gambar 2.2 di bawah ini menunjukkan berbagai aplikasi dari fotokatalisis. Melalui pasangan elektron dan lubang pada reaksi fotokatalisis, maka kita dapat memperoleh berbagai keuntungan seperti sumber energi, degradasi polutan air dan udara, serta fungsi swa-bersih.



Gambar 2. 2 Berbagai Aplikasi Fotokatalisis (Tomovska et al., 2007)

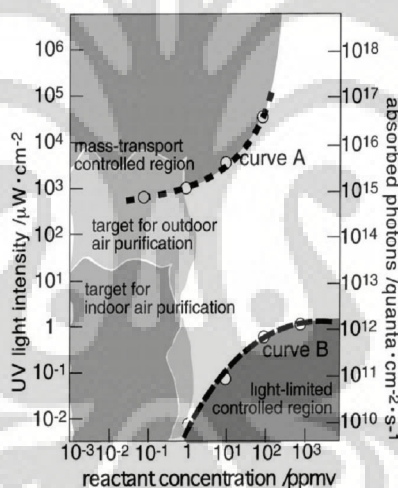
#### 2.3.4.1 Purifikasi Udara

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, 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 dan Lee, 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. 3** 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 dan Yang, 2003).

## 2.4 Adsorben

Adsorpsi adalah suatu istilah yang digunakan untuk menggambarkan kecenderungan suatu molekul tertentu dari fasa fluida untuk melekat (tertarik) pada permukaan suatu padatan (adsorben). Molekul-molekul pada zat padat dan cair mempunyai gaya dalam keadaan tidak seimbang (*unbalance*) yang cenderung tertarik ke arah dalam (gaya kohesi > gaya adhesi) sehingga juga menyebabkan zat tersebut cenderung menarik zat atau gas lain yang bersentuhan pada permukaannya (Coulson, 1997). Fenomena tertariknya atau terkonsentrasikannya zat pada permukaan cairan atau padatan dinamakan adsorpsi. Zat yang terkonsentrasikan disebut adsorbat, sedangkan yang menariknya disebut adsorben.

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).

### 2.4.1 Adsorben Karbon Aktif

Karbon aktif adalah salah satu bentuk dari karbon yang diproses sehingga memiliki volume pori yang luar biasa besar sehingga memiliki luas permukaan yang juga besar untuk tempat terjadinya reaksi kimia. Satu gram karbon aktif kira-kira memiliki luas permukaan sebesar 500-1500 m<sup>2</sup> dimana sebagai perbandingan satu lapangan tenis memiliki luas 260 m<sup>2</sup> (*Activated Carbon*, 2008). Penentuan distribusi ukuran pori karbon aktif adalah hal yang sangat penting dalam rangka mengetahui karakteristik yang dihasilkan dari material tersebut. Berdasarkan diameter pori-porinya, karbon aktif digolongkan IUPAC menjadi 3 golongan (Ruthven) yaitu (Yağşı, 2004):

- a. Karbon aktif makropori, dengan diameter > 50 nm (500 Å<sup>o</sup>)



- b. Karbon aktif mesopori, dengan diameter 2-50 nm (20-500 Å<sup>o</sup>)
- c. Karbon aktif mikropori, dengan diameter < 2 nm (2 Å<sup>o</sup>)

Selain itu, secara komersial karbon aktif juga dibagi berdasarkan bentuknya, yaitu (Yağşı, 2004):

- a. *Pellet Activated Carbon*, dengan ukuran partikel 0,8-5mm
- b. *Granular Activated Carbon*, dengan ukuran partikel 0,2-5mm
- c. *Powdred Activated Carbon*, dengan ukuran partikel lebih kecil dari 0,18mm

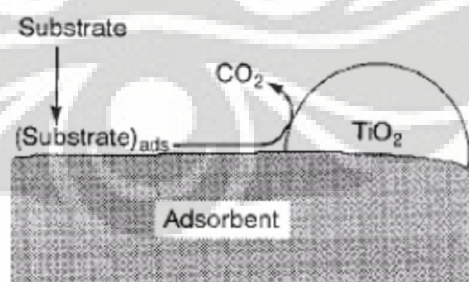
Struktur kimia dari karbon aktif membuatnya dapat mengadsorpsi material organik dan senyawa non-polar lainnya dari suatu aliran gas atau cairan. Karbon aktif menjadi salah satu hal terpenting dan paling luas digunakan sebagai adsorben karena mempunyai kapasitas adsorpsi yang tinggi. Secara umum, karbon aktif yang banyak digunakan harus memiliki kapasitas adsorpsi yang memadai, murni secara kimia, memiliki kekuatan mekanik, serta harus memiliki harga produksi yang murah (Yağşı, 2004).

Karbon aktif diproduksi dari tempurung kelapa, tempurung almond, kayu, batu bara melalui proses berikut ini:

1. Reaktivasi fisika, yang dilakukan dengan menggunakan satu atau kombinasi dari proses berikut (*Activated Carbon*, 2008):
  - a. Karbonisasi: material yang mengandung karbon dipirolisis pada suhu 600-900°C, tanpa adanya udara.
  - b. Aktivasi / oksidasi: material bahan baku dikontakkan pada *steam* atau oksigen atau karbon dioksida pada temperatur diatas 250°C, biasanya pada range temperatur 600-1200°C.
2. Aktivasi kimia: Impregnasi dengan senyawa kimia seperti asam fosforik, seng klorida, garam natrium, garam magnesium, dll. Aktivasi kimia biasanya lebih disukai ketimbang aktivasi fisika karena temperatur yang dibutuhkan lebih rendah dan waktu aktivasi yang lebih singkat. Produksi pada temperatur yang lebih rendah akan menghasilkan struktur pori yang baik, karena pada kondisi ini kristal dengan dimensi yang lebih kecil dapat diperoleh (Yağşı, 2004).

### 2.4.2 Adsorben sebagai Penyangga Katalis TiO<sub>2</sub>

Penyangga katalis TiO<sub>2</sub> harus memiliki konfigurasi dan luas area yang besar sehingga memungkinkan radiasi UV ke seluruh partikel katalis berlangsung efisien (meningkatkan luas reaksi dan luas penyinaran) (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. 4** Mekanisme Degradasi Polutan pada Adsorben sebagai Penyangga TiO<sub>2</sub> (Slamet et al., 2007)

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan manfaat penggunaan adsorben sebagai penyangga TiO<sub>2</sub> adalah (Matsuoka dan

Anpo, 2003 ; Takeda et al., 1995; Torimoto et.al, 1996; Yoneyama dan Torimoto, 2000):

- a. Meningkatkan konsentrasi senyawa yang akan didegradasi pada sekitar ruang  $\text{TiO}_2$ , sehingga dapat meningkatkan laju reaksi.
- b. Meningkatkan kemampuan adsorpsi katalis. Bila kemampuan adsorpsi meningkat maka kinetika fotokatalitik meningkat karena fotokatalis dapat langsung mengoksidasi polutan tersebut.
- c. Penggunaan penyangga dapat mendispersikan fotokatalis  $\text{TiO}_2$  sehingga luas permukaan katalis menjadi lebih besar dan fotokatalis menjadi lebih aktif.
- d. Polutan teradsorpsi oleh penyangga kemudian dioksidasi oleh fotokatalis, sehingga *intermediate* yang terbentuk pun akan teradsorpsi oleh penyangga yang selanjutnya akan dioksidasi lagi oleh fotokatalis.
- e. 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.

Secara umum, ada berbagai material berbeda yang dapat digunakan untuk menyangga katalis  $\text{TiO}_2$ . Contohnya saja yaitu kaca, silika, stainless steel, serat tekstil  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , kain, kertas, *quartz beads*, karbon teraktivasi, dan kaca borosilikat. Selama prosedur immobilisasi  $\text{TiO}_2$  pada material penyangga, luas area aktif katalis akan menurun. Hal ini disebabkan oleh adanya kation dari material penyangga yang dapat meningkatkan proses rekombinasi (Tomosvka et al., 2007). Pada eksperimen yang dilakukan oleh Lu et al. pada tahun 1999, dibuatlah Tabel 2.5 menunjukkan perbedaan luas permukaan penyangga fotokatalis. Pada tabel ini, kecuali GAC, penyangga yang dilapisi dengan  $\text{TiO}_2$  tidak meningkatkan efisiensi degradasi penghilangan senyawa organik. Penyangga ini tidak dapat mengadsorpsi senyawa organik secara efisien.  $\text{TiO}_2$  adalah partikel yang dapat terdispersi dalam larutan *bulk*, tetapi ketika dilapisi pada permukaan penyangga, akan menghasilkan efisiensi yang rendah pada kuantum yang disebabkan oleh

pengurangan luas permukaan (Lu et al., 1999). Berdasarkan eksperimen tersebut, GAC masih layak untuk diteliti lebih lanjut dan digunakan dalam penelitian ini.

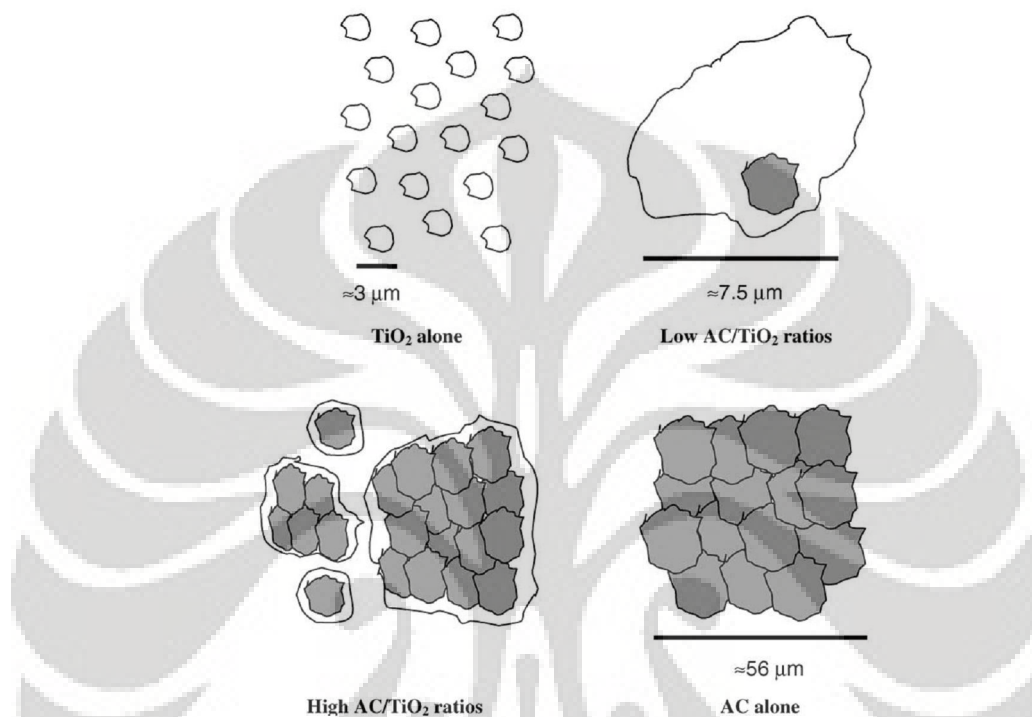
**Tabel 2. 5** Luas Permukaan Penyangga Fotokatalis (Lu et al.,1999)

Penyangga dan agen kompleks*	Luas permukaan (m <sup>2</sup> /g)
<i>Plain TiO<sub>2</sub></i>	50
<i>Granulated Activated Carbon</i>	902
<i>Coated GAC</i>	745
<i>Quartz</i>	4,9
<i>Coated Quartz</i>	4,57
<i>Zeolite</i>	8,9
<i>Coated Zeolite</i>	4,95
<i>Glass beads</i>	5,7
<i>Coated Glass beads</i>	2,95

\* : 1 g penyangga dilapisi dengan 0,05 g TiO<sub>2</sub>

Karbon aktif memiliki kelebihan seperti tingkat porositas yang tinggi serta mudah dihasilkan dengan cara perlakuan panas dan/atau kimiawi terhadap kayu, batu bara, tempurung kelapa, dan gula (Slamet et al., 2007). Karbon aktif berperan sebagai pusat dimana molekul organik diabsorpsi sebelum ditransfer ke pusat aktif dekomposisi yaitu TiO<sub>2</sub> teriluminasi. Adanya proses koagulasi dapat menghambat cahaya yang mengenai pusat aktif TiO<sub>2</sub>, sehingga kita berusaha untuk menghindari proses ini dan meningkatkan dispersi partikel TiO<sub>2</sub> (Araña et al., 2003). Dispersi TiO<sub>2</sub> yang baik dapat diperoleh ketika kita menggunakan kandungan karbon aktif yang optimal. Inilah yang menjadi salah satu alasan yang dapat meningkatkan proses fotokatalisis (Liu et al., 2007). Kandungan karbon aktif yang terlalu rendah akan mengakibatkan konsentrasi polutan di sekitar TiO<sub>2</sub> tidak cukup banyak. Sebaliknya jika kandungan karbon aktif terlalu banyak (>10%), maka karbon aktif akan menutupi permukaan fotokatalis TiO<sub>2</sub> sehingga TiO<sub>2</sub> sulit mengabsorpsi cahaya dan bereaksi dengan polutan (Gao dan Liu, 2005). Hal serupa juga disimpulkan oleh penelitian yang dilakukan Araña et al. pada tahun 2003, kandungan karbon aktif yang sama dengan atau kurang dari 13% akan menghasilkan distribusi TiO<sub>2</sub> yang homogen di permukaan karbon aktif. Sedangkan, distribusi yang heterogen didapat pada kandungan karbon aktif

diatas 13%, yang menyebabkan konglomerasi. Secara lebih jelas, dapat dilihat distribusi  $\text{TiO}_2$  dan karbon aktif pada rasio yang berbeda pada Gambar 2.5. Terlihat bahwa pada kandungan AC yang tinggi, maka  $\text{TiO}_2$  yang berfungsi sebagai tempat terjadinya degradasi polutan organik akan tertutup.



**Gambar 2.5** Distribusi Partikel  $\text{TiO}_2$  dan AC pada Rasio yang Berbeda (Araña et al., 2003)

## 2.5 Preparasi dan Karakterisasi Katalis

### 2.5.1 Preparasi Katalis

Fotokatalis  $\text{TiO}_2$  mungkin digunakan dalam dua bentuk, yakni bentuk bubuk dan bentuk film. Dalam prakteknya, fotokatalis  $\text{TiO}_2$  dalam bentuk film lebih memiliki banyak keuntungan dibandingkan jika berada dalam bentuk bubuk. Banyak proses pelapisan yang dapat dilakukan untuk mendapatkan film fotokatalis  $\text{TiO}_2$ . Kesemua proses ini melalui dua rute, yaitu: (1) preparasi dari bubuk  $\text{TiO}_2$  yang siap digunakan, misalnya dengan menggunakan bubuk titania komersial Degussa P 25 (2) preparasi fotokatalis in situ dari sebuah prekursor (Yang et al., 2008). Perbedaan utama kedua rute ini adalah pada preparasi dengan menggunakan bubuk  $\text{TiO}_2$  kita tidak perlu membuat lagi fotokatalis  $\text{TiO}_2$  sedangkan pada preparasi dengan prekursor, kita perlu membuat fotokatalis  $\text{TiO}_2$

dari prekursor yang bukan TiO<sub>2</sub>. Melalui dua rute ini, banyak metode immobilisasi TiO<sub>2</sub> yang digunakan untuk melekatkan fotokatalis TiO<sub>2</sub> pada penyangga yang berbeda-beda seperti yang ditunjukkan Tabel 2.6. Metode-metode ini tidak hanya digunakan untuk melekatkan fotokatalis, namun juga adsorben seperti karbon aktif.

**Tabel 2. 6** Metode immobilisasi TiO<sub>2</sub> dan berbagai penyangganya (Bryne et al., 1998)

Metode Immobilisasi	Penyangga
<i>Dip coating</i> dari suspense	<i>Glass beads, Glass tubing, Glass plate, Glass fibres, Tin oxide coated glass, Silica gel, Pasir</i>
<i>Sol gel</i>	<i>Quartz, Optical fibres, Glass beads, Silica gel, Glass plate, Tin oxide coated glass</i>
<i>Oxidation of parent metal electrochemical</i>	<i>Titanium</i>
<i>Thermal</i>	<i>Titanium, Titanium alloy</i>
Anodisasi TiCl <sub>3</sub>	<i>Tin oxide coated glass, Ti, Pt, dan Au</i>
<i>Electrophoretic coating</i>	<i>Stainless steel</i>
<i>Plasma spray</i>	<i>Titanium alloy</i>
<i>Aerosol powder coating</i>	<i>Hollow glass beads</i>
<i>Sputtering</i>	<i>Glass Quartz</i>
<i>Liquid phase deposition</i>	<i>Glass plate</i>

Selain dibagi berdasarkan bahan baku awalnya (dari bubuk TiO<sub>2</sub> komersial langsung dan dari prekursor), metode preparasi film juga dapat berlangsung pada temperatur tinggi ataupun temperatur rendah. Aplikasi fotokatalisis dalam mendegradasi senyawa-senyawa berbahaya diharapkan mampu menciptakan lingkungan dalam ruangan yang lebih nyaman. Dalam rangka untuk mewujudkan harapan tersebut, penting bagi kita untuk mengembangkan metode preparasi film TiO<sub>2</sub> pada suhu rendah. Metode preparasi ini akan menghasilkan film yang dapat dilapisi ke berbagai macam material penyangga, termasuk diantaranya adalah material yang ketahanan terhadap panasnya rendah seperti plastik, kayu dan fiber. Selain keuntungan tersebut, kita juga mendapatkan berbagai keuntungan lain seperti lebih hemat energi (Liuxue et al., 2008) dan dididapkannya luas permukaan spesifik yang lebih tinggi sehingga aktivitas katalitik menjadi tinggi



(Sopyan et al., 1996). Biasanya pemanasan pada suhu tinggi akan menurunkan luas permukaan secara signifikan karena partikel  $\text{TiO}_2$  akan membesar seiring dengan kenaikan temperatur sehingga aktivitas katalitik menurun (Sopyan et al., 1996; Xu et al., 2008). Dengan demikian, metode preparasi pada temperatur rendah ini sangatlah penting.

Satu hal yang perlu diperhatikan disini adalah bubuk  $\text{TiO}_2$  akan dideposisi pada material penyangga dengan semacam agen pengikat yang berfungsi sebagai perekat. Kesatuan antara fotokatalis  $\text{TiO}_2$  dan material penyangga ini sangatlah penting, karena sebagian partikel katalis mungkin saja lepas dari material penyangga dan masuk ke fasa cair jika ikatan antara fotokatalis dan penyangga tidaklah kuat. Oleh karena itu, pemilihan agen pengikat sangatlah penting (Yang et al., 2008).

## 2.5.2 Karakterisasi Fotokatalis

### 2.5.2.1 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–Emmet–Teller pada tahun 1938 ada dua yaitu *single point* dan *multi point*. Pengukuran *single point* dilakukan bila profil isotherm telah diketahui dan dilaksanakan pada suatu nilai tekanan parsial adsorbat di mana profil isothermnya linier. Sedangkan pengukuran *multi point* dilakukan jika profil isothermnya belum diketahui dilakukan dengan memvariasikan nilai tekanan parsial adsorbat pada rentang  $0.05 < (P/P_0) < 0.35$ . 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 diadsorpsi (Slamet et al., 2007). Jumlah lapisan yang diadsorpsi ditunjukkan dengan persamaan (Maron dan Lando, 1974):

$$\frac{P}{V(P_0-P)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{(C-1)P}{V_m C P_0} \quad (2.4)$$

dengan :

$V$  = volume gas yang diadsorpsi pada tekanan  $P$

$V_m$  = volume gas yang diadsorpsi dalam lapisan tunggal

$P_0$  = tekanan saturasi gas yang diadsorpsi pada temperatur percobaan

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

Persamaan di atas dapat dibuat satu grafik yang linear dengan memplot antara  $P/V(P_0-P)$  vs  $P/P_0$  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 diketahuinya  $V_m$  maka luas permukaan total katalis dapat dihitung (Maron dan Lando, 1974).

## 2.6 Teknik Analisis

### 2.6.1 Gas Chromatography (GC)

Teknik analisis GC 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. Dalam kromatografi gas, gas atau cairan yang mudah menguap dibawa oleh fasa gerak gas melalui fasa stasioner cair yang ada di dalam kolom tubular. 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).

## 2.7 Jenis-jenis Alat Perangkap Nyamuk

Pada subbab ini, akan ditinjau beberapa paten-paten alat perangkap nyamuk yang cukup mewakili teknologi alat perangkap nyamuk yang telah berkembang sampai saat ini. Alat perangkap nyamuk yang akan dibahas pada subbab berikutnya meliputi alat perangkap nyamuk yang mewakili penggunaan sinar UV, senyawa kimia penarik serangga, dan juga teknologi fotokatalisis.

### 2.7.1 Penggunaan Sinar UV

#### 2.7.1.1 Penggunaan Sinar UV dan Perekat

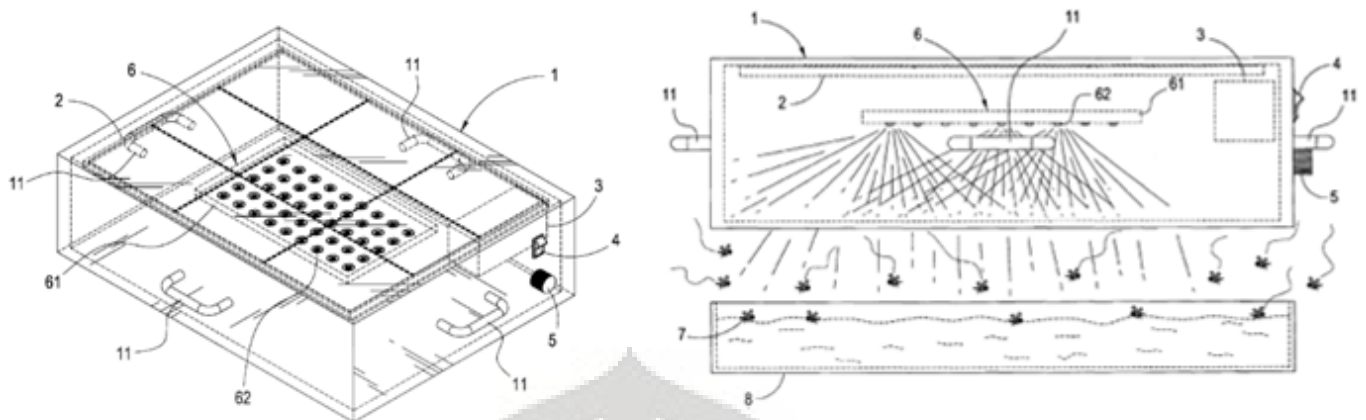
Salah satu alat perangkap nyamuk yang menggunakan sinar UV untuk menarik nyamuk dan perekat untuk menjebak nyamuk dapat dilihat pada uraian di bawah ini.

Nama paten : *Solar Insect Killer and Catcher* (Lin, 2007)

No. paten : US 7,308,774 B2

Tanggal Paten : 18 Desember 2007

Prinsip temuan ini adalah menarik serangga dengan memanfaatkan cahaya lampu yang mengeluarkan sejumlah panjang gelombang. Lapisan kotak berupa transparan yang merupakan elemen yang dapat meneruskan emisi panjang gelombang yang disukai serangga. Dengan susunan ini, serangga akan tertarik oleh emisi panjang gelombang, jatuh ke kolam air dibawahnya dan terperangkap. Selain itu, alat ini juga memiliki pelat surya yang dapat mengubah energi surya menjadi listrik. Listrik yang dihasilkan akan disimpan di *power supply*. Dengan demikian, penemuan ini tidak memerlukan *power supply* eksternal. Kelebihan alat ini adalah struktur yang sederhana, mudah dioperasikan, harga yang murah (karena tidak membutuhkan listrik dari luar, aman. Kelemahan dari alat ini secara berkala perlu dilakukan pengisian kolam air, kemungkinan serangga untuk keluar dari perangkap juga besar.



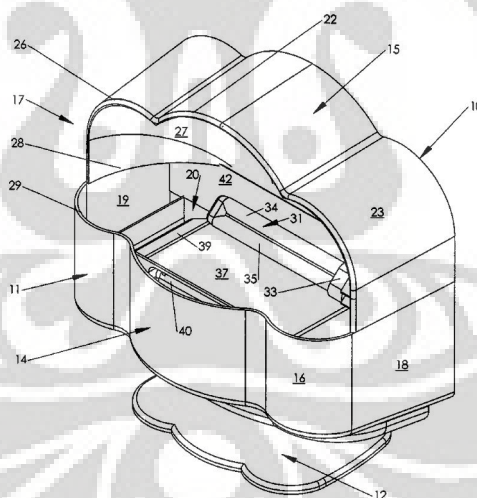
**Gambar 2. 6** Tampak Atas dan Samping *Solar Insect Killer and Catcher* (US 7,308,774)

Alat dengan prinsip serupa juga dapat dilihat pada Gambar 2.7 dan uraian di bawah ini.

Nama paten : *Flying Insect Trap* (Taylor dan Lambert, 2006)

No. paten : US 7,143,542 B2

Tanggal Paten : 5 Desember 2006



**Gambar 2. 7** *Flying insect trap* (US 7,143,542)

Alat perangkap nyamuk ini diperuntukkan bagi lingkungan perumahan dan kantor. Prinsipnya adalah dengan menggunakan lampu UV untuk menarik serangga dan kemudian serangga yang masuk akan terjebak oleh adanya medium perekat. Untuk mencegah pancaran sinar UV secara langsung, maka dibuat tudung yang terbentang diatas lampu UV. Alat ini diklaim mampu meningkatkan

kemampuan menarik dan menangkap serangga yang terbang, dengan cara menyediakan dinding yang bersifat reflektif (*UV- reflective coating*) untuk menyebarkan cahaya UV dan menggunakan permukaan *UV booster* di balik sumber cahaya UV untuk merefleksikan cahaya UV dari sumber ke ruangan. Kelebihannya adalah adanya maksimalisasi dari cahaya UV yang terpancar, dapat digunakan sebagai lampu dekoratif. Kelemahannya perekat yang digunakan dapat mengeluarkan polutan udara dalam ruang yang berbahaya

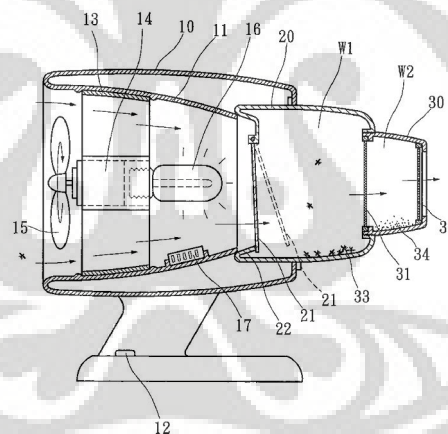
### 2.7.1.2 Penggunaan Sinar UV dan Kipas Penyedot

Salah satu alat perangkap nyamuk yang menggunakan sinar UV untuk menarik nyamuk dan kipas untuk menyedot nyamuk ke perangkap dapat dilihat pada uraian di bawah ini.

Nama paten : *Multipurpose Mosquito Trap Lamp* (Chen dan Hsu, 2006)

No. paten : US 7,036,269 B1

Tanggal Paten : 2 Mei 2006



**Gambar 2. 8** Tampak Samping *Multipurpose Mosquito Trap Lamp* (US 7,036,269)

Alat ini berfungsi untuk menangkap nyamuk dan serangga kecil lainnya dan secara simultan membersihkan udara. Untuk menarik nyamuk, masih digunakan lampu UV. Ketika nyamuk mendekat, maka nyamuk akan tersedot oleh kipas untuk masuk ke dalam akibat gaya sedot yang diproduksi oleh kipas. Ketika alat dinyalakan, maka *one way swinging door* akan terbuka karena terkena angin buangan dari kipas. Sebaliknya, ketika alat dimatikan *one way swinging door* akan tertutup sehingga nyamuk yang terperangkap tidak akan bisa keluar. Sedangkan, untuk membersihkan udara dipakai *ozone generator*.

Kelebihan alat ini adalah tidak menggunakan setrum tegangan tinggi, memiliki fungsi tambahan untuk membersihkan udara. Kelemahannya tidak ada pelindung kipas untuk mencegah tersentuhnya kipas oleh tangan, kipas harus selalu dibersihkan.

### 2.7.2 Penggunaan Cairan Penarik Serangga

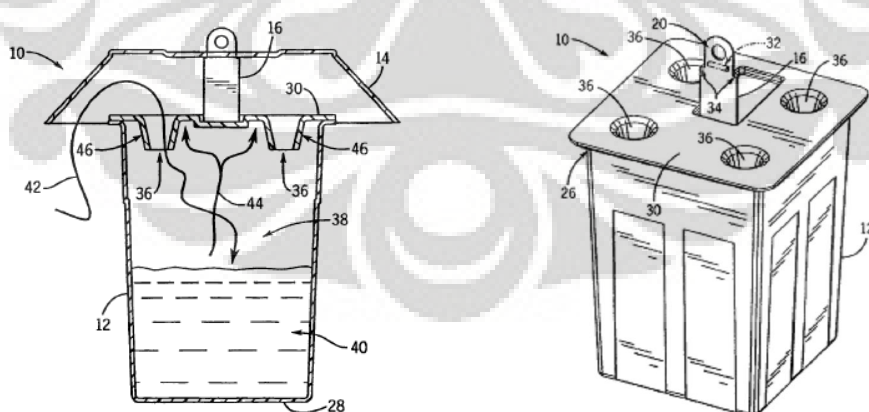
Alat penangkap nyamuk lainnya adalah dengan menggunakan cairan penarik serangga. Senyawa spesifik yang digunakan pada alat ini tidak diketahui dengan tepat. Namun, alat ini diyakini oleh penemu dapat menangkap nyamuk.

Nama paten : *Flying Insect Trap* (Meier et al., 2006)

No. paten : US 7,093,389 B1

Tanggal Paten : 22 Agustus 2006

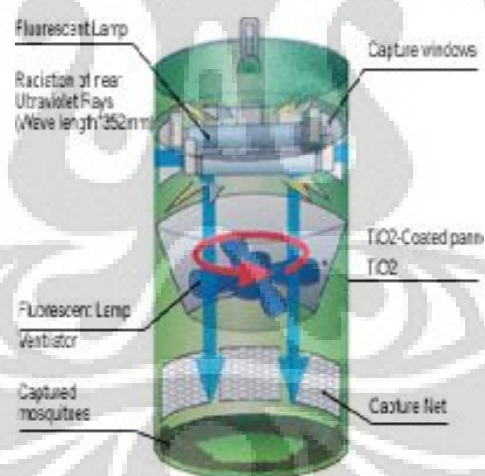
Prinsip temuan ini adalah dengan memanfaatkan “one-way entrance” bagi serangga yang tertarik pada suplai cairan di alat. Serangga masuk ke jebakan karena bau cairan dan sulit untuk keluar. Kelebihan alat ini adalah tidak membutuhkan tenaga listrik dan material berbahaya, pengoperasian sangat sederhana. Kelemahannya terletak pada penggunaan bahan kimia sebagai media penarik nyamuk, cairan harus diganti pada waktu tertentu, jangkauan nyamuk yang dapat ditangkap masih rendah.



**Gambar 2. 9** Tampak samping dan Depan *Flying Insect Trap* (US 7,093,389)

### 2.7.3 Penggunaan Prinsip Fotokatalisis

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 dengan teknologi semacam ini telah mendapatkan Sertifikasi *Patent International* No. PCT/KR/01-00427 dan *Korean Domestic Patent* No. 43847 (2001) seperti yang terlihat pada Gambar 2.10. Sampai saat ini, diketahui bahwa fotokatalis yang ada di panel alat hanyalah berupa  $\text{TiO}_2$  saja. Alat ini memiliki kelebihan diantaranya efektif 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*. Namun, kelemahannya adalah kemampuan purifikasi udara kurang efektif, kipas yang mudah kotor.

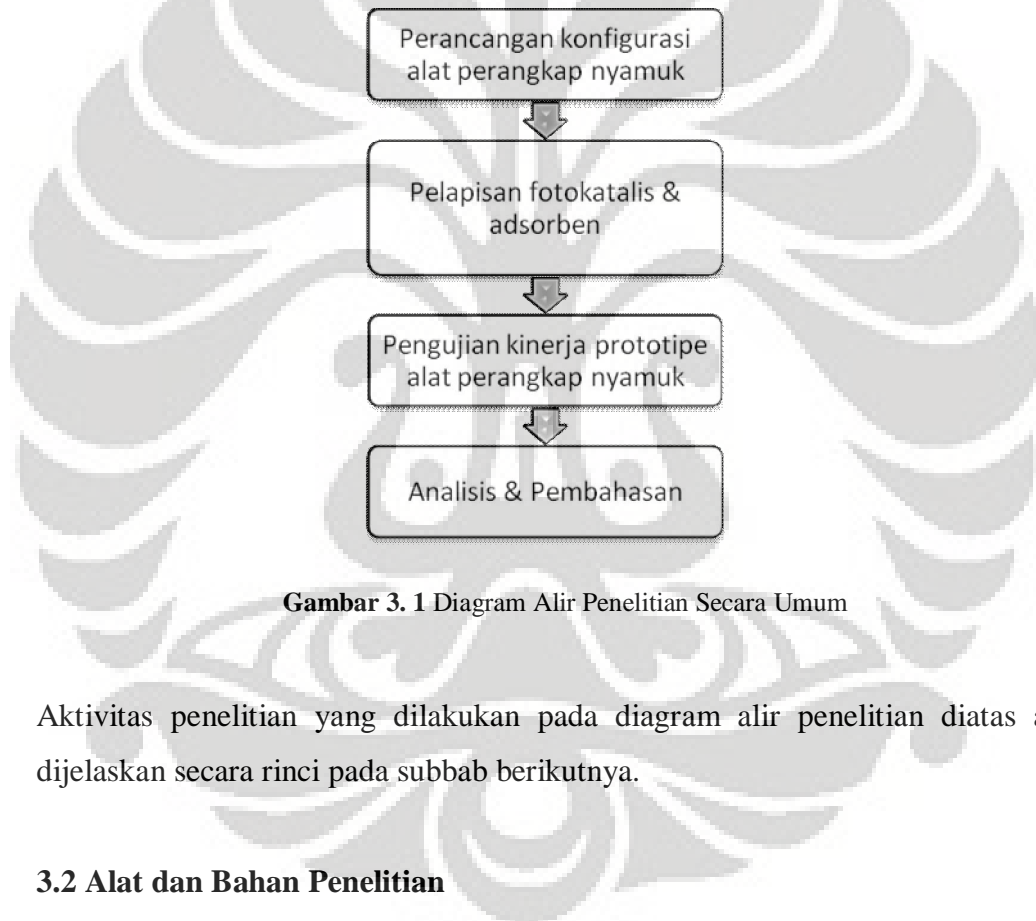


**Gambar 2. 10** Alat Perangkap Nyamuk Berbasis Fotokatalisis (*Korean Domestic Patent* No. 43847)

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Rekayasa Produk Kimia dan Bahan Alam (Lab. RPKA) dan Laboratorium Dasar Proses Kimia (Lab. DPK) Departemen Teknik Universitas Indonesia, Depok. Diagram alir penelitian secara umum dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut:



**Gambar 3. 1** Diagram Alir Penelitian Secara Umum

Aktivitas penelitian yang dilakukan pada diagram alir penelitian diatas akan dijelaskan secara rinci pada subbab berikutnya.

### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat:

- *Beaker glass*
- Cawan porselen
- *Gas chromatography*
- Lampu UV-A 4W



- *Microsyringe*
- *Programmable Furnace*
- *Sampling tube*
- *Sieve*
- *Syringe*
- *Ultrasonic bath*

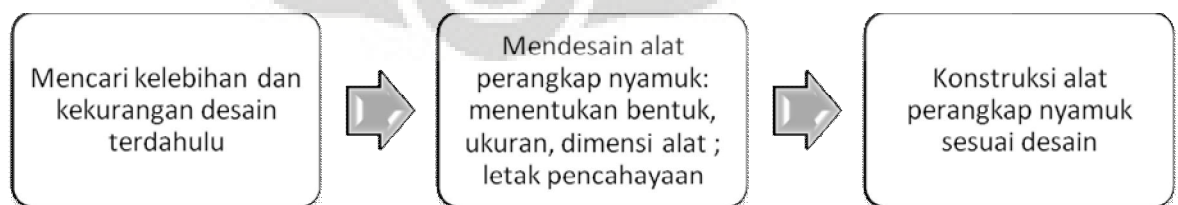
Bahan:

- Bubuk TiO<sub>2</sub> Degussa-P25 (luas area: 54 m<sup>2</sup>/g dan struktur: 79% anatase dan 21% rutile): sebagai fotokatalis.
- Karbon aktif granular (Karbosorb): sebagai adsorben.
- *Demineralized water*: sebagai pelarut TiO<sub>2</sub> dan karbon aktif.
- *Tetraethyl orthosilicate* (TEOS) 98% (Aldrich): sumber SiO<sub>2</sub> yang berfungsi sebagai perekat antara TiO<sub>2</sub> dan karbon aktif.
- Asetaldehida pro analysi: sebagai model polutan udara.
- Toluena pro analysi: sebagai model polutan udara.

### 3.3 Prosedur Penelitian

#### 3.3.1 Perancangan Konfigurasi Alat Perangkap Nyamuk

Pada tahap ini, dua langkah utama yang dilakukan adalah mendesain dan mengkonstruksi alat perangkap nyamuk berbasis fotokatalisis. Termasuk didalamnya adalah bentuk dan ukuran alat, peletakkan sumber pencahayaan, dan letak pelapisan fotokatalis. Secara ringkas, tahap penelitian ini digambarkan pada Gambar 3.2 di bawah ini.



**Gambar 3. 2** Diagram Alir Perancangan Konfigurasi Alat Perangkap Nyamuk



Secara umum, perangkat yang ada di dalam alat perangkap nyamuk yang telah dikonstruksi sama dengan alat yang ada di pasaran sekarang. Keduanya memiliki ruang instalasi lampu, ruang jendela/ kisi-kisi tempat nyamuk masuk, panel tempat fotokatalis, ruang kipas, dan ruang perangkap nyamuk. Perbedaan utama kedua alat terletak pada bentuk alat dan beberapa konfigurasi di dalamnya seperti jumlah lampu yang digunakan, bentuk panel yang dipakai, dan letak kawat untuk keluarnya udara. Agar lebih mudah memahami proses perancangan serta berbagai pertimbangan dalam mendesain alat perangkap nyamuk yang akan dijelaskan, kita dapat melihat terlebih dahulu gambar alat perangkap nyamuk yang telah dikonstruksi pada Gambar 3.3 di bawah ini.

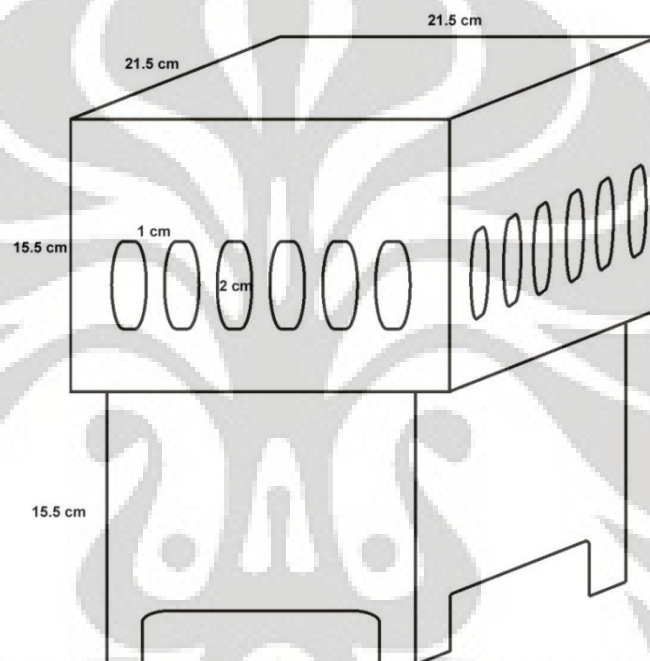


**Gambar 3. 3** Prototipe Alat Perangkap Nyamuk

Seperti telah dipaparkan pada batasan masalah, pada penelitian ini tidak akan dilakukan variasi terhadap konfigurasi alat perangkap nyamuk. Jadi, konstruksi hanya dilakukan untuk satu prototipe alat perangkap nyamuk saja yang desainnya didasarkan oleh berbagai pertimbangan yang ada. Beberapa pertimbangan yang dimaksud adalah:

- a. Umumnya, bentuk alat perangkap nyamuk yang ada di pasaran adalah tabung. Desain semacam ini memang unggul dalam segi ketahanan dan dalam segi kemudahan manufaktur. Artinya alat perangkap nyamuk yang ada di pasaran lebih kuat karena tidak ada sambungan dan lebih mudah

diproduksi. Namun di sisi lain, bentuk lampu UV yang tersedia di pasaran adalah berbentuk panjang dan bukan lingkaran. Hal ini akan membuat penyebaran radiasi UV ke panel yang berbentuk lingkaran tidak merata. Dengan alasan inilah dibuat alat berbentuk kotak agar penyebaran radiasi lampu ke panel lebih merata ke setiap sisi. Gambar 3.4 berikut ini adalah desain dan dimensi alat perangkap nyamuk yang akan dikonstruksikan jika dilihat dari luar.

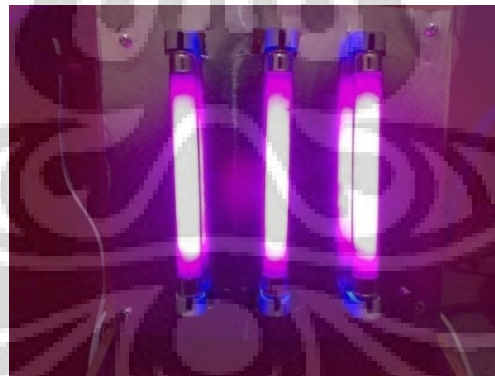


**Gambar 3. 4** Tampak Luar dan Dimensi Alat

Seperti yang terlihat pada Gambar 3.4, tinggi keseluruhan alat adalah 31 cm. Tinggi total alat ini tidak jauh berbeda dengan alat perangkap nyamuk yang ada di pasaran yakni  $\pm 29$  cm. Ukuran jendela yang memiliki lebar 2 cm, tinggi 5cm, dan jarak antar jendela 1 cm dibuat sama dengan alat yang telah ada. Keseluruhan sisi di alat ini dibuat dari bahan *textwood*. Bahan ini dipilih karena bersifat ringan (lebih ringan dari triplek), permukaannya halus, mudah dipotong, dan tidak berongga.

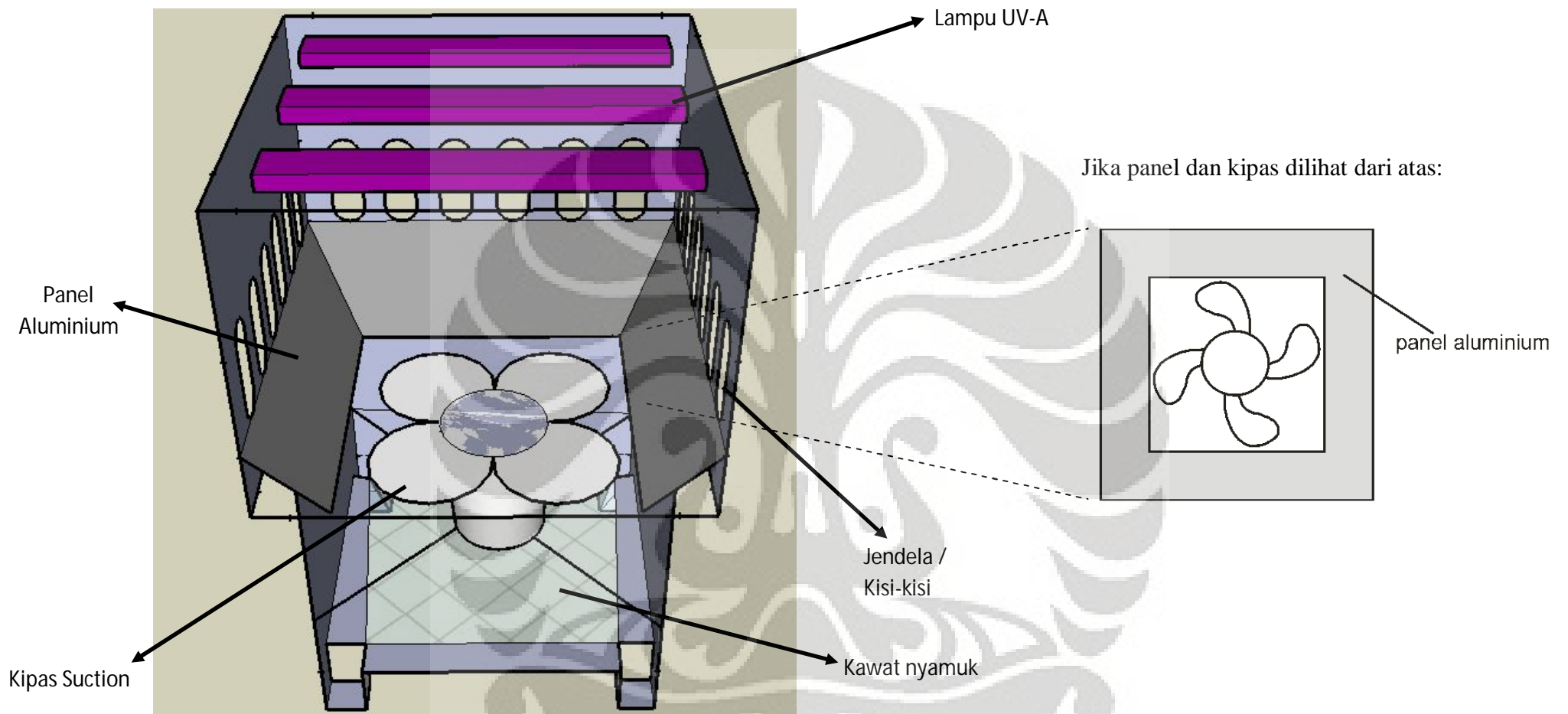
- b. Biasanya, jumlah lampu yang terinstalasi di alat perangkap nyamuk di pasaran adalah sebanyak dua buah lampu UV-A 4W. Namun, perlu

diketahui bahwa semakin tinggi intensitas UV maka proses fotokatalisis yang terjadi akan berlangsung semakin efektif (Liuxue et al., 2008). Oleh karena itulah, jumlah lampu yang digunakan juga ditambah menjadi tiga dengan spesifikasi lampu UV-A 4W yang sama. Jumlah tiga dirasa paling sesuai untuk dimensi alat seperti ini. Lampu UV-A dipilih karena relatif murah, merupakan sumber UV energi rendah dan paling aman digunakan untuk jangka waktu yang relatif lama (Fujishima dan Zhang, 2006). Sedangkan daya 4 Watt dipilih karena ukurannya yang kecil sehingga dapat diinstalasi pada dimensi alat yang relatif kecil. Perhatikan Gambar 3.5 yang memuat susunan lampu di alat perangkap nyamuk. Bagian atas tempat instalasi lampu juga diberikan reflektor yang juga terbuat dari aluminium. Aluminium dipilih karena selain memiliki sifat dapat memantulkan sinar, aluminium juga ringan dan mudah dibentuk sehingga dapat pula dipakai untuk menahan kedudukan lampu UV. Sinar lampu yang dipantulkan oleh reflektor akan menambah intensitas lampu yang jatuh ke permukaan fotokatalis. Akibatnya proses fotokatalisis juga lebih efektif lagi.



**Gambar 3. 5** Susunan Lampu di Alat

- c. Pada alat ini, panel yang fungsi utamanya untuk tempat meletakkan fotokatalis dapat dilihat dari Gambar 3.6 tampak dalam alat seperti di bawah ini.



**Gambar 3. 6** Bagian Dalam Alat Perangkap Nyamuk

Bahan aluminium dipilih sebagai bahan pembentuk panel karena dua alasan utama yaitu mudah dibentuk dan tahan panas. Bentuk panel yang memiliki luasan area yang lebih kecil di bagian bawahnya memerlukan bahan yang dapat dibentuk seperti aluminium. Selain itu, karena panel akan dikeringkan di *oven* pada suhu  $150^{\circ}\text{C}$  maka panel haruslah tahan panas dan tidak berubah fasa pada suhu *oven*. Titik lebur aluminium adalah  $660^{\circ}\text{C}$ .

- d. 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 pun tidak boleh terlalu rapat karena akan menghalangi nyamuk yang tersedot ke bawah. Oleh karenanya, peneliti memilih 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:

$$Q_1 = Q_2$$

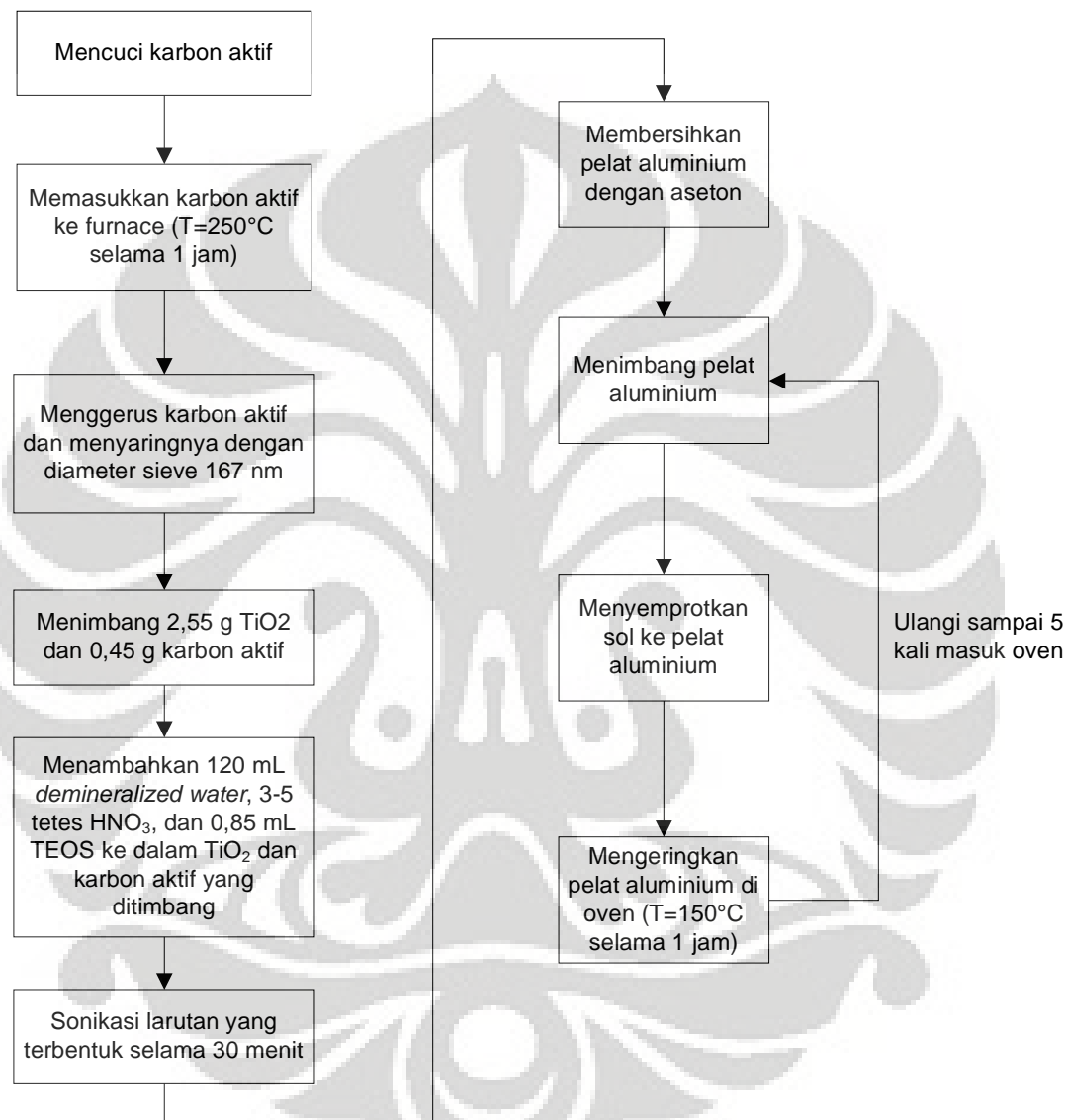
$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

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

- e. Kawat nyamuk yang berfungsi sebagai tempat keluar udara sekaligus jaring penghalang nyamuk untuk keluar diletakkan di bagian bawah. Ini berbeda dengan alat yang muncul di pasaran. Kawat nyamuk di alat yang ada pasaran hampir semuanya berada di samping. Dengan meletakkan kawat nyamuk di bagian bawah, maka hambatan udara yang keluar akan semakin besar. Akibatnya tarikan udara ke bawah juga makin kuat.

### 3.3.2 Pelapisan Fotokatalis dan Adsorben

Pada tahap ini, ada dua bagian utama yaitu pembuatan sol katalis dan pelapisan sol ke panel aluminium. Kedua prosedur ini dapat dilihat pada diagram alir berikut:



**Gambar 3. 7** Diagram Alir Pelapisan Fotokatalis dan Adsorben

Uraian prosedur pelapisan fotokatalis pada permukaan penyangga secara keseluruhan adalah sebagai berikut:

1. Melakukan *treatment* pada karbon aktif/ *activated carbon* (selanjutnya akan disebut sebagai AC). Caranya:
  - a. Mencuci terlebih dahulu karbon aktif komersial (AC) yang akan digunakan sebagai adsorben dengan menggunakan air kran sampai air sisa cucian AC tidak berwarna hitam lagi. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar pengotor AC sudah hilang.
  - b. Memasukkan AC ke dalam *atmospheric furnace* untuk dikeringkan pada temperatur 250°C selama 1 jam. Pengeringan dilakukan untuk menghilangkan partikel-partikel *liquid* terutama air yang teradsorpsi oleh karbon aktif.
  - c. Menggerus karbon aktif dan menyaringnya dengan *sieve* 0,167 mm. Kemudian, ambil karbon aktif yang lolos saringan *sieve*. Diameter ini dipilih karena merupakan diameter yang terkecil yang dimiliki oleh *sieve*. Dengan kecilnya diameter yang dipakai, diharapkan luas permukaan adsorben menjadi lebih besar sehingga lebih efektif dalam meningkatkan proses fotokatalisis. Ukuran partikel yang sangat kecil akan memaksimalkan luas permukaan yang berkenaan dengan reaktan, sehingga memungkinkan lebih banyak reaksi yang terjadi dalam waktu bersamaan dan dengan demikian kecepatan proses meningkat (*Nanomaterial based*, 2007). Selain itu, mengingat TiO<sub>2</sub> yang digunakan berukuran nano maka harus diusahakan agar ukuran karbon aktif yang ditambahkan juga kecil sehingga karbon aktif tersebar merata di dalam larutan sol.
2. Membuat sol katalis. Caranya:
  - a. Menimbang TiO<sub>2</sub> dan AC.  
Basis: 3 g campuran  
Rasio % berat TiO<sub>2</sub> : AC = 85% : 15%, maka:  
Berat TiO<sub>2</sub> =  $\frac{85}{100} \times 3 \text{ g} = 2,55 \text{ g}$   
  
Berat AC =  $\frac{15}{100} \times 3 \text{ g} = 0,45 \text{ g}$



Rasio persen berat TiO<sub>2</sub> dan AC yang dipakai pada penelitian ini diambil dari persen berat kombinasi fotokatalis dan adsorben yang optimal dari hasil penelitian Araña (2003). Walaupun pada penelitian tersebut didapatkan nilai 13% karbon aktif, namun penggunaan 15% karbon aktif dianggap cukup mewakili kombinasi fotokatalis dan adsorben yang optimal.

- b. Melarutkan campuran bubuk TiO<sub>2</sub> dan AC ke dalam 120 mL air *demineralized* dan menambahkan 3-5 tetes larutan HNO<sub>3</sub> 1M sampai pH larutan campuran mencapai 2-3. Kemudian aduk larutan. Air *demineralized* dipilih karena merupakan air yang bebas dari pengotor yang akan mengganggu proses pendistribusian katalis di larutan. Dalam membuat larutan sol, juga ditambahkan larutan HNO<sub>3</sub> beberapa tetes kecil agar pH larutan sol akan turun sampai 2-3. Pada pH larutan yang rendah, ukuran partikel katalis menjadi kecil sehingga luas permukaannya bertambah. Pada pH rendah tersebut, permukaan TiO<sub>2</sub> menjadi bermuatan positif sehingga daya tolak antar partikelnya semakin besar yang mengakibatkan TiO<sub>2</sub> dapat terdistribusi secara merata pada seluruh permukaan cairan.
- c. Menambahkan 0,85 mL TEOS 98% ke larutan yang telah dibuat sebelumnya. Aduk larutan yang terbentuk.

Perhitungan:

$$\text{Rasio berat TiO}_2/\text{TEOS} = 3,215 : 1$$

$$\% \text{ berat TiO}_2 : \% \text{ TEOS} = 76,28\% : 23,72\%$$

Karena pengeringan fotokatalis tidak dilakukan pada suhu tinggi maka SiO<sub>2</sub> di TEOS yang berguna sebagai perekat tidak terbentuk. Pada saat penambahan TEOS, pH larutan turun yang kemudian memperkecil ukuran partikel katalis, sehingga luas permukaannya bisa bertambah. Jadi penambahan TEOS dan HNO<sub>3</sub> dimaksudkan untuk membuat pH larutan sol dibawah 4 (Meinzer dan Birbara, 1997).

- d. Sonikasi larutan yang terbentuk di *point c* selama 30 menit. Sonikasi dilakukan untuk membuat sol homogen.

3. 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*.
4. 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.
5. Mengeringkan pelat aluminium yang telah dilapisi katalis di dalam *oven programmable* pada suhu  $150^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam.
6. Mengulangi langkah 3 dan 4 sebanyak 5 kali sampai hasil *coating* terlihat merata.

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

Pada tahapan ini, ada dua bagian besar pengujian yang akan dilakukan yakni pengujian dalam hal kemampuan menangkap nyamuk dan dalam hal kemampuan mendegradasi gas.

#### **3.3.3.1 Uji Kemampuan Menangkap Nyamuk**

Uji nyamuk ini 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 menangkap nyamuk lebih banyak atau lebih efektif dibandingkan jika tidak memiliki lapisan fotokatalis di panel aluminium-nya.

Untuk menguji peran masing-masing komponen di dalam alat perangkap nyamuk, dilakukan beberapa uji blangko. Idealnya, uji blangko ini dilakukan dengan menggunakan dua alat perangkap nyamuk yang serupa. Namun, karena adanya keterbatasan alat perangkap nyamuk maka uji blangko dilakukan dengan menggunakan satu alat saja pada tempat yang sama dengan waktu dan kondisi yang tidak jauh berbeda.

#### **A. Uji Blangko 1: Melihat Peran Fotokatalis dan Lampu UV**

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 saja (kipas dalam kondisi dimatikan).
3. Mengamati dan merekam kondisi keadaan pada langkah 2 setiap 5 menit selama 15 menit.
4. Kemudian, ganti panel aluminium yang tidak di-*coating* dengan panel aluminium yang di-*coating*. Kondisi lampu UV tetap menyala dan kipas tetap mati,
5. Amati pula dan rekam kondisi pada langkah 4 setiap 5 menit selama 15 menit.

#### **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* 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.

Bandingkan perbedaan jumlah nyamuk yang berhasil ditangkap dengan dan tanpa adanya kipas.

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

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. Pengujian dilakukan di tempat dan kondisi (musim) yang berbeda untuk melihat

pengaruh keduanya terhadap kinerja alat. 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, lampu UV dan kipas tetap menyala.
2. Konfigurasi 2: 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 sampai masing-masing konfigurasi memiliki tiga data.

### **3.3.3.2 Uji Kemampuan Mendegradasi Gas Toluena dan Asetaldehida**

Uji kemampuan degradasi gas ini dimaksudkan untuk melihat kemampuan fotokatalis dalam alat ini dalam mendegradasi polutan di udara. Dalam percobaan ini, model polutan udara yang digunakan adalah gas asetaldehida dan gas toluena. Gas asetaldehida dan gas toluena dipilih karena merupakan polutan yang paling sering ditemukan di udara. Selain itu, pemilihan ini juga disebabkan oleh kedua gas merupakan gas yang mudah menguap (VOC) sehingga untuk dapat menguapkan kedua gas ini tidak perlu dilakukan pemanasan sedikitpun.

Analisa konsentrasi gas ini menggunakan teknik analisa 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). Pada pengujian kemampuan mendegradasi gas ini, peneliti tidak melakukan kalibrasi untuk masing-masing gas karena waktu penelitian yang sangat singkat. Oleh karena itu, penurunan konsentrasi gas di dalam reaktor akan sebanding dengan penurunan luas area di bawah peak. Reaktor yang digunakan pada percobaan ini adalah alat perangkap nyamuk itu sendiri yang diisolasi sedemikian rupa agar tidak bocor terhadap gas yang diinjeksikan.

#### A. Uji Blangko dan Kebocoran Reaktor

Uji ini dilakukan untuk memastikan bahwa penurunan luas area di bawah peak saat uji degradasi gas toluena dan asetaldehida disebabkan oleh reaksi fotokatalitik. Gas yang dipakai pada percobaan ini adalah gas toluena. Pemilihan gas yang akan dipakai pada percobaan ini boleh apa saja karena yang diharapkan pada pengujian ini hanyalah luas area di bawah peak 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 Toluena dan Asetaldehida

Pada pengujian ini, peneliti memvariasikan persen karbon aktif yang ada di panel aluminium. Variabel pertama adalah 0% persen karbon aktif, sedangkan untuk variabel kedua digunakan 15% karbon aktif. Prosedur umum yang dipakai pada percobaan ini adalah sebagai berikut:

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

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 analisa udara di dalam reaktor telah sama dengan udara ruang, maka reaktor telah siap untuk digunakan.
5. Memasukkan model gas ke dalam reaktor. Kemudian biarkan selama 45 menit agar percampuran 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 selama 20-40 menit.
6. Setelah homogen, nyalakan lampu UV di reaktor dan tepat saat penyalaan lampu waktu mulai dihitung sebagai  $t = 0$  menit.
7. Ambil sampel gas dari reaktor sebanyak 1 mL pada interval waktu tertentu dari waktu penyalaan lampu UV. Injeksikan tiap sampel yang diambil ke dalam GC dan analisa hasilnya.

### 3.4 Data Penelitian dan Pengolahan Data

Data yang diambil dalam penelitian ini adalah jumlah nyamuk yang diperoleh dan luas area di bawah peak gas asetaldehida dan toluena setiap waktu tertentu. Data jumlah nyamuk akan diperbandingkan untuk setiap variabel yang diujikan. Data luas area peak akan diolah menjadi data % degradasi dengan rumus



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

Kurva % degradasi vs waktu untuk tiap variabel kemudian diperbandingkan.



## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Rekayasa Alat Perangkap Nyamuk**

Secara umum, perangkat yang ada di dalam alat perangkap nyamuk memiliki ruang instalasi lampu, ruang jendela/ kisi-kisi tempat nyamuk masuk, panel tempat fotokatalis, ruang kipas, dan ruang perangkap nyamuk. Alat berbentuk kotak agar penyebaran radiasi lampu ke panel lebih merata ke setiap sisi. Jenis dan jumlah lampu yang digunakan adalah lampu UV-A 4 W sebanyak tiga buah dengan yang sama. Bagian atas tempat instalasi lampu juga diberikan reflektor yang terbuat dari bahan aluminium. Panel yang memiliki fungsi utama untuk tempat meletakkan fotokatalis juga terbuat dari aluminium. Bentuk panel memiliki luasan area yang lebih kecil di bagian bawah-nya. Kipas yang digunakan pada alat ini bersifat menyedot nyamuk bersamaan dengan aliran udara ke bawah (*suction*). Adanya pengurangan luasan pada panel akan mengakibatkan kecepatan udara di bagian yang disedot akan bertambah. Selain itu, 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 tarikan udara ke bagian bawah akan semakin kuat. Pembahasan mengenai bentuk fisik dan konfigurasi alat perangkap nyamuk yang telah berhasil direkayasa telah dibahas secara lebih rinci pada bab sebelumnya. Oleh karena itu, pada sub bab berikutnya hanya akan dibahas mengenai hasil pelapisan fotokatalis pada panel saja.

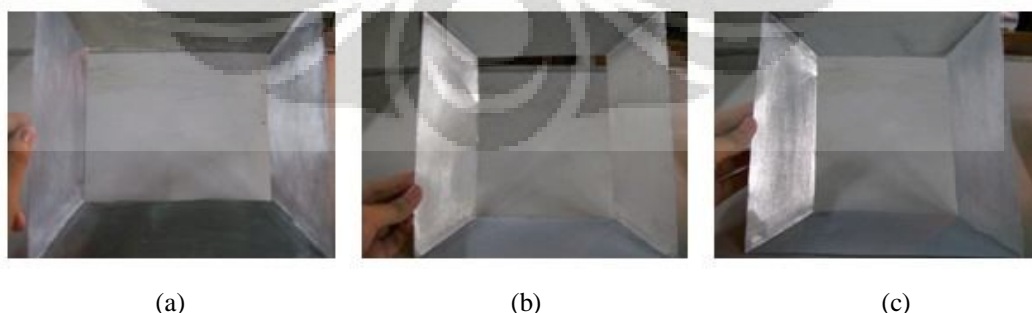
##### **4.1.1 Pelapisan Fotokatalis Pada Panel**

Dalam 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 hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.1. Sol yang mengandung  $\text{TiO}_2$  berwarna putih sedangkan sol yang mengandung  $\text{TiO}_2$  dan karbon aktif berwarna keabuan.



**Gambar 4. 1** Larutan Sol TiO<sub>2</sub> saja (kiri) dan Sol TiO<sub>2</sub>-15%AC (kanan)

Pada setiap pelapisan yang dilakukan, panel aluminium ditimbang sebelum dan sesudahnya. Dari hasil penimbangan tersebut, penambahan berat pelat aluminium tidak terjadi sampai lima kali pelapisan dilakukan. Hal ini terjadi karena timbangan elektronik yang digunakan memiliki ketelitian 0.01 g sedangkan massa sol keseluruhan yang disemprotkan ke panel aluminium sangat ringan. Inilah yang membuat penambahan massa sol di panel aluminium tidak dapat terukur oleh timbangan yang ada. Secara fisik, panel aluminium sebelum dan sesudah dilapisi fotokatalis sangat berbeda. Gambar 4.2 menunjukkan perbedaan fisik panel aluminium yang tidak dilapisi katalis dan yang dilapisi katalis. Gambar (a) adalah gambar panel aluminium yang tidak dilapisi katalis sama sekali. Gambar (b) adalah gambar panel aluminium yang dilapisi katalis TiO<sub>2</sub> saja. Warnanya lebih putih dibanding panel yang tidak dilapisi katalis sama sekali. Gambar (c) adalah gambar panel aluminium yang dilapisi katalis TiO<sub>2</sub> dan AC yang berwarna putih keabuan.



(a)

(b)

(c)

**Gambar 4. 2** Panel Aluminium (a) Tidak Dilapisi Katalis (b) Dilapisi TiO<sub>2</sub> (c) Dilapisi TiO<sub>2</sub>-AC

Penyangga katalis TiO<sub>2</sub> harus memiliki konfigurasi dan luas area yang besar sehingga memungkinkan radiasi UV ke seluruh partikel katalis berlangsung efisien (meningkatkan luas reaksi dan luas penyinaran) (Tomosvka et al., 2007). Dalam hal ini, penambahan karbon aktif dengan luas permukaan yang besar dan kapasitas adsorpsi yang tinggi diharapkan meningkatkan luas area per berat katalis. Proses karakterisasi untuk TiO<sub>2</sub> dan karbon aktif secara terpisah menunjukkan bahwa karbon aktif memiliki luas permukaan per satuan berat. Proses karakterisasi tidak dilakukan dalam penelitian ini, karena karbon aktif yang digunakan sudah pernah dikarakterisasi dalam penelitian skala lab terdahulu (Slamet et al., 2006) menggunakan Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption. Data hasil karakterisasi karbon aktif murni adalah sebagai berikut (Slamet et al., 2006):

*Average pore diameter* = 21 Å

*Single Point BET* = 612 m<sup>2</sup>/g

*Pore volume* = 0,3473 cc/g

*Multipoint BET* = 670 m<sup>2</sup>/g

Bubuk TiO<sub>2</sub> Degussa-P25 yang digunakan pada percobaan ini diketahui memiliki luas area: 54 m<sup>2</sup>/g dengan struktur: 79% anatase dan 21% rutil (Slamet et al., 2007). Pada penelitian ini, karakterisasi BET dari kombinasi TiO<sub>2</sub> dan karbon aktif yang telah dibuat untuk melapisi panel aluminium diusulkan untuk dilakukan pada penelitian selanjutnya.

Lima belas persen berat karbon aktif yang ditambahkan ke dalam larutan sol diperkirakan akan meningkatkan luas area secara signifikan, tetapi adanya perlakuan lain dalam pelapisan fotokatalis dan adsorben tersebut juga dapat menurunkan luas area. Secara teoritis, performansi partikel fotokatalis TiO<sub>2</sub> secara keseluruhan bergantung pada sejumlah parameter seperti metode preparasi, temperatur pemanasan, ukuran kristal, rasio antara fasa anatase dan rutil, intensitas lampu, dan substrat yang akan didegradasi (Allen et al., 2008). Pada pemanasan temperatur yang tinggi, luas permukaan akan turun secara signifikan karena partikel TiO<sub>2</sub> akan membesar seiring dengan kenaikan temperatur (Xu et al., 2008) dan adanya transformasi anatase ke rutil (Sopyan et al., 1996). Efisiensi fotokatalitik pada fasa rutil TiO<sub>2</sub> lebih rendah dibandingkan pada fasa anatase karena rekombinasi pasangan elektron dan *hole* yang semakin sering terjadi pada permukaan fasa rutil. Jumlah reaktan dan hidroksida yang menempel

pada permukaan fasa rutil juga lebih kecil dibandingkan fasa anatase TiO<sub>2</sub> (Allen et al., 2008). Pada penelitian yang dilakukan Xu (2008), temperatur tinggi yang menyebabkan adanya transformasi anatase menjadi rutil adalah sekitar 700°C. Namun, karena pada penelitian ini temperatur oven yang digunakan hanyalah 150°C maka penurunan luas permukaan fotokatalis yang drastis dapat dihindarkan. Penelitian Nadia et al. (2005) menunjukkan bahwa pada pemanasan Degussa P-25 sampai 200°C masih menunjukkan TiO<sub>2</sub> sebagai material *macroporous*, sedangkan pada pemanasan lebih dari 200°C ada kehadiran *mesoporous*. Pemanasan pada suhu diatas 200°C tersebut akan luas permukaan porositas, dan penurunan volume pori.

Berdasarkan hasil penelitian Arana (2003) yang memperoleh persen karbon optimal 13% berat untuk degradasi polutan organik, persen karbon aktif yang digunakan pada penelitian ini dianggap cukup mendekati persen optimal tersebut. Jika kandungan karbon aktif terlalu tinggi maka fotokatalis TiO<sub>2</sub> yang berfungsi sebagai tempat terjadinya degradasi polutan organik akan tertutup (Arana, 2003; Gao, 2005).

## **4.2 Uji Kemampuan Menangkap Nyamuk**

Rangkaian pengujian yang dilakukan pada uji kemampuan menangkap nyamuk ini dimaksudkan untuk melihat keefektifan fotokatalis yang terdapat pada permukaan panel aluminium dalam memikat nyamuk untuk mendekat ke alat. Berdasarkan percobaan awal yang dilakukan, nyamuk yang terperangkap ke dalam alat ini mati karena dehidrasi akibat terperangkap dalam sedotan kipas secara terus menerus. Ada tiga uji blangko yang dimaksudkan untuk melihat peran masing-masing komponen di dalam alat ini. Setelah ketiga pengujian ini dilakukan, uji kemampuan alat dalam menangkap nyamuk baru dilakukan.

### **4.2.1 Hasil Uji Blangko 1: Melihat Peran Fotokatalis dan Lampu UV**

Pengujian yang dimaksudkan untuk mengetahui peran fotokatalis dan UV dalam memikat nyamuk ini selalu menggunakan kondisi lampu menyala dan kipas tidak dihidupkan. Namun, variabel yang digunakan dalam uji blangko ini adalah panel aluminium yang *di-coating* dan tidak *di-coating*. Pengujian ini

menggunakan waktu yang relatif sangat singkat yakni 30 menit dengan tiga kali pengamatan setiap 5 menit selama 15 menit untuk masing-masing kondisi panel.

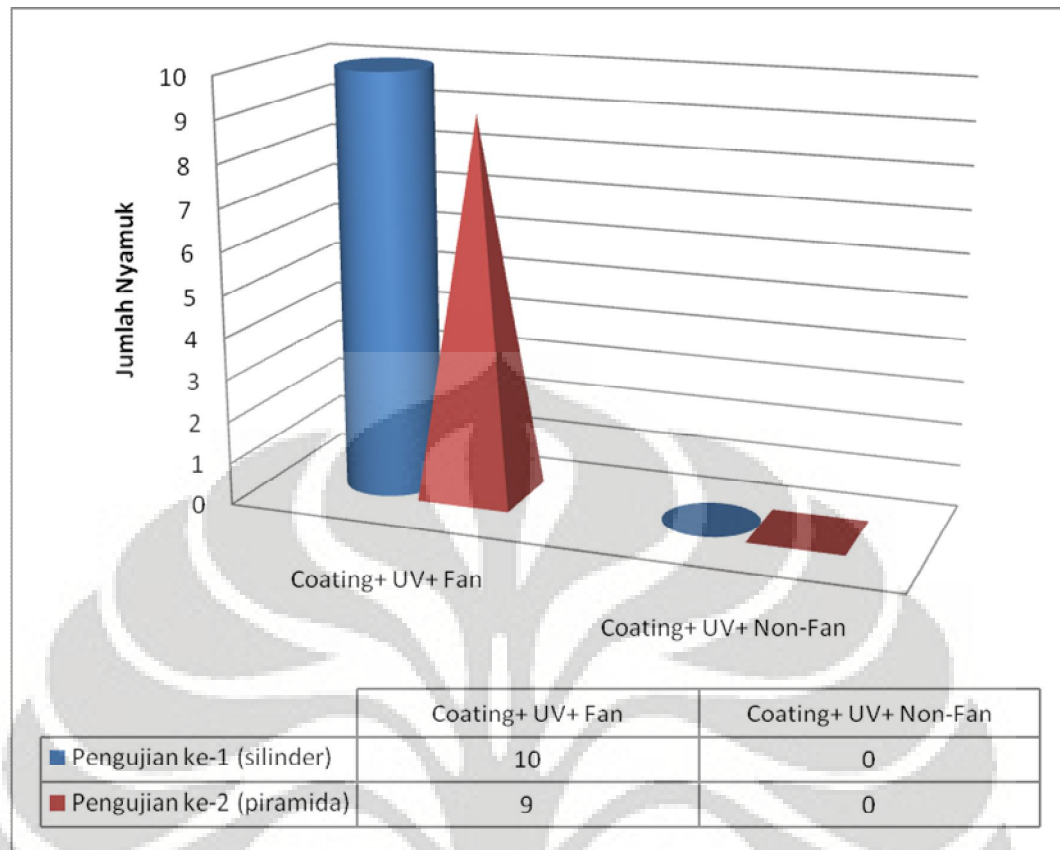
Hasilnya yaitu jika lampu UV dinyalakan dengan panel yang tidak di-*coating* maka selama waktu pengujian tidak ada nyamuk yang hinggap di panel. Namun, serangga lain seperti lalat ditemukan menempel pada panel. Sebaliknya, jika lampu UV dinyalakan dengan panel yang di-*coating* maka ada nyamuk dan juga serangga lain yang hinggap di panel. Oleh karena hasil pengamatan berupa gambar-gambar ini cukup banyak maka dapat dilihat pada Lampiran 1.

Ini membuktikan bahwa lampu UV sendiri bertujuan untuk mendatangkan serangga-serangga lain yang tertarik pada sinar lampu UV. Reaksi fotokatalitik dapat menarik atau mengkonsentrasikan nyamuk untuk datang dan hinggap di panel aluminium yang berlapis fotokatalis. Perlu diketahui disini karena waktu pengujian kedua kondisi ini dilakukan di tempat dan *range* waktu yang sama maka hasil ini dianggap cukup menunjukkan peran proses fotokatalitik dalam mendatangkan nyamuk.

#### **4.2.2 Hasil Uji Blangko 2: Melihat Peran Kipas**

Pengujian yang dimaksudkan untuk mengetahui peran *fan* ini menggunakan panel aluminium yang di-*coating* dengan lampu UV yang menyala. Kedua variabel yang diujikan dalam uji blangko ini adalah kipas yang dinyalakan dan kipas yang dimatikan. Untuk masing-masing konfigurasi dilakukan pengujian sebanyak dua 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 *Coating+UV+Fan*, kemudian hari berikutnya dilakukan pengujian ke-1 untuk konfigurasi *Non-Coating+UV+Fan*, dan diteruskan dengan pengujian ke-2 pada hari berikutnya untuk konfigurasi *Coating+UV+Fan* dan hari berikutnya dilakukan pengujian ke-2 untuk konfigurasi *Non-Coating+UV+Fan*. Gambar 4.3 berikut adalah grafik hasil uji blangko yang ditujukan untuk melihat peran kipas.





**Gambar 4.3** Hasil Uji Blangko 2 untuk Melihat Peran Kipas ( t = 12 jam)

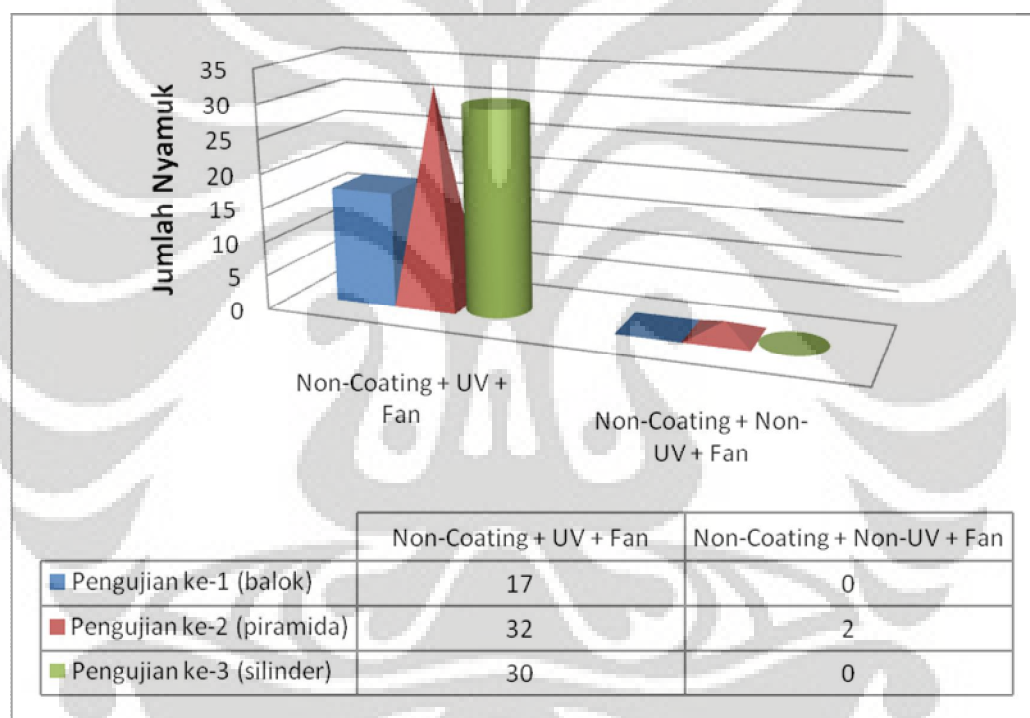
Dari grafik diatas dapat kita ketahui bahwa kipas sangat memegang peranan penting dalam menangkap nyamuk. Walaupun proses fotokatalisis terjadi pada kedua konfigurasi, tanpa adanya kipas yang menarik udara ke bagian bawah maka tidak akan ada nyamuk yang dapat terperangkap. Jadi kipas berfungsi untuk, merangkap nyamuk yang mendekat atau terkonsentrasi ke alat akibat proses fotokatalisis. Sebagai catatan, pada pengujian dengan adanya kipas, nyamuk yang diperoleh untuk setiap pengujian hanyalah sepuluh dan sembilan nyamuk saja. Hal ini disebabkan oleh kondisi tempat pengujian saat pengambilan data berlangsung adalah setelah hujan.

#### 4.2.3 Hasil Uji Blangko 3: Melihat Peran Lampu UV dan *Fan*

Pengujian yang dimaksudkan untuk mengetahui peran lampu UV dan *fan* ini selalu menggunakan panel aluminium yang tidak di-*coating* dengan kipas yang menyala. Kedua variabel yang diujikan dalam uji blangko ini adalah panel



aluminium yang di-coating dan 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). Gambar 4.4 berikut adalah grafik hasil uji blangko yang ditujukan untuk melihat peran lampu UV dan *Fan*.



**Gambar 4. 4** Hasil Uji Blangko 2 untuk Melihat Peran Lampu UV ( t= 12 jam)

Hasil yang diperoleh untuk konfigurasi *Non-Coating + UV + Fan* memang terlihat kontras dengan hasil uji blangko yang pertama karena didapatkan jumlah tangkapan nyamuk yang cukup banyak. Namun, karena waktu uji blangko pertama yang sangat singkat yakni 15 menit maka kemampuan proses fotokatalitik dalam menarik nyamuk lebih dapat dipercaya. Jumlah nyamuk yang diperoleh disini dimungkinkan karena lamanya waktu penyinaran UV yakni

selama 12 jam. Panas yang dihasilkan lampu UV karena lamanya waktu penyinaran mungkin saja menjadi daya tarik tersendiri bagi nyamuk. Nyamuk yang tertarik oleh adanya panas tersebut akan datang mendekat dan disedot oleh kipas. Ringkasnya, penyalaan lampu UV yang singkat pada panel yang tidak dilapisi fotokatalis tidak akan mendatangkan nyamuk ke alat.

#### 4.2.4 Uji Kemampuan Alat dalam Menangkap Nyamuk

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. Ringkasan peran masing-masing komponen utama di alat dapat dilihat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4. 1** Komponen Utama di Alat dan Perannya

<b>Komponen</b>	<b>Peran</b>
Panel	Untuk menempatkan fotokatalis
Lampu UV	Sebagai sumber foton agar terjadi reaksi fotokatalisis di panel
Panel + Lampu UV	Untuk mengkonsentrasikan nyamuk agar mendekat ke alat
Kipas	Untuk merangkap nyamuk dengan cara menarik nyamuk yang mendekat ke alat serta membuat nyamuk mati karena terdehidrasi

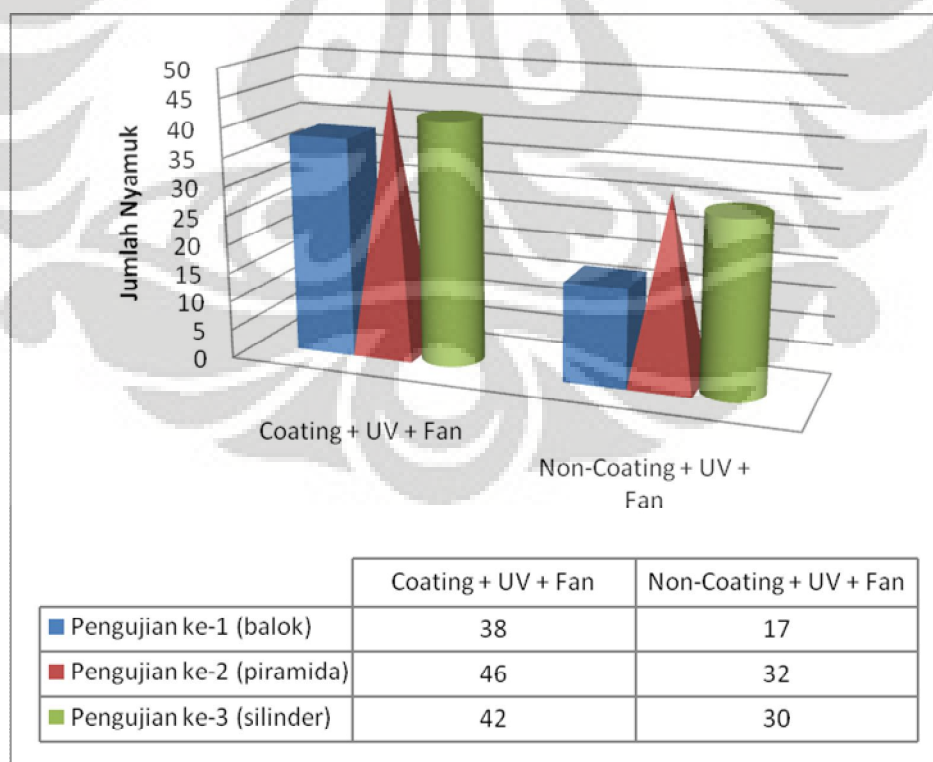
Pengujian selanjutnya dilakukan dengan tujuan untuk membandingkan keefektifan alat ini dalam menangkap nyamuk. Caranya adalah dengan membandingkan jumlah tangkapan nyamuk yang diperoleh untuk konfigurasi *Coating+UV+Fan* dan *Non-Coating+UV+Fan*. Pengujian dilakukan di dua tempat berbeda yaitu di garasi rumah dan di kebun. Musim saat dilakukan pengujian di garasi rumah adalah musim kemarau dan tidak pernah ada hujan sama sekali. Sebaliknya, musim saat dilakukan pengujian di kebun adalah musim hujan, dimana ada cuaca yang tidak hujan atau cerah dan ada cuaca yang mendung dan hujan. Pengujian di garasi rumah dan di kebun dilakukan sebanyak tiga kali dan dua kali untuk masing-masing konfigurasi. 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 dilanjutkan dengan pengujian ke-2 untuk konfigurasi *Non-Coating+UV+Fan*, disusul dengan pengujian ke-2 untuk konfigurasi *Non-Coating+Non-UV+Fan* pada hari berikutnya. Terakhir dilakukan pengujian ke-3 untuk masing-masing konfigurasi. Gambar 4.5 adalah salah satu contoh gambar nyamuk yang berhasil diperoleh. Nyamuk-nyamuk ini ditemukan dalam kondisi kering setelah beberapa jam terperangkap di dalam alat ini.



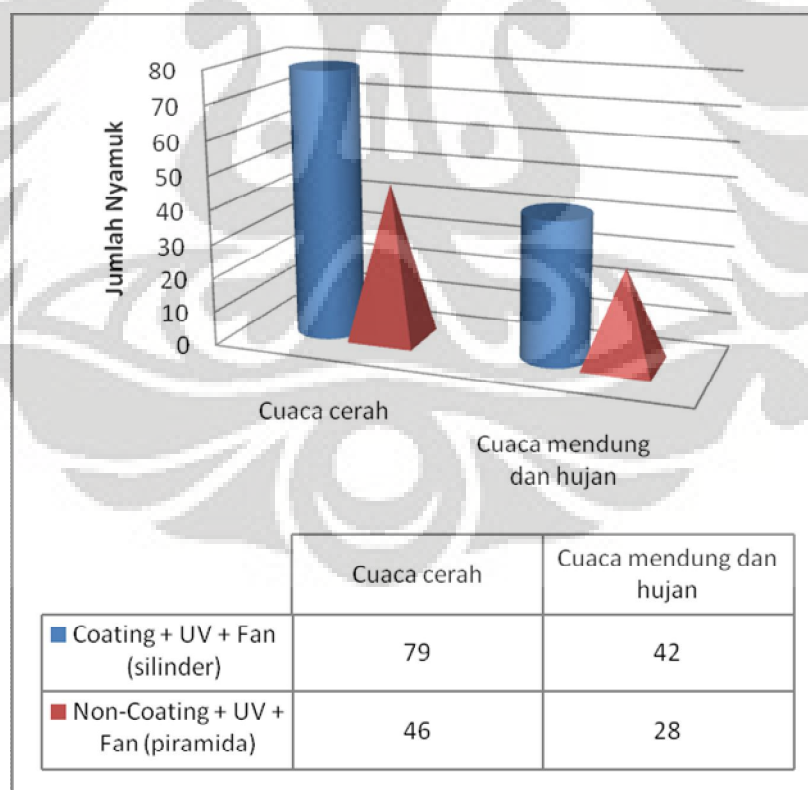
**Gambar 4. 5** Nyamuk yang Telah Mati karena Dehidrasi

Gambar 4.6 yang menunjukkan hasil pengujian kinerja alat dalam menangkap nyamuk berikut.



**Gambar 4. 6** Hasil Penangkapan Nyamuk di Garasi Rumah (t =12 jam)

Pengujian yang dilakukan di garasi rumah untuk panel yang dilapisi fotokatalis selama tiga kali pengujian menunjukkan jumlah nyamuk minimum dan jumlah maksimum yang diperoleh adalah 38 dan 46. Pada panel yang tidak dilapisi fotokatalis selama tiga kali pengujian menunjukkan jumlah nyamuk minimum dan jumlah maksimum yang diperoleh adalah 17 dan 32. Jumlah maksimum untuk panel yang tidak dilapisi fotokatalis berada di bawah titik minimum jumlah nyamuk yang diperoleh untuk panel yang dilapisi fotokatalis. Artinya proses fotokatalisis yang ada di alat ini selalu lebih unggul untuk menangkap nyamuk yang ada jika dibandingkan dengan mengandalkan lampu UV saja. Untuk memastikan kesimpulan awal terhadap kinerja proses fotokatalitik dalam menangkap nyamuk, peneliti menguji alat ini di tempat lain yakni di kebun yang diasumsikan lebih banyak nyamuknya. Kondisi ketika pengujian ini dilakukan adalah pada musim hujan dan dengan menggunakan panel  $\text{TiO}_2\text{-AC}$ . Pada musim tersebut terdapat dua cuaca yang berbeda pula yaitu cuaca cerah dan cuaca mendung. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut:



**Gambar 4. 7** Hasil Penangkapan Nyamuk di Kebun (t=12 jam)

Pada cuaca yang cerah, alat dengan panel yang dilapisi fotokatalis mampu menangkap nyamuk lebih banyak dibandingkan dengan yang tidak dilapisi fotokatalis. Kecenderungan ini juga terjadi untuk cuaca yang mendung dan hujan. Hasil ini mendukung hasil yang diperoleh pada pengujian di garasi rumah.

Kesemua hasil ini menunjukkan bahwa alat yang panelnya dilapisi oleh fotokatalis lebih efektif dalam menangkap nyamuk dibandingkan alat yang tidak memiliki lapisan fotokatalis pada panel. Ketertarikan nyamuk terhadap proses fotokatalisis yang terjadi dapat dianalisa melalui mekanisme fotokatalisis.

Cahaya UV-A, dengan panjang gelombang 365 nm, akan mengaktifkan  $TiO_2$  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. Peristiwa rekombinasi ini mendominasi di dalam mekanisme fotokatalisis (Gunlazuardi, 2001). Energi yang dilepaskan pada proses rekombinasi dapat berupa cahaya (rekombinasi radiatif) atau panas (rekombinasi non-radiatif) (*Generation/ Recombination, 2000*). Nyamuk yang mendekat 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.*).

Elektron pada pita valensi yang berhasil berpindah ke pita konduksi akan meninggalkan lubang di pita konduksi. Lubang yang terbentuk ini akan bereaksi dengan uap air di udara membentuk radikal hidroksil ( $\bullet OH$ ), sedangkan elektron akan bereaksi dengan molekul oksigen membentuk radikal anion supeoksida ( $\bullet O_2^-$ ) (Vohra et al., 2006). Jika terdapat spesi organik di suatu ruangan tempat alat diletakkan maka radikal-radikal sangat reaktif yang terbentuk akan bekerja sama dalam mengoksidasi secara sempurna spesi organik (Vohra et al., 2006). Fotokatalisis mampu mendegrasi berbagai polutan organik udara dalam ruangan menjadi karbondioksida dan air (Furman et al., 2007). Produk karbondioksida yang dihasilkan dari fotokatalisis akan menjadi daya tarik bagi nyamuk untuk

mendekat ke alat (*Why Mosquitos*, n.d. ; Reeves, 1953 ; Wu, 2000). Baik panas yang dihasilkan dari peristiwa dan rekombinasi dan juga karbondioksida yang dihasilkan jika ada senyawa organik yang didegradasi akan menjadi penarik nyamuk untuk mendekati alat ini.

Dalam waktu pengujian yang relatif lama ini (12 jam) nyamuk juga tertarik ke dalam prototipe alat yang tidak dilapisi fotokatalis dan lampu UV-nya tetap menyala. Ketertarikan nyamuk ke prototipe alat disebabkan oleh panas yang dihasilkan oleh lampu UV setelah lama dinyalakan sehingga nyamuk terkelabui dan masuk ke dalam perangkap. Namun, jumlah nyamuk yang terperangkap dengan konfigurasi panel yang dilapisi fotokatalis (baik  $\text{TiO}_2$  saja maupun  $\text{TiO}_2\text{-AC}$ ) dan lampu UV dinyalakan terbukti jauh lebih efektif karena  $\text{CO}_2$  yang dihasilkan oleh reaksi fotokatalis di permukaan akan menambahkan daya pikat nyamuk terhadap alat ini. Oleh karenanya, perpaduan antara fotokatalis di panel aluminium, lampu UV, dan gaya sedot kipas akan sangat efektif dalam merangkap nyamuk. Namun, satu hal yang perlu diperhatikan disini bahwa kinerja alat ini juga dipengaruhi oleh tempat alat diletakkan dan juga kondisi cuaca pada waktu itu. Jika diletakkan di tempat yang banyak nyamuk maka alat ini akan menangkap banyak nyamuk, dengan catatan kondisi cuaca juga mendukung. Jika kondisinya hujan terus menerus dapat dipastikan bahwa jumlah nyamuk yang diperoleh akan semakin sedikit. Dengan demikian jelaslah bahwa, alat yang disertai dengan panel berlapis fotokatalis lebih efektif dalam menangkap nyamuk.

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

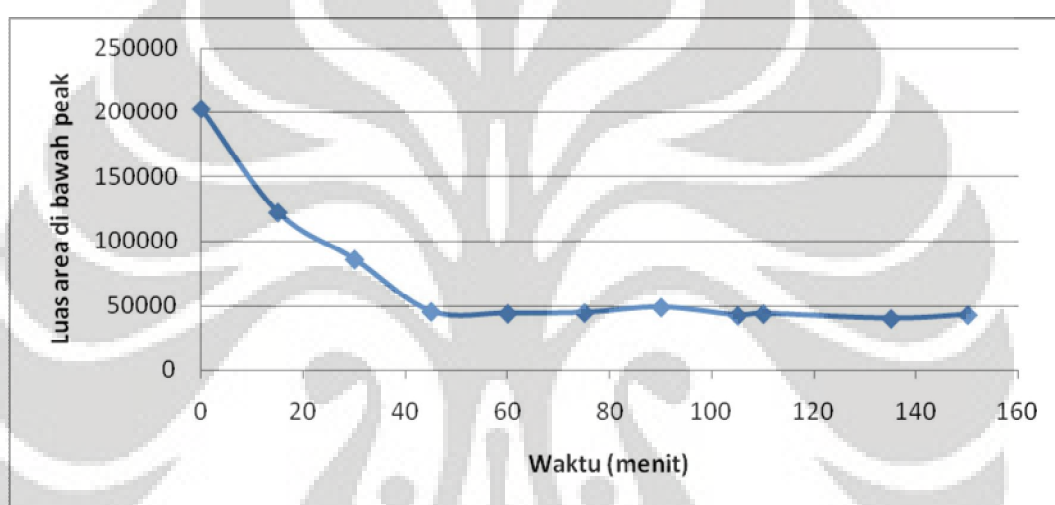
#### **4.3.1 Uji Blangko dan Uji Kebocoran Reaktor**

Uji ini dilakukan untuk memastikan bahwa penurunan luas area di bawah peak saat uji degradasi gas toluena dan asetaldehida disebabkan oleh reaksi fotokatalitik. Pada reaktor dimasukkan panel yang dilapisi fotokatalis dan reaktor diisolasi agar tidak bocor.

Pada uji blangko ini, diperoleh hasil yang dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan data dapat dilihat di Lampiran 2. Dari hasil ini dapat jelas terlihat bahwa sesaat setelah penginjeksian gas toluena ke dalam reaktor ( $t = 0$  menit) sampai  $t = 45$  menit, distribusi gas belum homogen. Artinya gas toluena memerlukan waktu



untuk berdistribusi di dalam reaktor. Setelah homogen, maka konsentrasi gas toluena 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. 8** Hasil Uji Blangko dan Kebocoran Reaktor Menggunakan Gas Toluena

#### 4.3.2 Uji Degradasi Gas Toluena dan Asetaldehida

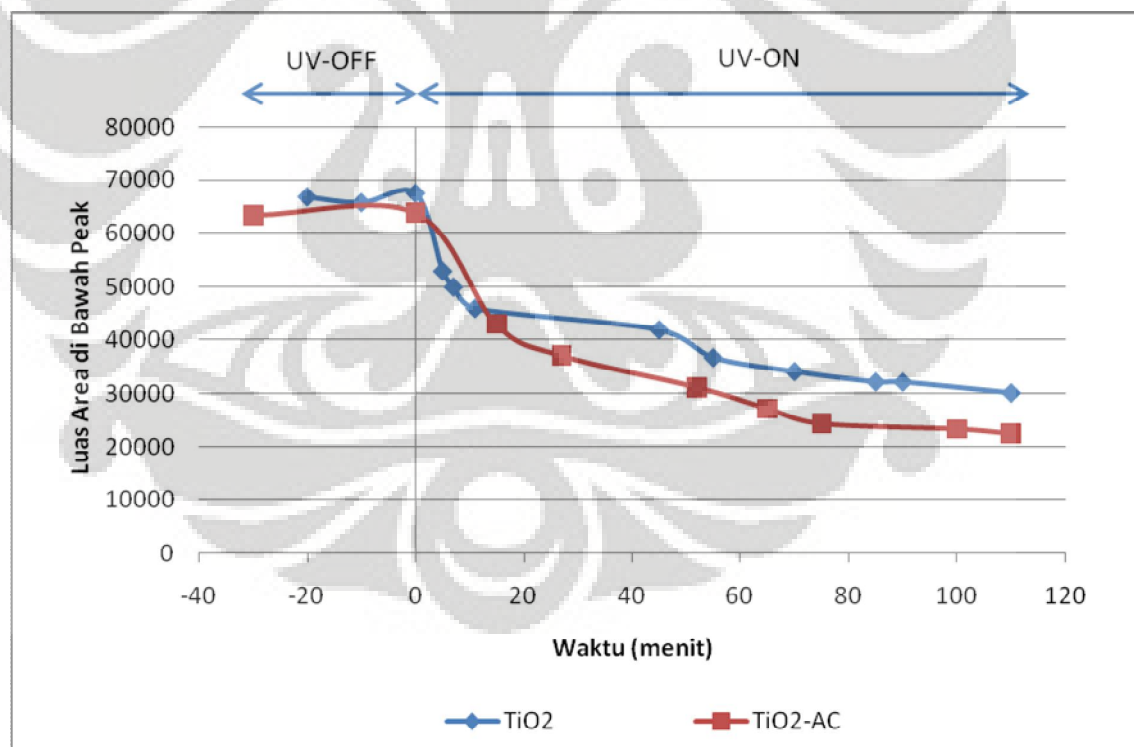
Percobaan ini dimaksudkan untuk melihat kemampuan alat untuk mendegradasi gas. Asetaldehida dan toluena dipilih sebagai model polutan udara karena kemudahannya untuk menguap dan juga merupakan polutan yang sering ditemukan di udara ruang. Dengan tekanan uap yang relatif rendah, maka pengambilan sampel 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 karbon aktif dan dengan panel aluminium dengan katalis  $\text{TiO}_2$  dan karbon aktif.

Setiap pengujian degradasi gas toluena dan asetaldehida dilakukan dengan mengisolasi reaktor terlebih dahulu. Gas yang akan didegradasi kemudian

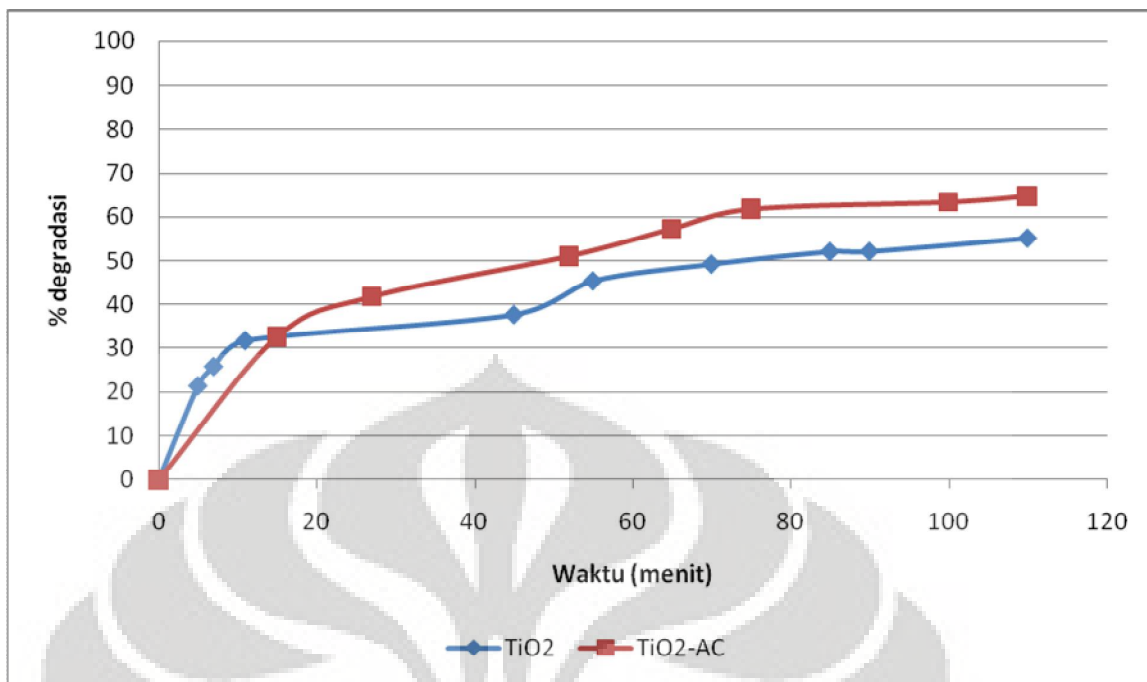


diinjeksikan ke dalam reaktor dalam kondisi lampu UV yang tidak menyala. Konsentrasi gas setiap waktu kemudian diamati sampai luas area di bawah peak-nya tetap selama selang waktu 20-30 menit. Saat lampu UV dinyalakan, maka waktu  $t=0$  menit untuk uji degradasi gas mulai dihitung.

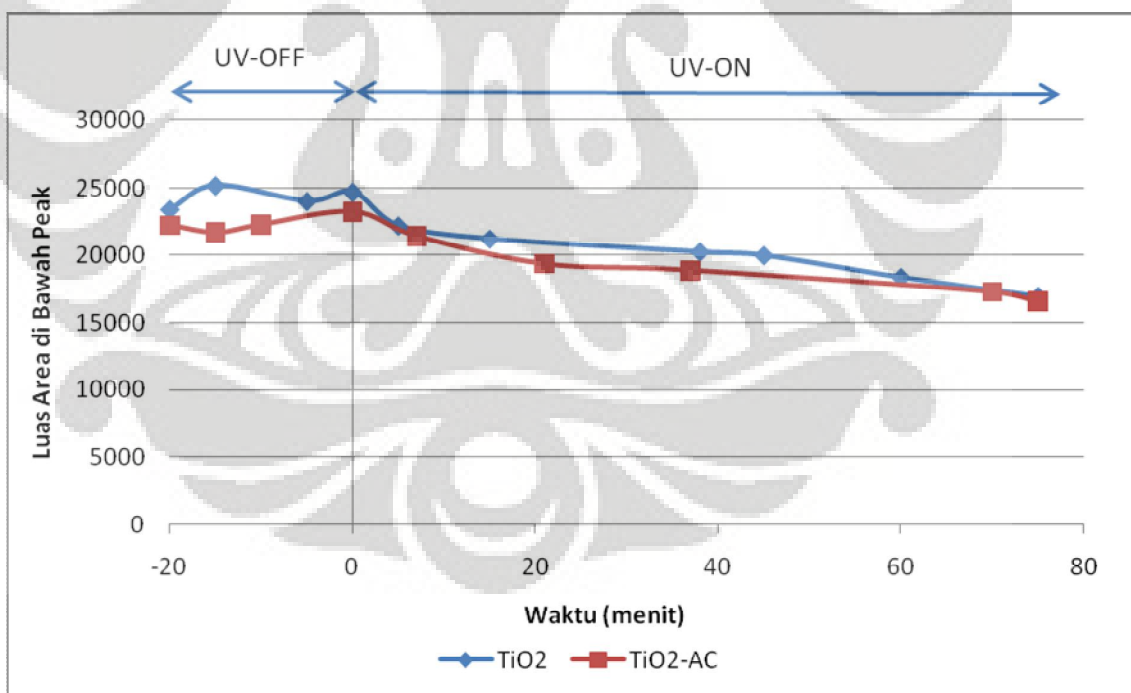
Pada uji degradasi toluena, digunakan dua variabel konsentrasi awal gas sebelum didegradasi. Pengujian pertama adalah uji degradasi dengan konsentrasi awal toluena besar yakni dengan luas peak sekitar 63.000. Pada pengujian kedua dilakukan uji degradasi dengan konsentrasi awal toluena kecil yakni dengan luas peak sekitar 24.000. Hasil uji degradasi gas toluena dengan menggunakan panel  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{TiO}_2\text{-AC}$  dapat dilihat pada Gambar 4.9-4.12 berikut (data pengujian degradasi gas toluena dapat dilihat pada Lampiran 3). Gambar 4.9-4.10 menunjukkan hasil uji degradasi gas toluena dengan konsentrasi awal toluena besar. Gambar 4.11-4.12 menunjukkan hasil uji degradasi gas toluena dengan konsentrasi awal toluena kecil.



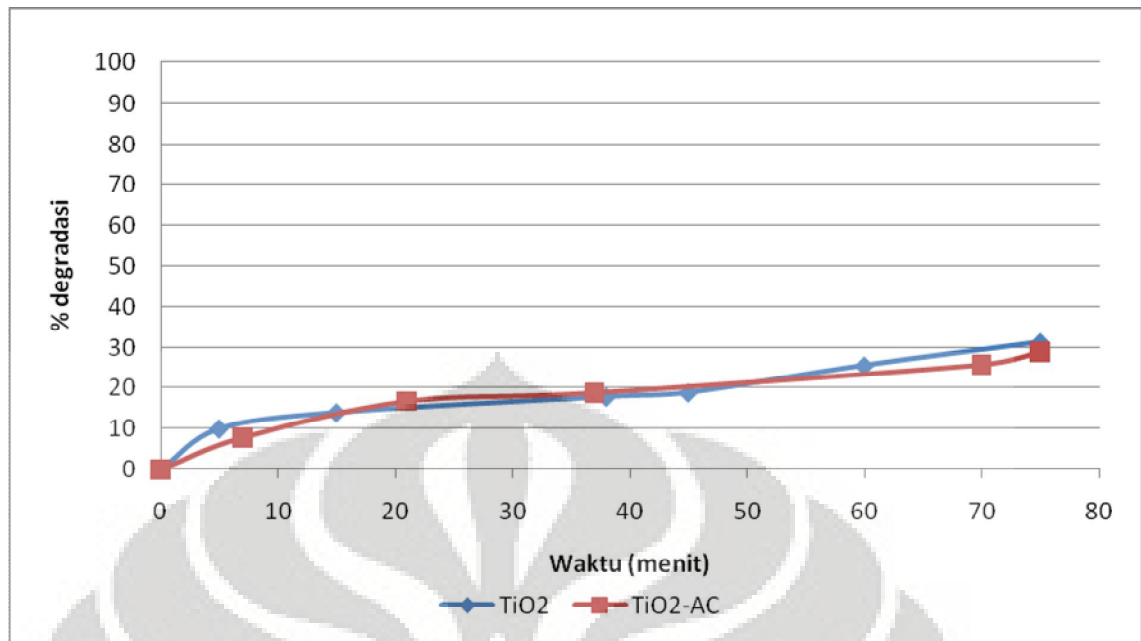
**Gambar 4. 9** Hasil Uji Degradasi Gas Toluena Konsentrasi Tinggi dengan Menggunakan Panel  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{TiO}_2\text{-AC}$



**Gambar 4.10** Perbandingan % Degradasi Gas Toluena Konsentrasi Tinggi dengan Menggunakan Panel TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub>-AC



**Gambar 4.11** Hasil Uji Degradasi Gas Toluena Konsentrasi Rendah dengan Menggunakan Panel TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub>-AC



**Gambar 4. 12** Perbandingan % Degradasi Gas Toluena Konsentrasi Rendah dengan Menggunakan Panel TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub>-AC

Hasil uji degradasi gas toluena menunjukkan adanya penurunan luas area di bawah peak untuk setiap waktu tertentu. Penurunan luas area ini akan sebanding dengan penurunan konsentrasi (Harris, 1995). Pada konsentrasi awal gas toluena yang tinggi, persen degradasi gas toluena untuk panel TiO<sub>2</sub>-AC relatif lebih tajam (sekitar 65% dari konsentrasi awal selama 110 menit) dibandingkan jika hanya menggunakan panel TiO<sub>2</sub> saja (sekitar 55% dari konsentrasi awal selama 110 menit). Hasil ini menunjukkan peran karbon aktif yang dapat meningkatkan degradasi toluena pada konsentrasi tinggi sebesar 10%. Pada konsentrasi awal gas toluena yang rendah, persen degradasi gas toluena untuk panel TiO<sub>2</sub>-AC (sekitar 29% dari konsentrasi awal selama 75 menit) hampir sama dengan persen degradasi gas toluena untuk panel TiO<sub>2</sub> saja (sekitar 31% dari konsentrasi awal selama 75 menit). Hasil ini sangat mungkin dipengaruhi oleh konsentrasi awal masing-masing kondisi. Luas awal area di bawah peak untuk TiO<sub>2</sub>-AC adalah sekitar 63.000, sedangkan untuk panel TiO<sub>2</sub> sekitar 24.000. Hasil ini didukung oleh penelitian lain yang menyatakan bahwa adanya perbedaan konsentrasi awal polutan menyebabkan terjadinya perbedaan pada laju reaksinya (Zhao dan Yang, 2003). Secara umum, laju reaksi akan semakin meningkat dengan meningkatnya konsentrasi awal.

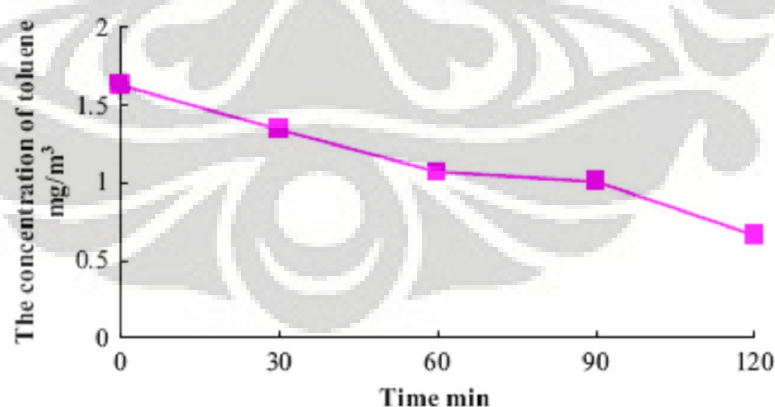
Dari grafik-grafik diatas juga terlihat bahwa penggunaan kombinasi TiO<sub>2</sub> dan karbon aktif pada toluena konsentrasi tinggi dapat bekerja lebih efektif dibandingkan dengan penggunaan fotokatalis TiO<sub>2</sub> saja. Hasil ini sesuai dengan percobaan yang dilakukan oleh Ao dan Lee (2003) dan Sun et. Al (2007). Pada penelitian yang dilakukan Sun (2007), karbon aktif memiliki kapasitas adsorpsi yang sangat baik untuk toluena. Kapasitas ini mungkin menurun akibat adanya deposisi TiO<sub>2</sub> (Sun, 2007). Pada kandungan 15% karbon aktif, TiO<sub>2</sub> tidak membentuk konglomerasi, tetapi hanya teradsorpsi di permukaan partikel TiO<sub>2</sub> (Arana, 2003). Penggunaan TiO<sub>2</sub>-AC tidak hanya meningkatkan efisiensi penghilangan target polutan udara tetapi juga mengurangi jumlah *intermediate* yang ada di sistem ini (Ao dan Lee, 2005).

Dalam uji degradasi toluena ini, penurunan luas area di bawah peak disebabkan oleh terdekomposisinya toluena menjadi senyawa lain. Senyawa lain ini dapat berupa senyawa *intermediate* (proses konversi) ataupun produk akhir berupa CO<sub>2</sub> (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 benzaldehyda (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).

Seiring dengan berjalannya waktu, percobaan dengan menggunakan panel TiO<sub>2</sub> saja menghasilkan penurunan konsentrasi toluena yang sangat kecil. Ini mungkin terjadi akibat deaktivasi katalis yang terjadi karena *intermediate* yang terbentuk seperti benzaldehida yang teradsorpsi lebih kuat ke permukaan. Benzaldehida lebih sulit dioksidasi daripada asam benzoat dan perubahan benzaldehida ke asam benzoat merupakan proses yang terlama selama proses oksidasi fotokatalitik terhadap toluena. Oleh karenanya, benzaldehida bertanggung jawab atas deaktivasi fotokatalis dalam sistem *gas-solid* (Guo et al., 2008).

Sebaliknya seiring dengan berjalannya waktu, percobaan dengan menggunakan panel TiO<sub>2</sub>-AC pada toluena konsentrasi tinggi hanya menurun sedikit pada menit ke-75 sampai menit ke-100, dan kecenderungan turun pada menit berikutnya lebih besar. Pola ini sesuai dengan percobaan yang dilakukan Sun et al. (2007) yang dapat dilihat pada Gambar 4.13 berikut.

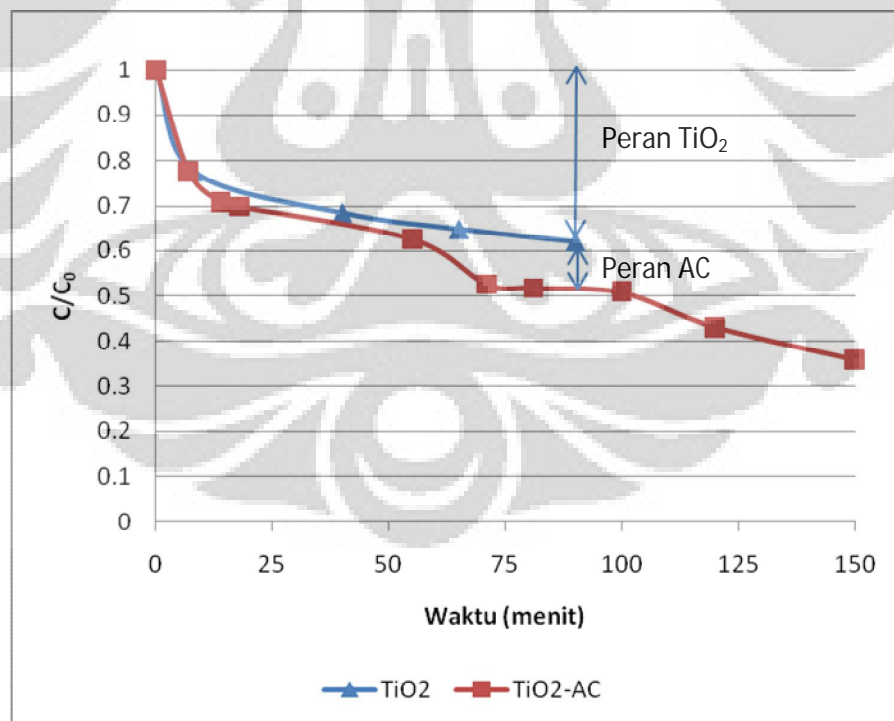


**Gambar 4. 13** Hasil Pengujian Dekomposisi Toluena dengan ACF/ TiO<sub>2</sub>/ UV (Sun et al, 2007)

Pada kondisi luas area di bawah peak yang hanya menurun sedikit, dianalisa bahwa masih terjadi proses perubahan senyawa *intermediate* menjadi produk

akhir (mineralisasi). Pada tahap ini permukaan katalis masih dipenuhi oleh senyawa *intermediate* yang terikat lebih kuat dari toluena. Setelah proses mineralisasi terjadi, maka sisa toluena akan terikat ke permukaan katalis dan segera didekomposisi kembali. Penurunan pun akan relatif lebih tinggi dibanding pada menit ke-75 sampai menit ke-100. Hal ini disebabkan oleh *intermediate* yang terbentuk akan teradsorpsi oleh karbon aktif yang selanjutnya akan dioksidasi oleh fotokatalis. Adsorben karbon aktif pun akan diregenerasi secara insitu oleh fotokatalis sehingga proses degradasi polutan akan lebih efektif lagi (Matsuoka dan Anpo, 2003 ; Takeda et al., 1995; Torimoto et al., 1996; Yoneyama dan Torimoto, 2000).

Percobaan degradasi juga dilakukan pada panel  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{TiO}_2\text{-AC}$  dengan menggunakan gas asetaldehida (data pengujian degradasi gas toluena dapat dilihat pada Lampiran 4). Konsentrasi awal gas asetaldehida pada kedua percobaan tidak jauh berbeda sehingga kita dapat membuat grafik  $C/C_0$  terhadap waktu untuk kedua panel. Gambar 4.14 berikut adalah grafik perbandingan uji degradasi gas asetaldehida dengan menggunakan panel  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{TiO}_2\text{-AC}$ .



**Gambar 4. 14** Perbandingan  $C/C_0$  vs Waktu untuk Degradasi Asetaldehida



Melalui grafik perbandingan diatas, kita dapat melihat bahwa penurunan luas peak sampai sekitar  $t = 50$  menit memiliki nilai yang hampir serupa walaupun panel dengan karbon aktif sedikit lebih cepat menurunkan luas peak. Dari grafik, kita juga dapat melihat peran karbon aktif dalam mempercepat proses degradasi gas asetaldehida. Pada menit ke-90, persen degradasi untuk  $\text{TiO}_2$  sebesar 38% sedangkan, untuk  $\text{TiO}_2\text{-AC}$  sebesar 48%. Jika waktu pengambilan data untuk panel  $\text{TiO}_2\text{-AC}$  diteruskan maka penurunan luas area di bawah peak diperkirakan akan cenderung lebih tajam dibanding jika hanya menggunakan panel  $\text{TiO}_2$  saja. Ini berarti dengan adanya penambahan karbon aktif, degradasi polutan udara akan lebih efisien. Hal ini dapat terjadi karena karbon aktif yang bersifat sebagai adsorben yang mampu meningkatkan konsentrasi senyawa yang akan didegradasi pada sekitar ruang  $\text{TiO}_2$  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). Pada waktu penyalaan lampu UV yang sangat singkat ke permukaan fotokatalis  $\text{TiO}_2$ , maka kemungkinan senyawa *intermediates* ini akan tetap ada. Namun, karena waktu pengamatan selama 90 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  $\text{CO}_2$  yang dihasilkan oleh oksidasi asam formiat akan berbeda dengan  $\text{CO}_2$  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>-AC di menit ke-100 sampai ke-150 mungkin terjadi karena 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 akan penurunan konsentrasi akan cenderung kecil karena semakin banyaknya uap air yang terbentuk maka laju degradasi polutan akan menurun pula.

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. Hal ini didukung pula oleh hasil penelitian Ao dan Lee (2004) yang menyatakan bahwa penggunaan TiO<sub>2</sub> dengan penambahan adsorben seperti karbon aktif mampu menghilangkan polutan BTEX (benzene, toluena, ethylene, xylene) pada orde ppb di tengah kondisi dengan kelembaban yang tinggi sekalipun. Senyawa-senyawa BTEX juga merupakan contoh senyawa yang tergolong VOC. Tanpa adanya karbon aktif, maka pada kondisi kelembaban yang tinggi uap air akan berkompetisi dengan tempat aktif adsorpsi TiO<sub>2</sub> sehingga laju degradasi menurun (Ao dan Lee, 2003). Karbon aktif pada kondisi kelembaban tinggi lebih berfungsi untuk mengurangi efek kompetisi antara polutan dan uap air dibandingkan mengurangi efek kompetisi antar polutan (Ao dan Lee, 2004). Oleh karenanya, alat ini sangat cocok jika digunakan di dalam ruangan di negara berkelembaban tinggi seperti Indonesia.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya, diperoleh beberapa kesimpulan, yaitu:

- Proses fotokatalisis pada alat ini terbukti dapat menjadi daya tarik nyamuk ke alat perangkap nyamuk.
- Perpaduan antara fotokatalis di panel aluminium, lampu UV, dan gaya sedot kipas jauh lebih efektif dalam menangkap nyamuk jika dibandingkan dengan panel yang tidak dilapisi fotokatalis.
- Kinerja alat perangkap nyamuk dipengaruhi oleh tempat alat diletakkan dan juga kondisi cuaca saat alat dinyalakan.
- Selain berfungsi untuk menangkap nyamuk, alat perangkap nyamuk yang dikonstruksi juga dapat berfungsi sebagai alat purifikasi udara.
- Pada konsentrasi rendah, panel yang dilapisi kombinasi  $\text{TiO}_2$  dan 15% AC dalam mendegradasi toluena memiliki keefektifan yang hampir sama dengan panel berlapis  $\text{TiO}_2$  saja.  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{TiO}_2$ -AC masing-masing memiliki persen degradasi 31% dan 29% pada menit ke-75 sejak penyalaan lampu UV.
- Pada konsentrasi tinggi, panel yang dilapisi kombinasi  $\text{TiO}_2$  dan 15% AC jauh lebih efektif dalam mendegradasi toluena dibandingkan dengan panel berlapis  $\text{TiO}_2$ .  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{TiO}_2$ -AC masing-masing memiliki persen degradasi 55% dan 65% pada menit ke-110 sejak penyalaan lampu UV.
- Pada konsentrasi tinggi, panel yang dilapisi kombinasi  $\text{TiO}_2$  dan 15% AC jauh lebih efektif dalam mendegradasi asetaldehida dibandingkan dengan panel berlapis  $\text{TiO}_2$ .  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{TiO}_2$ -AC masing-masing memiliki persen degradasi 38% dan 48% pada menit ke-90 sejak penyalaan lampu UV.

## DAFTAR REFERENSI

- Allen, N.S., Edge, M., Verran, J., Stratton, J., Maltby, J. dan Bygott, C.(2008). Photocatalytic titania based surfaces: Enviromental benefits. *Polym Degrad Stab*, 93.Pp.1632-1646.
- Anonim.(2000). *Generation/ Recombination* [online]. Available from: [http://www.doe.carleton.ca/~tjs/475\\_pdf\\_02/snew17.pdf](http://www.doe.carleton.ca/~tjs/475_pdf_02/snew17.pdf) [Accessed 13:12:08].
- Anonim.(2005).*Waspada! Polusi Dalam Ruang!* [online]. Available from: <http://www.kompas.com/kesehatan/news/0505/29/210803.htm>[Accessed 19:04:08].
- Anonim.(2008).*Activated Carbon* [online]. Available from: [http://en.wikipedia.org/wiki/Activated\\_carbon](http://en.wikipedia.org/wiki/Activated_carbon) [Accessed 17:05:08].
- Anonim. (2007).*Nanomaterial based catalyst* [online]. Available from: <http://wikipedia.com> [Accessed 13:04:08].
- Anonim.(2008). *Fogging Tak Efektif Berantas DBD* [online]. Available from: <http://www.kompas.com/index.php/read/xml/2008/05/17/15584879/fogging.tak.efektif.berantas.dbd> [Accessed 19:05:08].
- Anonim.(2008). *Mosquito* [online]. Available from: <http://en.wikipedia.org/wiki/Mosquito> [Accessed 19:04:08].
- Anonim.(n.d.). *Why Mosquitos Are Attracted to Humans* [online]. Available from: <http://mosquito-trap.wowshopper.com/html-pages/service-product-about-mosquitos.htm> [Accessed 13:12:08].
- Anonim.(n.d.). *TiO<sub>2</sub> Mosquito Trap* [online]. Available from: <http://mosquitowhacker.com/tio2/> [Accessed 30:12:08].
- Ao, C.H dan Lee, S.C.(2003). Enhancement effect of TiO<sub>2</sub> immobilized on activated carbon filter for the photodegradation of pollutants at typical indoor air level. *Appl. Catal. B: Environ.*, 44.Pp.191-205.
- 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.
- Araña, J., Rodríguez, J.M.D., Rendón, E.T., Cabo, C.G.i., Díaz, O.G., Melián, J.A.H., Peña, J.P., Cólón, G. dan Navío, J.A.(2003).TiO<sub>2</sub> activation by using activated carbon as a support Part I. Surface characterisation and decantability study. *Appl. Catal. B: Environ.*, 44.Pp.161-172.
- Barry, E.F. dan Grob, R.L.(2004). *Modern Practice of Gas Chromatography, Fourth Edition*. Massachusetts: John Wiley & Sons, Inc.
- Bhatkhande, D.S., Pangarkar, V.G. dan Beenackers, A.A.C.M.(2001). Photocatalytic degradation for environmental applications – a review. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 77. Pp.102-116.
- Bryne, J.A., Eggins, B.R., Brown, N.M.D., McKinney, B. dan Rouse, M.(1998). Immobilisation of TiO<sub>2</sub> powder for treatment of polluted water. *Appl. Catal. B: Environ.*, 17.Pp.25-36.
- Charles, K., Magee, R.J., Won, D., Luszyk, E.(2005). Indoor Air Quality Guidelines and Standards. Final Report – CMEIAQ-II: Consortium for Material Emission and IAQ Modelling II, National Research Council, Canada [online]. Available from: <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/rr/rr204/rr204.pdf> [Accessed 06:12:08]
- Chen, C.H. dan Hsu, W.C., 2006. *Multipurpose Mosquito Trap Lamp*. United states patent US 7036269 B1.
- Coulson, J.M. dan Richardson, J.F.(1997). *Chemical Engineering*, Vol.2. New York: Pergamon Press.
- Daniel.(2008). *Ketika Larva dan Nyamuk Dewasa Sudah Kebal Terhadap Insektisida* [online]. Available from: [http://www.majalahfarmacia.com/rubrik/one\\_news.asp?IDNews=643](http://www.majalahfarmacia.com/rubrik/one_news.asp?IDNews=643) [Accessed 19:04:08].
- Demeestere, K., Dewulf, J., Witte, B.D., Beeldens, A. dan Lanegnhve, 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.

- 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.
- Furman, M., Corbel, S., Gall, H.L., Zahraa, O. dan Bouchy, M. (2007). Influence of the geometry of a monolithic support on the efficiency of photocatalyst for air cleaning. *Chem. Eng. Sci.*, 62. Pp. 5312-5316.
- Gao, Y. dan Liu, H.(2005). Preparation and catalytic property study of a novel kind of suspended photocatalyst of TiO<sub>2</sub>-activated carbon immobilized on silicone rubber film. *Mater. Chem. Phys.*, 92. Pp.604-608.
- Gunlazuardi, J. (2001, Juni). *FOTOKATALISIS PADA PERMUKAAN TiO<sub>2</sub>: Aspek Fundamental dan Aplikasinya*. Makalah Seminar Nasional Kimia Fisika II.
- 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.
- Jones, A.P.(1999). Indoor air quality and health. *Atm. Environ.*, 33. Pp.4535-4564.
- Lin, C.K., 2007.*Solar Insect Killer and Catcher*. United states patent US 7308774 B2.

- Liu, X.S., Chen, X.Y. dan Chen. X. (2007). A TiO<sub>2</sub>/AC composite photocatalyst with high activity and easy separation prepared by a hydrothermal method. *J. Hazard. Mater.*, 143.Pp.257-263.
- 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 photocatalytical 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> [Accessed 19:05:08].
- Maron, S.H. dan Lando, J.B.(1974).*Fundamentals of Physical Chemistry*. New York:MacMillan.
- 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.
- Meier, M.C., Duston, T.D., Mineau, S.B., Keyel, R.E. dan Heathcock, J.A., 2006.*Flying Insect Trap*. United states patent US 7093389 B1.
- Meinzer, R.A. dan Birbara, P.J., 1997.*Photocatalytic Semiconductor Coating*. US Patent 5.593.737.
- Namiesnik, J., Gorecki, T., Kozdronzabiegala, B. dan Lukasiak, J. Indoor air-quality (IAQ), pollutants, their sources and concentration levels. *Build Environ.*, 27. Pp.339-356.
- 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.
- Oanh, N. T. K. dan Hung, T. T.(2005). *Handbook of Environmental Engineering, Volume 2: Advanced Air and Noise Pollution Control*. New Jersey: The Humana Press.

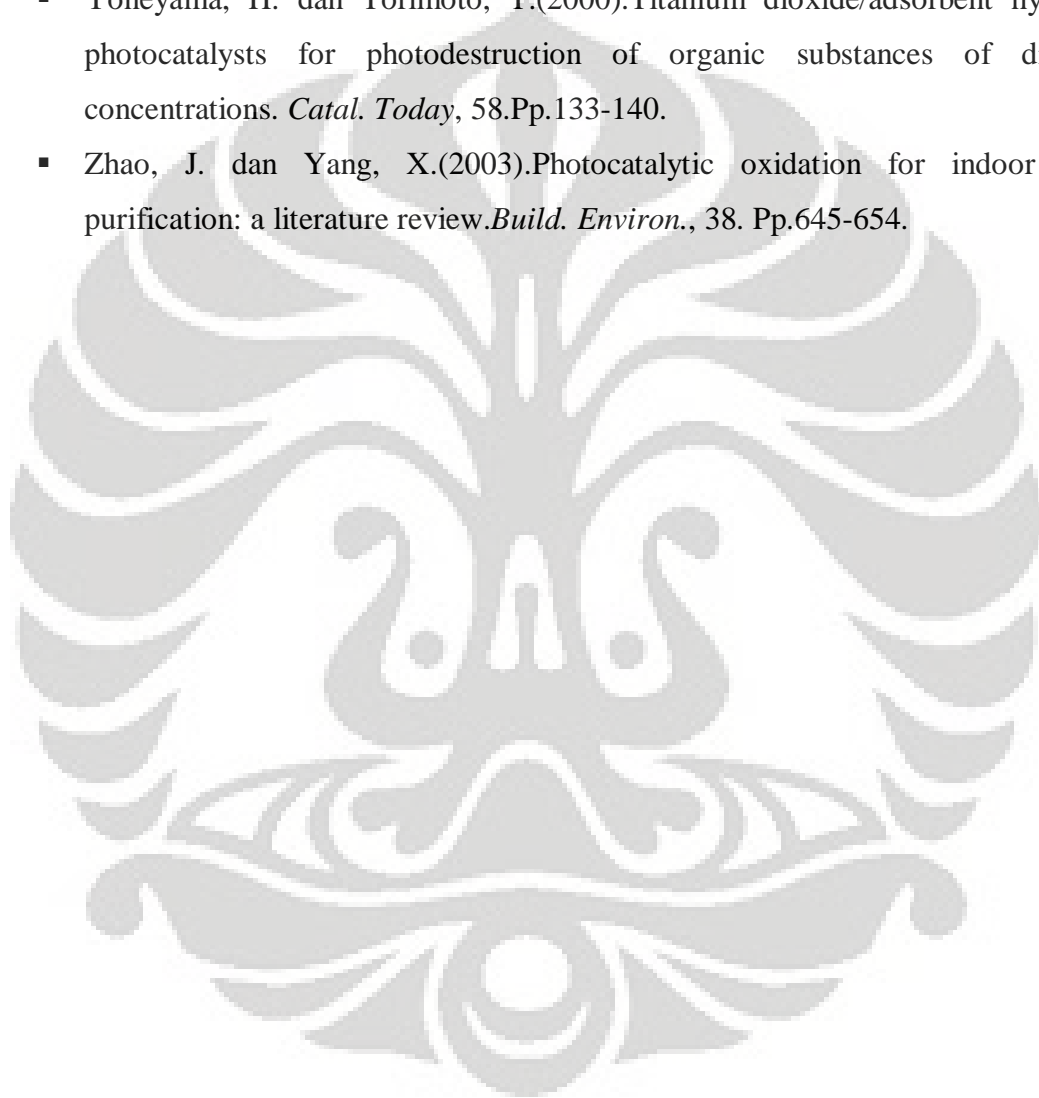


- Obuchi, E. Sakamoto, T. dan Nakano. K.(1999). Photocatalytic decomposition of acetaldehyde over TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> catalyst. *Chem. Eng. Sci.*, 54.Pp.1525-1530.
- Pusat Komunikasi Publik, Sekretariat Jenderal Departemen Kesehatan. (2008). *Melindungi Kesehatan Dari Dampak Perubahan Iklim* [online]. <http://www.depkes.go.id/index.php?option=news&task=viewarticle&sid=3072> [Accessed 01:05:08].
- 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.
- Sopyan, I., Watanabe, M., Murasawa, S., Hashimoto, K. dan Fujishima, A.(1996). A film-type photocatalyst incorporating highly active TiO<sub>2</sub> powder and fluoro-resin binder: photocatalytic activity and long-term stability. *J. Electroanal. Chem.*, 415.Pp.183-186.
- 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.
- 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.
- Sun, R.B., Xi, Z.G., Chao, F.H., Zhang, W., Zhang, H.S. dan Yang, D.F. (2007). Decomposition of low-concentration gas-phase toluene using plasma-driven photocatalyst reactor. *J. Atm. Environ.*, 41.Pp.6853-6859.
- 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.
- Taylor, L.R. dan Lambert, C.R. (2006). *Flying Insect Trap*. United states patent US 7143542 B2.



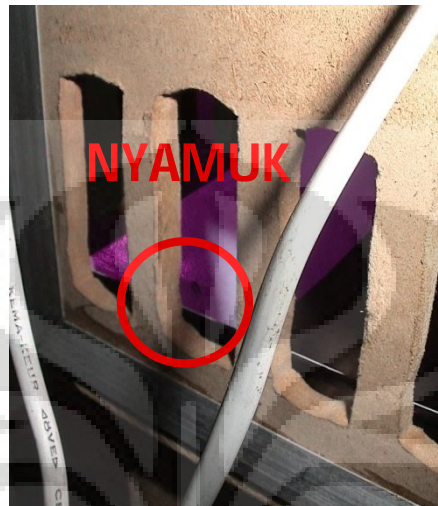
- Thiruvengkatahari, R., Vigneswaran, S. dan Moon, I.S.(2008). A review on UV/TiO<sub>2</sub> photocatalytic oxidation process. *Korean J. Chem. Eng.*, 25(1).Pp.64-72.
- Tomovska, M., Marinkovski, M. dan Frajgar, R.(2007). *Nanotechnology-Toxicological Issues and Enviromental Safety*. Netherland: Springer.
- Torimoto, T., Ito, S., Kuwabata, S., dan Yoneyama, H.(1996). Effects of adsorbent used as supports for titanium dioxide loading on photocatalytic degradation of propyzamide. *Environ. Sci. Technol.*, 30.Pp.1275-1281.
- US EPA.(1995). *The Inside Story: A Guide to Indoor Air Quality* [online]. Available from: <http://www.epa.gov/iaq/pubs/insidest.html> [Accessed 08:04:08].
- Uttiek.(2006). *Kenali Nyamuk di Sekitar Rumah* [online]. Available from: <http://www.mail-archive.com/ne@news.gramedia-majalah.com/msg01399.html> [Accessed 19:04:08].
- 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.
- Wahyuni,T.(2005). *Waspadai Efek Negatif Anti-Nyamuk!* [online]. Available from: <http://www.suarakarya-online.com/news>[Accessed 08:04:08].
- 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.
- Waty.(n.d.). *Medical Entomology* [online]. Available from: [http://www.geocities.com/kuliah\\_farm/parasitologi/insecta.doc](http://www.geocities.com/kuliah_farm/parasitologi/insecta.doc) [Accessed 19:04:08].
- World Health Organization (2000). Guidelines For Air Quality. Geneva
- 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;col1](http://findarticles.com/p/articles/mi_m1200/is_/ai_62111663?tag=artBody;col1) [Accessed 13:12:08]

- Yağşi, N.U.(2004). *Production and characterization of activated carbon from apricot stones* [online]. Available from:  
<http://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12604905/index.pdf> [Accessed 17:05:08].
- Yang, G.J., Li, C.J., Han, F., Li, W.Y. dan Ohmori, A. (2008). Low temperature deposition and characterization of TiO<sub>2</sub> photocatalytic film through cold spray. *Appl. Surf. Sci.*, 254. Pp.3979-3982.
- 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.
- Zhao, J. dan Yang, X.(2003).Photocatalytic oxidation for indoor air purification: a literature review.*Build. Environ.*, 38. Pp.645-654.



### Lampiran 1. Foto Pengamatan Peran Fotokatalis dan Lampu UV

Gambar (a)-(d) menunjukkan hasil pengamatan jika menggunakan panel berlapis fotokatalis.



(a)



(b)

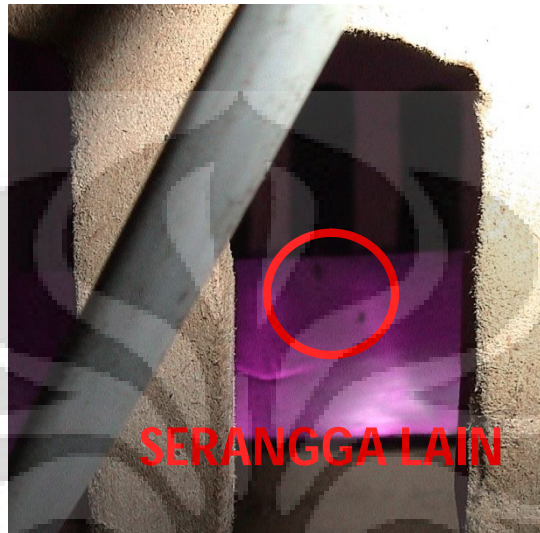


(c)



(d)

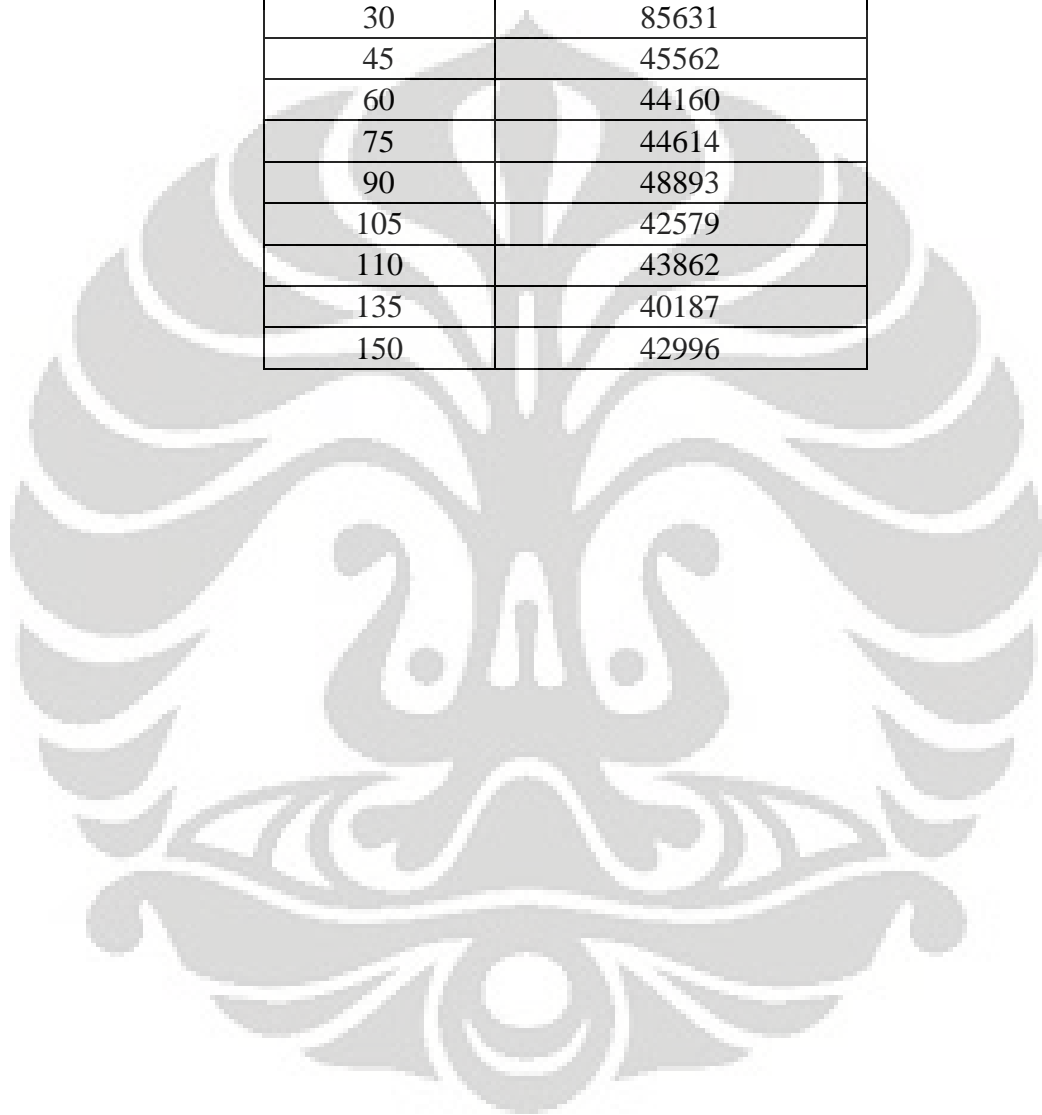
Gambar (e) menunjukkan hasil pengamatan jika menggunakan panel yang tidak berlapis fotokatalis.



(e)

**Lampiran 2. Data Uji Blangko Gas Toluena**

<b>Waktu (menit)</b>	<b>Luas area di bawah peak</b>
0	202580
15	121989
30	85631
45	45562
60	44160
75	44614
90	48893
105	42579
110	43862
135	40187
150	42996



### Lampiran 3. Data Uji Degradasi Toluena

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

Konsentrasi Rendah		Konsentrasi Tinggi	
Waktu (menit)	Luas Area di Bawah Peak	Waktu (menit)	Luas Area di Bawah Peak
-15	25186	-20	66801
-5	24039	-10	65759
0	24708	0	67492
5	22226	5	52976
15	21249	7	49996
38	20288	11	46009
45	20029	45	42006
60	18392	55	36819
75	16981	70	34228
90	16485	85	32297
110	16298	90	32273
		110	30237

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

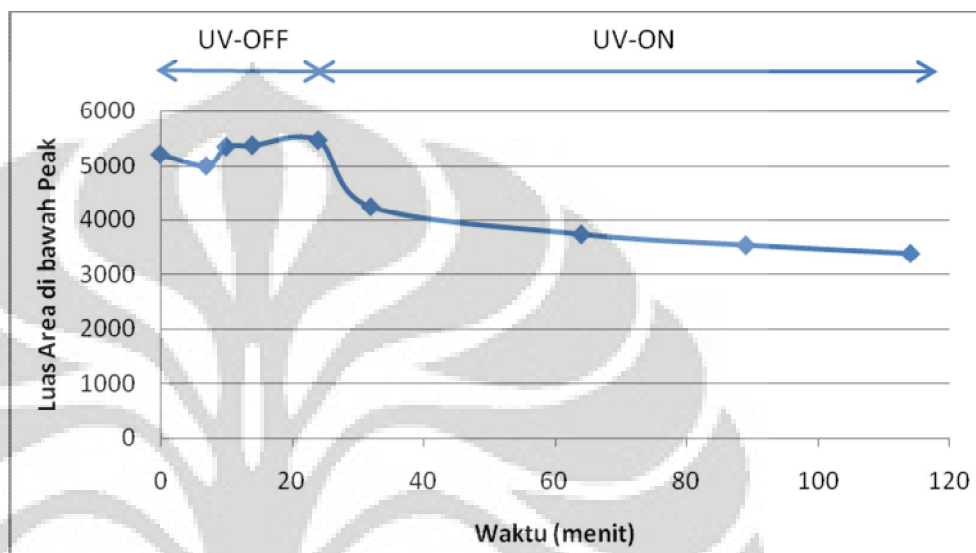
Konsentrasi Rendah		Konsentrasi Tinggi	
Waktu (menit)	Luas Area di Bawah Peak	Waktu (menit)	Luas Area di Bawah Peak
-30	63303	-30	63303
0	63785	0	63785
15	43002	15	43002
27	37150	27	37150
52	31238	52	31238
65	27268	65	27268
75	24431	75	24431
100	23407	100	23407
110	22530	110	22530



### Lampiran 4. Data Uji Degradasi Asetaldehida

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

Panel TiO <sub>2</sub>	
Waktu (menit)	Luas Area di Bawah Peak
-24	5201
-17	4988
-14	5341
-10	5367
0	5459
8	4237
40	3731
65	3534
90	3380



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

Panel TiO <sub>2</sub> - AC	
Waktu (menit)	Luas Area di Bawah Peak
-42	13764
-27	14671
-23	12051
-19	7252
-16	6859
0	7210
7	5596
14	5111
18	5035
55	4515
71	3793
81	3732
100	3659
120	3118

150

2599

