



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**REKAYASA FILM TiO<sub>2</sub> SUPER HIDROFILIK  
UNTUK KACA HELM ANTI KABUT**

**SKRIPSI**

**E. NUGRAHA WIGUNA**

**0806367866**

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



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**REKAYASA FILM TiO<sub>2</sub> SUPER HIDROFILIK  
UNTUK KACA HELM ANTI KABUT**

**SKRIPSI**

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

**E. NUGRAHA WIGUNA**

**0806367866**

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

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : E. Nugraha Wiguna

NPM : 0806367866

Tanda tangan : 

Tanggal : Juni 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : E. Nugraha Wiguna  
NPM : 0806367866  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul Skripsi : Rekayasa Film TiO<sub>2</sub> Super Hidrofilik Untuk Kaca Helm Anti Kabut

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr.Ir Slamet, MT

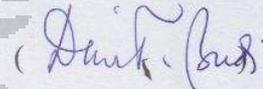
Ir. Dewi Tristantini, MT, Ph.D

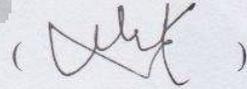
Penguji : Dr. Ir. Sukirno, M.Eng

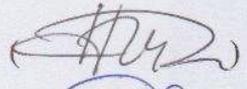
Bambang Herususanto, ST, MT

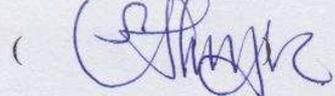
Dr. Ir. Asep Handaya Saputra, M.Eng

()

()

()

()

()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juni 2011

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT 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 ucapkan terima kasih kepada :

- 1) Prof. Dr. Ir Slamet, MT sebagai Pembimbing I dan Ir. Dewi Tristantini, MT. Ph.D sebagai Pembimbing II yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pemikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini,
- 2) Pihak Departemen Teknik Kimia yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh referensi
- 3) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan materil serta moril,
- 4) Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Juni 2011

Penulis

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

---

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

Nama : E. Nugraha Wiguna  
NPM : 0806367866  
Program Studi : Teknik Kimia  
Departemen : Teknik Kimia  
Fakultas : 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 Film TiO<sub>2</sub> Super Hidrofilik**

**Untuk Kaca Helm Anti Kabut**

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 tanpa meminta izin dari 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 : Juni 2011

Yang menyatakan



(E. Nugraha Wiguna)

## ABSTRAK

Nama : E. Nugraha Wiguna  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Rekayasa Film TiO<sub>2</sub> Super Hidrofilik Untuk Kaca Helm Anti Kabut

Kaca helm anti kabut telah berhasil dibuat dengan melapiskan sol titania yang ditambahkan TEOS dengan variasi tertentu. Pemanasan dilakukan pada temperatur 80°C selama 3 jam dengan metode pelapisan *spin coating*. Berdasarkan karakterisasi FTIR telah terbentuk ikatan Ti-O-Si yang dapat meningkatkan sifat hidrofilik pada film. Hasil uji kinerja sifat anti kabut, degradasi asam laktat, dan transparansi menunjukkan bahwa komposisi 70% mol TiO<sub>2</sub> yang terbaik. Penambahan dopan TEOS sebanyak 30% pada sol titania terbukti dapat meningkatkan sifat hidrofilik 3 kali lebih baik dibandingkan dengan TiO<sub>2</sub> murni. Aktifitas fotokatalisis pada film TiO<sub>2</sub> 70% dapat menurunkan konsentrasi asam laktat sebesar 47% selama 90 menit.

Kata kunci:  
film TiO<sub>2</sub>/TEOS, Hidrofilik, Kaca Helm

## ABSTRACT

Name : E Nugraha Wiguna  
Study Program : Chemical Engineering  
Title : Modification of TiO<sub>2</sub> Super Hydrophilic Film for Anti Fogging Helmet Shield

Anti-fog helmet shield has been created by superimposing the titania sol is added TEOS with certain variations. Heating is carried out at a temperature of 80°C for 3 hours with spin coating method of coating. Based on FTIR characterization of the bond has been formed Ti-O-Si that can increase the hydrophilic nature of the film. The results of performance test anti fog properties, degradation of lactic acid, and transparency showed that the composition of 70 mol% TiO<sub>2</sub> of the best. The addition of dopants TEOS as much as 30% on a titania sol is proven to increase the hydrophilic nature of 3 times better than pure TiO<sub>2</sub>. photocatalyst activity on 70% TiO<sub>2</sub> film can reduce the concentration of lactic acid by 47% for 90 minutes

Key Word :  
TiO<sub>2</sub>/TEOS film, Hydrophilic, Helmet Shield

# DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	v
ABSTRAK .....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 LATAR BELAKANG .....	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH .....	4
1.3 TUJUAN PENELITIAN .....	4
1.4 BATASAN MASALAH .....	4
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	6
2.1 SEMIKONDUKTOR TiO <sub>2</sub> .....	6
2.2 PRINSIP DASAR FOTOKATALISIS .....	10
2.3 FOTOKATALISIS BENTUK FILM.....	12
2.4 METODE SOL GEL.....	13
2.5 ADITIF PADA KATALIS TiO <sub>2</sub> .....	15
2.5.1 Aditif Tetra Etil Orto Silikat (TEOS) .....	16
2.6 HIDROFILISITAS TiO <sub>2</sub> .....	17
2.6.1 Pengukuran Sudut Kontak .....	19
2.7 MEKANISME SWA BERSIH .....	20
2.8 INDEKS BIAS .....	20
2.9 ULTRASONIKASI.....	21
2.10 METODE PELAPISAN <i>SPIN COATING</i> .....	22
2.11 POLIKARBONAT.....	23
2.12 KARAKTERISASI KATALIS.....	23
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	25
3.1 METODE PELAKSANAAN PENELITIAN .....	25
3.2 DIAGRAM ALIR PROSES.....	26
3.3 PERALATAN .....	26
3.3.1 Peralatan Sintesis Film TiO <sub>2</sub> .....	26
3.3.2 Peralatan Karakterisasi Katalis .....	26
3.3.3 Peralatan Uji Kinerja.....	27
3.4 BAHAN .....	27
3.5 PROSEDUR PENELITIAN.....	27
3.5.1 Sintesis Film <i>double layer</i> SiO <sub>2</sub> -TiO <sub>2</sub> /TEOS .....	27
3.5.1.1 Sintesis Sol SiO <sub>2</sub> .....	27

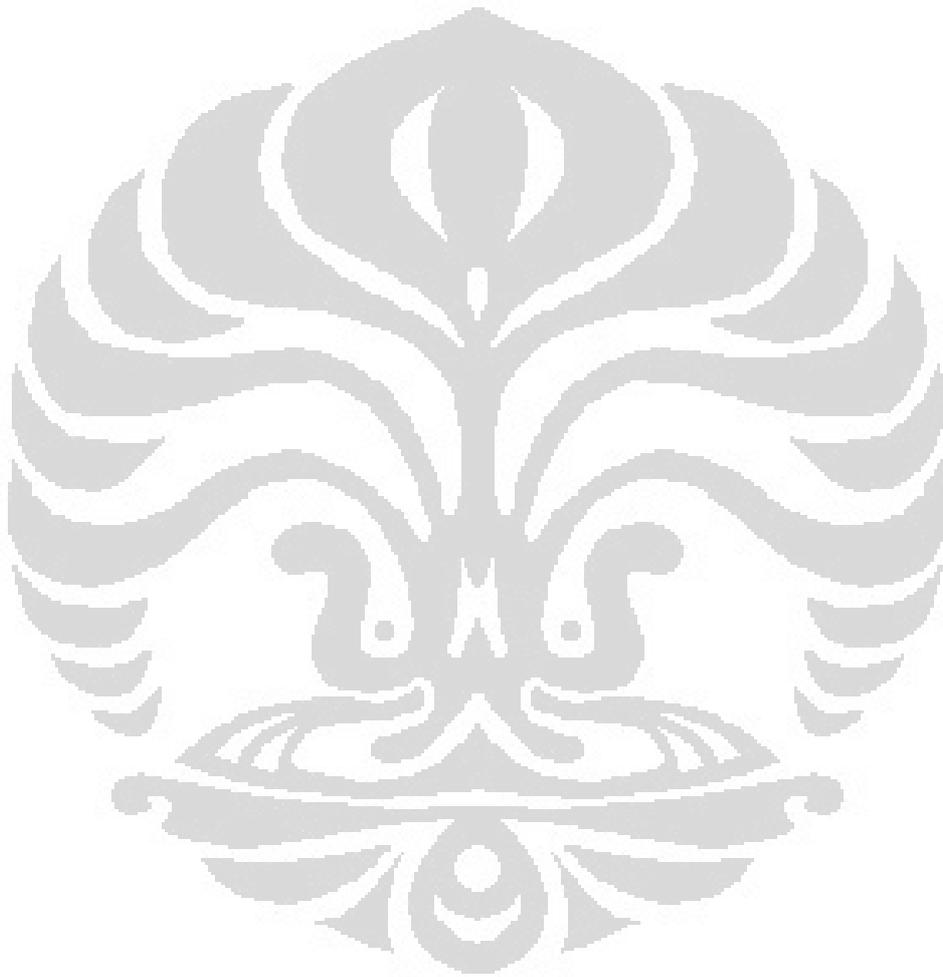
3.5.1.2	Pelapisan Sol SiO <sub>2</sub> Pada Polikarbonat .....	28
3.5.1.3	Sintesis Sol TiO <sub>2</sub> /TEOS .....	28
3.5.1.4	Pelapisan Sol TiO <sub>2</sub> /TEOS Pada Polikarbonat .....	29
3.5.2	Karakterisasi Katalis .....	30
3.5.3	Uji Kinerja Film TiO <sub>2</sub> .....	30
3.5.3.1	Uji Sifat Anti Kabut .....	30
3.5.3.2	Uji Degradasi Senyawa Organik .....	31
3.5.3.3	Uji Transparansi Film .....	32
3.5.3.4	Uji Swa Bersih .....	32
3.6	PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA .....	33
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
4.1	KARAKTERISASI FILM .....	34
4.2	UJI KINERJA FILM.....	35
4.2.1	Uji Sifat Anti Kabut .....	35
4.2.2	Transparansi Film.....	39
4.2.3	Uji Degradasi Senyawa Organik .....	42
4.3	UJI KUALITATIF .....	43
4.3.1	Uji Sifat Anti Kabut .....	43
4.3.2	Uji Swa Bersih .....	43
BAB 5	KESIMPULAN.....	46
	DAFTAR PUSTAKA .....	47

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Struktur kristal rutil	7
<b>Gambar 2.2</b>	Struktur kristal anatase	8
<b>Gambar 2.3</b>	Struktur kristal brookite	8
<b>Gambar 2.4</b>	Reaksi reduksi-oksidasi pada permukaan $\text{TiO}_2$	9
<b>Gambar 2.5</b>	Ilustrasi skematis proses fotoeksitasi dan deeksitasi pada suatu semikonduktor	11
<b>Gambar 2.6</b>	Reaksi hidrolisis dan kondensasi metode sol-gel	15
<b>Gambar 2.7</b>	Mekanisme hidrofilitas pada permukaan film komposit $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$	17
<b>Gambar 2.8</b>	Variasi berbagai sudut kontak antara air dan padatan	19
<b>Gambar 2.9</b>	Kavitasi akustik pada cairan yang mengandung padatan	22
<b>Gambar 2.10</b>	Skema alat FTIR	24
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram alir penelitian	26
<b>Gambar 3.2</b>	Pelapisan film $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$	27
<b>Gambar 3.3</b>	Diagram alir preparasi sol $\text{SiO}_2$	28
<b>Gambar 3.4</b>	Diagram alir preparasi sol $\text{TiO}_2/\text{TEOS}$	29
<b>Gambar 3.5</b>	<i>Contact angle meter</i>	30
<b>Gambar 3.6</b>	Desain eksperimen uji degradasi senyawa organik	32
<b>Gambar 4.1</b>	Spektra Absorbansi IR	34
<b>Gambar 4.2</b>	Sudut Kontak Air Pada Variasi $\text{TiO}_2/\text{TEOS}$	36
<b>Gambar 4.3</b>	Sudut Kontak Pada Menit Ke 5	37
<b>Gambar 4.4</b>	Hasil Pelapisan Pada Ti-90 dan Ti-70	38
<b>Gambar 4.5</b>	Pengaruh Waktu Dan Tempat Penyimpanan	39
<b>Gambar 4.6</b>	Transmitansi Film Pada Panjang Gelombang Cahaya Tampak	40
<b>Gambar 4.7</b>	Foto Polikarbonat Dengan Variasi % Mol $\text{TiO}_2$	41
<b>Gambar 4.8</b>	Hubungan Antara Konsentrasi Asam Laktat Dengan Waktu Iradiasi	42
<b>Gambar 4.9</b>	Hasil Uji Sifat Anti Kabut	43
<b>Gambar 4.10</b>	Hasil Uji Swa Bersih	44

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b>	Variasi Rasio $\text{TiO}_2/\text{TEOS}$ .....	25
------------------	--	----



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Beberapa tahun belakangan ini Titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) menjadi salah satu yang sangat ekstensif untuk dipelajari.  $\text{TiO}_2$  memiliki sifat yang sangat baik seperti memiliki kekuatan mekanik yang baik, transparansi, dan memiliki sifat isolasi yang baik.  $\text{TiO}_2$  ini juga banyak diaplikasikan dalam pemanfaatan untuk kehidupan sehari-hari. Seperti bidang kesehatan, mikro elektrik dan pemanfaatan optik. Hal itu disebabkan harganya yang relatif murah dan memiliki indeks bias relatif yang tinggi (Sharma *et al.*, 2008).

Salah satu aplikasi film titania adalah dalam bidang fotokatalisis. Fotokatalisis ini banyak diaplikasikan dalam kehidupan, setelah ditemukannya sifat hidrofilik pada permukaan film  $\text{TiO}_2$ , maka aplikasi  $\text{TiO}_2$  ini terus berkembang dan diantaranya adalah untuk *anti fogging* (anti kabut) dan swa bersih (Benani *et al.*, 2009).

Salah satu contoh kecil kegunaan fotokatalisis untuk aplikasi anti kabut adalah penggunaan film  $\text{TiO}_2$  pada kaca helm. Helm sebagai salah satu alat pengaman dalam berkendara seringkali menimbulkan masalah akibat terbentuknya kabut ketika digunakan pada cuaca yang buruk. Pelapisan katalis  $\text{TiO}_2$  dalam bentuk film di atas kaca helm dapat memberikan sifat anti kabut sehingga mampu membuat kenyamanan berkendara tetap terjaga meskipun cuaca tidak bersahabat.

Semikonduktor fotokatalis  $\text{TiO}_2$  memiliki sifat hidrofilik yang dapat dimanfaatkan untuk aplikasi anti kabut di material-material tertentu, seperti plastik dan kaca. Sifat hidrofilik dari  $\text{TiO}_2$  menyebabkan air yang berada di permukaan tersebar merata dan tidak membentuk butiran (*droplet*). Hasilnya material yang terlapis oleh film  $\text{TiO}_2$  akan bersifat anti kabut. Film transparan  $\text{TiO}_2$  pada substrat plastik dan kaca memiliki banyak kegunaan praktis, seperti pada cermin, jendela, kaca helm, lensa, dan sebagainya (Watanabe *et al.*, 2000).

Selain bersifat hidrofilik, titanium dioksida juga dapat mendegradasi senyawa organik atau kotoran yang menempel pada kaca helm tersebut. Kebanyakan dari campuran organik tersebut memiliki ikatan dengan permukaan

hidrofilik, Ketika ada banyak tetesan air pada permukaan, maka tetesan air tersebut akan mengambil kotoran yang menempel (Benani *et al.*, 2009)

Agar dapat dimanfaatkan sebagai lapisan film pada kaca helm maka lapisan film harus transparan.. Film TiO<sub>2</sub> dikatakan memiliki sifat yang transparan apabila indeks bias dari kaca helm yang dilapisi memiliki indeks bias yang tidak jauh berbeda dengan indeks bias kaca helm sebelum di dilapisi. Selain itu suatu material dikatakan transparan bila material tersebut memiliki nilai transmitansi yang tinggi di area panjang gelombang cahaya tampak ( $\lambda = 400\text{-}760\text{ nm}$ ) (Ghamsari, 2008). Transparansi film sangat ditentukan oleh ukuran kristal katalis TiO<sub>2</sub> yang terbentuk, semakin kristal TiO<sub>2</sub> maka film yang dihasilkan akan lebih transparan. Transparansi film sangat dipengaruhi oleh viskositas dari lapisan suspensi. Viskositas yang tinggi bisa menyebabkan ketebalan film meningkat dan film menjadi tidak transparan. (Benani *et al.*, 2009)

Beberapa metode dikembangkan untuk mendapatkan film TiO<sub>2</sub> superhidrofilik, diantaranya Sharma *et al.*, mensintesis film TiO<sub>2</sub> dengan menggunakan prekursor titanium isopropoksida (TTIP) yang ditambahkan dengan HCl dan etil alkohol. Dan diaduk dengan magnetik stirrer selama 1 jam. Kemudian dilakukan pelapisan pada substrat gelas dengan metode *spin coating*. film dikalsinasi dengan temperatur divariasikan pada 250 °C, 300 °C dan 350 °C. Hasil uji transmitansi menunjukkan bahwa pada temperature 350 °C dengan menggunakan XRD diketahui sudah terbentuk kristal anatase dan pengukuran transmittan diperoleh transmittans 90 %. Domaradzki *et al.* mensintesis film TiO<sub>2</sub> dengan menggunakan metode *Magnetron Sputtering* dengan penambahan paduan Nd, dan pemanasan/ *anealing* pada suhu 1070 °K selama 2 jam. Film tipis diendapkan pada substrat SiO<sub>2</sub>. Konsentrasi Nd yang ditambahkan divariasikan antara 0.84 % Nd dan 8.51 % Nd. Diperoleh hasil transmittansi sebesar 80 % untuk konsentrasi Nd 0.84 % dan 8.51%. Konsentrasi Nd berpengaruh pada ukuran kristal yang terbentuk. Pada film dengan konsntrasi Nd 0.84 % dihasilkan film TiO<sub>2</sub> dengan fase anatase dengan ukuran kristal 6 nm, sedangkan pada konsentrasi Nd 8.51 % dipeoleh fasa kristal rutile dengan ukuran kristal 12 nm.

Chun *et al.* mensintesis film TiO<sub>2</sub> dengan metode sol gel dengan menggunakan prekursor TTIP, dengan proses hidrolisis dilakukan dalam kondisi

N<sub>2</sub> atmosfer. Hasil yang diperoleh mempunyai persen transmitansi 90 %, Ashrit *et al.* membuat film TiO<sub>2</sub> transparan dengan penambahan polimer (polietilen glikol 600). Prekursor yang digunakan titanium tetra-n-butoksida, substrat pasca pelapisan dipanaskan pada temperatur 80°C selama 30 menit dan direndam dalam air mendidih. Diperoleh transmitansi 85%. Setiadi, mensintesis film TiO<sub>2</sub> dengan metode preparasi suhu rendah dengan penambahan aditif TBA(OH), pengeringan dilakukan pada saat pelapisan pada temperature 60 °C dan tidak ada pemanasan pasca pelapisan

Dari metode metode yang sudah dilakukan ternyata masih diperlukan pemanasan yang tinggi dan peralatan khusus. Oleh karena itu dilakukan pengembangan terhadap metode yang ada untuk didapatkan film TiO<sub>2</sub> transparan dengan sifat hidrofilik. Pada penelitian ini komposit titania dibuat dengan mencampurkan TiO<sub>2</sub> degussa dengan TEOS dan dilakukan pemanasan paska pelapisan pada temperatur 80 °C sehingga sangat cocok digunakan pada substrat polikarbonat yang memiliki titik leleh 267 °C

Pada penelitian ini TEOS digunakan sebagai aditif, yang dapat meningkatkan sifat hidrofilk pada lapisan TiO<sub>2</sub> dan mempertahankan sifat hidrofilik pada substrat dalam waktu yang lebih lama dibandingkam dengan hanya menggunakan TiO<sub>2</sub>. ( Guan, 2005). Selain itu juga digunakan SiO<sub>2</sub> sebagai pelapis pertama yang dapat berfungsi sebagai perekat antara lapisan TiO<sub>2</sub> dengan substrat polikarbonat untuk melindungi lapisan substrat polikarbonat supaya tidak di degradasi oleh lapisan TiO<sub>2</sub> (Fateh *et al.*, 2008)

Pada prinsipnya, aplikasi film TiO<sub>2</sub> pada substrat polikarbonat (bahan kaca helm) cukup menjanjikan untuk mencegah terbentuknya kabut/*foging*. Hal ini mengingat metode preparasi yang digunakan tidak membutuhkan temperatur yang tinggi sehingga sesuai dengan substrat yang digunakan (polikarbonat) dan memenuhi aspek keekonomian, sehingga akan sangat menarik untuk dipelajari lebih lanjut

## 1.2 Perumusan Masalah

Masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah :

Bagaimana cara memperoleh kaca helm berbahan polikarbonat berlapis film  $\text{TiO}_2$  dengan aktivitas fotokatalisis dan sifat hidrofilik yang baik dengan metode preparasi fotokatalis yang digunakan.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- Mendapatkan kaca helm berbahan polikarbonat berlapis film  $\text{TiO}_2$  dengan aktivitas fotokatalisis dan sifat hidrofilik yang baik serta mampu bersifat anti kabut.
- Mendapatkan komposisi  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  yang optimal terhadap peningkatan aktivitas katalis film

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan dari penelitian ini adalah :

- Digunakan  $\text{TiO}_2$  degussa sebagai bahan awal sintesis film  $\text{TiO}_2$
- Aditif yang digunakan adalah TEOS
- Bahan penyangga atau substrat yang digunakan adalah lembaran polikarbonat (bahan dasar kaca helm) dengan ukuran 5 cm x 5 cm
- Karakterisasi katalis yang akan dilakukan adalah FTIR. Sedangkan uji kinerja yang dilakukan berupa pengukuran transmitansi untuk mengetahui transparansi kaca helm serta pengukuran sudut kontak pada kaca helm yang telah dilapisi oleh katalis dan pengujian aktivitas fotokatalisis film.

## 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini dilakukan dengan membagi tulisan menjadi lima bab, yaitu:

- BAB 1 PENDAHULUAN

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

- **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi tentang semikonduktor  $\text{TiO}_2$ , prinsip dasar fotokatalisis, fotokatalisis bentuk film, aditif pada katalis  $\text{TiO}_2$ , metode sol-gel, hidrofilisitas  $\text{TiO}_2$ , mekanisme self cleaning, ultrasonikasi, metode pelapisan *spin coating*, polikarbonat, dan karakterisasi katalis.

- **BAB 3 METODE PENELITIAN**

Bab ini berisi tentang metode pelaksanaan penelitian, model penelitian, peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian, prosedur penelitian, uji kinerja film  $\text{TiO}_2$ , pengolahan dan analisis data.

- **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi tentang pembahasan sifat hidrofilik dan aktivitas fotokatalisis, transparansi film, hasil pengujian karakterisasi FTIR, dan hasil uji kualitatif film.

- **BAB 5 KESIMPULAN**

Berisikan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dengan mengacu kepada tujuan di awal.

- **DAFTAR PUSTAKA**

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

- **LAMPIRAN**

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Semikonduktor TiO<sub>2</sub>

Secara umum sifat listrik zat padat dikelompokkan atas 3 macam, tergantung pada ukuran konduktivitas listriknya ( $\sigma$ ), yaitu :

1. Konduktor, merupakan suatu bahan yang dapat dengan mudah menghantarkan arus listrik dengan nilai  $\sigma = 10^4 - 10^6 \text{ ohm}^{-1}\text{cm}^{-1}$
2. Isolator, merupakan bahan dengan daya hantar listrik yang sangat lemah/tidak sama sekali, dengan nilai  $\sigma < 10^{-15} \text{ ohm}^{-1}\text{cm}^{-1}$
3. Semikonduktor, merupakan suatu bahan dengan daya hantar berada antara daya hantar konduktor dan isolator. Semikonduktor memiliki nilai  $\sigma$  sebesar  $10^{-15} - 10^3 \text{ ohm}^{-1}\text{cm}^{-1}$

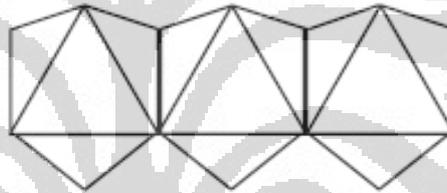
Selain itu perbedaan ketiganya juga sangat bergantung pada besarnya energi celah (*band gap*) antara pita valensi dan pita konduksi. Pada semikonduktor dijumpai pita valensi terisi penuh dan pita konduksi kosong, dan diantara pita valensi dan pita konduksi tersebut terdapat celah yang disebut celah pita. Umumnya energi celah pita pada semikonduktor ini tidak terlalu tinggi (0.5 – 3 eV) dibandingkan dengan isolator yang memiliki energi celah pita sekitar 6 eV (Sitanggang, 2010)

Energi celah yang tidak terlalu besar pada semikonduktor memungkinkan beberapa elektron pada semikonduktor yang memiliki cukup energi dapat naik ke pita konduksi. Sedangkan pada isolator karena memiliki energi celah yang cukup besar maka sangat sedikit elektron yang memiliki energi cukup untuk dapat naik ke pita konduksi. Eksitasi elektron ini akan menimbulkan lubang positif pada pita valensi. Selain itu elektron dan lubang positif hasil eksitasi ini dapat mengalami rekombinasi  $e^-$  dan  $h^+$  (Hoffmann *et al.*, 1995)

Salah satu contoh semikonduktor adalah TiO<sub>2</sub>. TiO<sub>2</sub> merupakan material yang potensial untuk dikembangkan sebagai fotokatalis karena berbagai keunggulannya, di antaranya yaitu efisiensi kuantum yang tinggi, aktivitas fotokatalisis yang tinggi, dan keekonomisannya (Fujishima *et al.*, 2000). TiO<sub>2</sub> adalah semikonduktor dengan celah energi  $E_g = 3,2 \text{ eV}$ . Jika material ini diirradiasi dengan foton yang memiliki energi  $> 3,2 \text{ eV}$  (panjang gelombang  $<$

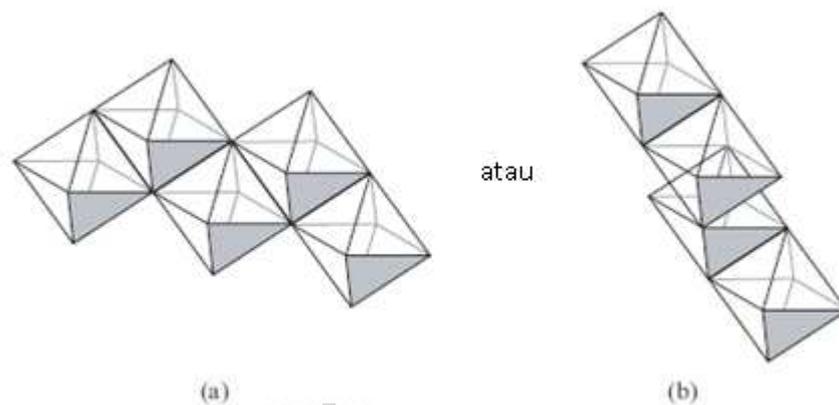
388 nm), elektron akan terpromosikan dari pita valensi menuju pita konduksi. Konsekuensinya, terbentuklah muatan elektron dan *holes*. Selain itu juga bersifat inert dalam reaksi, tidak beracun dan memiliki kemampuan oksidasi yang tinggi.

Titanium dioksida memiliki 3 struktur kristal yaitu rutil, anatase, dan brookit. Anatase dan rutil telah secara luas dipelajari untuk berbagai aplikasi fotokatalisis. Brookite sendiri tidak begitu dikenal secara umum dan belum banyak digunakan dalam aplikasi fotokatalisis. Anatase dan rutil memiliki struktur tetragonal sementara brookite *orthorhombic*. Semuanya terdiri atas ikatan oktahedral  $\text{TiO}_6^{-2}$  dan pola ikatan dari oktahedral ini berbeda-beda untuk setiap jenis fasa kristal. Pada rutil, dua (di luar dari dua belas) sudut saling berbagi untuk membentuk rantai linear. Selanjutnya, rantai linear dari setiap oktahedral akan bergabung satu sama lain dengan jalan berbagi sudut dari atom oksigen. Representasi struktur kristal rutil digambarkan pada gambar 2.1



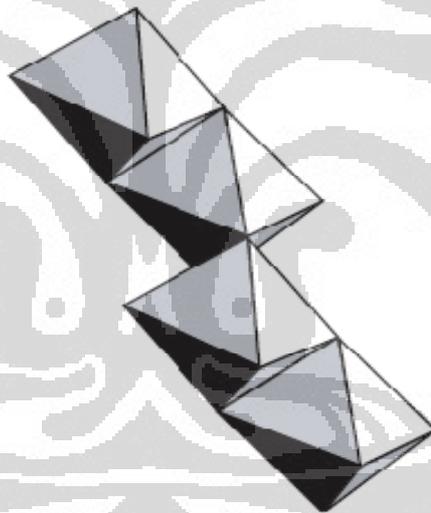
**Gambar 2.1** Struktur kristal rutil (Gopal *et.al.*, 1997)

Anatase memiliki empat sudut yang dibagi per oktahedral dan tidak ada sudut oksigen yang dibagi. Struktur kristal anatase dapat dilihat pada gambar 2.2. Pada gambar 2.2a, dua sudut dibagi per oktahedral yang membentuk konfigurasi sudut kanan dan pada gambar 2.2 sudut ketiga dan keempat saling berbagi dan membentuk lapisan atas.



**Gambar 2.2** Struktur kristal anatase; (a) tampak depan, (b) tampak samping (Gopal et.al., 1997)

Sementara itu pada fasa brookit, hubungan antara oktahedral terjadi melalui pembagian tiga sudut per oktahedralnya. Struktur brookit yang dibentuk dari oktahedral-oktahedral  $\text{TiO}_6^{2-}$  ditunjukkan pada gambar 2.3.



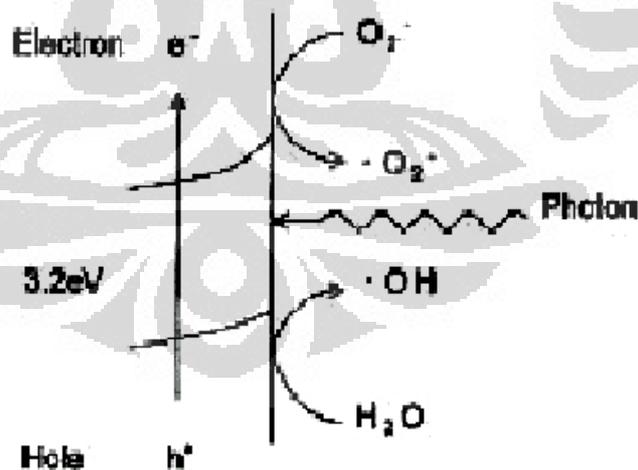
**Gambar 2.3** Struktur kristal brookite (Bokhimi, 2001)

Kebanyakan hasil penelitian menunjukkan bahwa secara fotokatalisis struktur anatase menunjukkan aktivitas lebih reaktif dibandingkan struktur brookit. Perbedaan aktifitas fotokatalisis pada struktur fotokatalis yang berbeda berkaitan erat dengan luas permukaan dan ukuran partikel fotokatalisnya. Serbuk anatase biasanya erat dengan luas permukaan yang lebih besar dan ukuran partikel yang lebih kecil dibandingkan dengan serbuk brookit. Disamping itu, celah pita energi yang lebih besar untuk anatase (3.25 eV untuk anatase dan 3.0 eV untuk

rutile) ikut menyebabkan tingginya aktifitas fotokatalisis struktur kristal anatase. (Gopal *et al.*, 1997)

Kemampuan sebuah semikonduktor dalam hal aktivitas fotokatalitiknya bergantung pada posisi celah energi pada pita semikonduktor dan potensial redoks dari adsorbat. Potensial redoks dari spesi akseptor secara termodinamika harus berada di bawah pita konduksi dari semikonduktor. Di satu sisi, potensial redoks dari donor harus berada di atas pita valensi agar terjadi donasi elektron ke lubang kosong yang ditinggalkannya. Beberapa semikonduktor memiliki energy celah untuk dapat mengkatalisis reaksi kimia, seperti  $\text{TiO}_2$  ( $E_g = 3.2 \text{ eV}$ ),  $\text{WO}_3$  ( $E_g = 2.8 \text{ eV}$ ),  $\text{SrTiO}_3$  ( $E_g = 3.2 \text{ eV}$ ),  $\text{ZnO}$  ( $E_g = 3.2 \text{ eV}$ ), dan  $\text{ZnS}$  ( $E_g = 3.6 \text{ eV}$ ),  $\text{SrTiO}_2$  ( $E_g = 3.7 \text{ eV}$ ),  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  ( $E_g = 2.9 \text{ eV}$ ),  $\text{PbO}$  ( $E_g = 2.9 \text{ eV}$ ) (Kartz *et al.*, 2007)

Reaksi reduksi-oksidasi pada permukaan  $\text{TiO}_2$  diilustrasikan pada gambar 2.4. Ketika cahaya diserap oleh  $\text{TiO}_2$ , terbentuk elektron ( $e^-$ ) dan *hole* positif ( $h^+$ ). Pada substansi biasa, elektron dan *hole* akan berekombinasi dengan cepat, namun pada fotokatalis  $\text{TiO}_2$ , rekombinasi terjadi sangat lambat. Persentase yang berekombinasi merupakan parameter keefektifan proses fotokatalisis. Ketika air dioksidasi oleh *hole* positif, terbentuk radikal hidroksil ( $\cdot\text{OH}$ ) yang memiliki daya oksidasi dekomposisi tinggi.

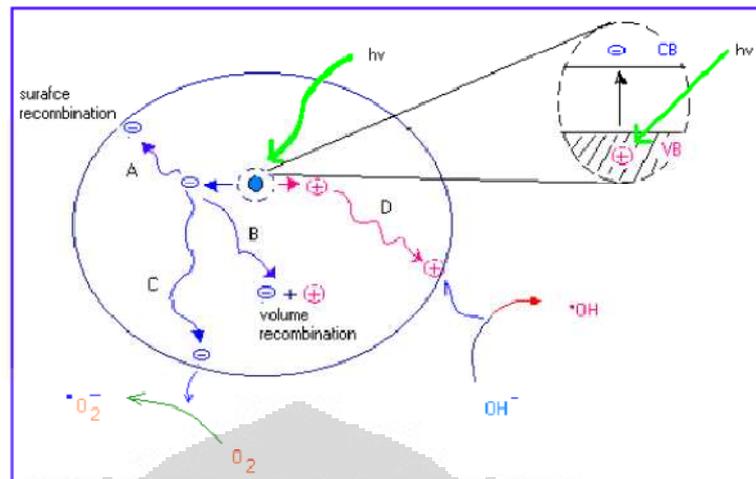


**Gambar 2.4** Reaksi reduksi-oksidasi pada permukaan  $\text{TiO}_2$  (Licciuli, 2002)

## 2.2 Prinsip Dasar Fotokatalisis

Fotokatalisis merupakan suatu proses kombinasi antara proses fotokimia dan katalis, yaitu suatu proses sintesis secara kimiawi dengan melibatkan cahaya sebagai pemicu dan katalis sebagai pemercepat proses transformasi tersebut (Slamet *et al.*, 2007).

Proses fotokatalisis diawali dengan terbentuknya pasangan elektron – hole positif ( $e^-$  ;  $h^+$  ) dalam partikel semikonduktor. Elektron pada pita valensi semikonduktor dapat berpindah ke pita konduksi apabila semikonduktor ini menyerap cahaya ( $h\nu$ ) yang berenergi sama atau lebih besar dari energi celahnya. Akibat perpindahan ini akan terbentuk lubang positif ( $h^+$ ) pada pita valensi dan elektron pada pita konduksi ( $e^-$ ). Sebagian besar pasangan  $e^-$  dan  $h^+$  ini akan berekombinasi kembali, baik di permukaan (jalur A) atau di dalam *bulk* partikel (jalur B). Sementara itu sebagian pasangan  $e^-$  dan  $h^+$  dapat bertahan sampai pada permukaan semikonduktor (jalur C dan D), Pada jalur C elektron pergi ke permukaan semikonduktor dan berikatan dengan spesies organik/anorganik/, sehingga spesies tersebut mengalami reduksi. Pada jalur D lubang positif pergi ke permukaan semikonduktor dan berikatan dengan spesies donor elektron, sehingga spesies tersebut mengalami oksidasi. Sehingga  $h^+$  menginisiasi reaksi oksidasi dan  $e^-$  akan menginisiasi reaksi reduksi zat kimia yang ada di sekitar permukaan semikonduktor (Gunlazuardi, 2001). Proses pada jalur C dan jalur D inilah merupakan proses reduksi oksidasi yang diduga menghasilkan spesies aktif pengoksidasi radikal hidroksil. Radikal hidroksil merupakan zat pengoksidasi terkuat dengan potensial reduksi 2.8 volt.



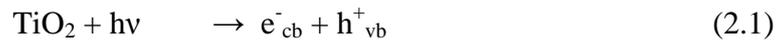
**Gambar 2.5** Ilustrasi skematis proses fotoeksitasi dan deeksitasi pada suatu semikonduktor (Gunlazuardi, 2001)

Muatan-muatan tersebut ( $e^-$  dan  $h^+$ ) dapat dihasilkan melalui tiga mekanisme yang berbeda, eksitasi termal, fotoeksitasi, dan doping. Jika celah energi pada pita semikonduktor relatif kecil (lebih kecil dari 0,5 eV), eksitasi termal dapat mempromosikan sebuah elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Dengan cara yang sama, sebuah elektron juga dapat berpindah ke pita konduksi melalui absorpsi foton dari cahaya (fotoeksitasi) jika energi foton  $>$  celah energi pita semikonduktor. Pada penambahan doping ke dalam semikonduktor, terjadi transfer muatan yang mengakibatkan kondisi muatan tak seimbang pada permukaan semikonduktor. Kondisi inilah yang memicu reaksi oksidasi atau reduksi dari zat kimia di sekitar permukaan semikonduktor (Licciuli, 2002).

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). 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 (pada pH = 1) yang 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.

Berikut adalah reaksi kimia yang terjadi dalam proses fotokatalitik (Gunlazuardi, 2001):

1. Iluminasi TiO<sub>2</sub> dengan cahaya pada panjang gelombang 400 nm menghasilkan elektron pada pita konduksi dan lubang positif pada pita valensi



2. Di permukaan, lubang positif dapat bereaksi dengan H<sub>2</sub>O yang teradsorpsi secara fisika maupun dengan gugus OH yang teradsorpsi secara kimia untuk membentuk radikal •OH



3. Elektron elektron pada pita konduksi kemungkinan bereaksi dengan molekul oksigen untuk membentuk ion superoksida yang selanjutnya membentuk radikal •OH



Radikal hidroksil merupakan spesies netral yang sangat reaktif menyerang molekul molekul organik dan mendegradasinya menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O dan ion ion halida jika molekul molekul organik tersebut mengandung atom atom halogen

### 2.3 Fotokatalisis Bentuk Film

Penggunaan fotokatalisis TiO<sub>2</sub> umumnya berada dalam bentuk serbuk. Hal ini didasarkan pada kemudahan dalam preparasinya, serta aktifitas fotokatalitiknya memang lebih tinggi karena memiliki luas permukaan yang lebih besar, namun penggunaan katalis dalam bentuk serbuk juga memiliki beberapa keterbatasan teknis, antara lain

1. Kesulitan pada proses pemisahan katalis dari suspensi reaksi fotokatalitik berakhir

2. Partikel partikel yang tersuspensi cenderung menggumpal terutama pada konsentrasi tinggi
3. Suspensi suspensi partikel serbuk sulit diaplikasikan ke dalam sistem aliran kontinu
4. Kedalaman penetrasi sinar UV dalam suspensi TiO<sub>2</sub> terbatas.

Oleh karena itu dilatar belakangi keterbatasan keterbatasan teknis tersebut pengembangan katalis bentuk film terus dilakukan. Aktivitas fotokatalitik dari fotokatalis bentuk film sangat bervariasi dan tergantung pada berbagai faktor. Untuk fotokatalisis TiO<sub>2</sub> sendiri, aktivitasnya dalam bentuk film sangat tergantung dari struktur kristalnya (rutile dan anatase), luas permukaan fotokatalisis, diameter partikel, porositas, kerapatan gugus hidroksil serta tentunya dari ketebalan film itu sendiri (Sopyan, 1998).

#### **2.4 Metode Sol-Gel**

Sol gel merupakan cara alternatif dalam memperoleh material oksida logam berukuran nano dengan aktifitas fotokatalitik tinggi. Dengan melapiskan struktur kimia dari prekursor utama dan dengan teliti mengontrol variabel proses, produk nano kristal dengan kadar kemurnian tinggi dapat diperoleh.

Proses sol-gel memiliki kelebihan mampu menghasilkan fotokatalis dengan luas permukaan besar (Hu, 2006). Sol merupakan partikel koloid berukuran 1 – 100 nm dengan fase pendispersi berupa padatan dan medium pendispersi berupa cairan. Pembentukan gel terjadi ketika sol terdestabilisasi. Jadi sol merupakan suatu spesies yang memungkinkan spesies kimia tersuspensi stabil dalam larutan. Perubahan sedikit saja dari keadaan suspensi ini dapat menyebabkan sol tidak stabil dan dapat membentuk endapan gel homogen

Dengan melakukan proses sol gel diharapkan jaringan anorganik yang didapatkan melalui reaksi hidrolisis dan kondensasi dapat dikontrol dan dimodifikasi. Tujuannya adalah agar dihasilkan material spesifik dengan karakteristik yang lebih stabil, seperti homogenitas dan kemurnian yang tinggi, kontrol ukuran pori yang lebih baik, proses pembentukan struktur dapat diatur dan kondisi sintesis dapat divariasikan.

Proses sol gel dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti konsentrasi dan tipe prekursor yang digunakan, temperature, bentuk geometri dan ukuran bejana serta ada/tidaknya pengadukan.

Salah satu aplikasi penggunaan metode sol gel ini dapat dilakukan pada pembuatan lapisan tipis yang transparan. Lapisan tipis dibentuk pada permukaan substrat dengan cara membasahi permukaan tersebut dengan cairan yang mengandung materi yang diinginkan, biasanya dalam bentuk larutan prekursor. Ketika pelarut menguap, lapisan tipis akan tertinggal pada substrat. Lapisan tipis yang melekat pada substrat tersebut akan mengalami hidrolisis dan kondensasi. Lapisan logam oksida yang diinginkan dapat diperoleh dengan mengkalsinasi lapisan tipis tersebut. Keuntungan pelapisan dengan metode sol gel ini adalah dapat diperoleh kehomogenan dan keseragaman lapisan tipis

Metode lapisan sol gel meliputi :

**a. Hidrolisis**

Pada tahapan ini, prekursor yang digunakan akan dilarutkan dalam alkohol dan akan terhidrolisis dengan penambahan air sesuai dengan reaksi berikut



Semakin banyak air yang ditambahkan akan mengakibatkan proses hidrolisis akan semakin cepat sehingga proses gelasi juga akan menjadi lebih cepat. Akan tetapi, proses hidrolisis yang terlalu cepat akan berpengaruh pada tingkat kehomogenan dari  $TiO_2$  yang dihasilkan sehingga digunakan senyawa seperti *diol*, asam karboksilat, ataupun *diketonate* untuk mengontrol laju hidrolisis (Su *et al.*, 2004).

Proses hidrolisis difasilitasi dengan adanya penambahan densitas muatan pada logam serta jumlah ion hidrogen yang terdapat pada ligan (Brinker&Scherer, 1989). Atas dasar inilah, pada beberapa proses sol-gel digunakan asam yang berfungsi sebagai katalis untuk mempercepat proses hidrolisis.

**b. Kondensasi**

Pada tahapan ini akan terjadi transisi dari sol menjadi gel. Molekul-molekul yang telah mengalami kondensasi akan saling bergabung sehingga menghasilkan molekul gel yang mempunyai kerapatan massa yang besar dan

akan menghasilkan kristal logam oksida. Reaksi yang terjadi pada proses kondensasi ini yaitu :



Reaksi kondensasi melibatkan ligan hidroksil (OH<sup>-</sup>) untuk menghasilkan polimer dengan ikatan M-O-M. Pada peristiwa kondensasi ini akan dihasilkan produk samping yang berupa air atau alkohol.

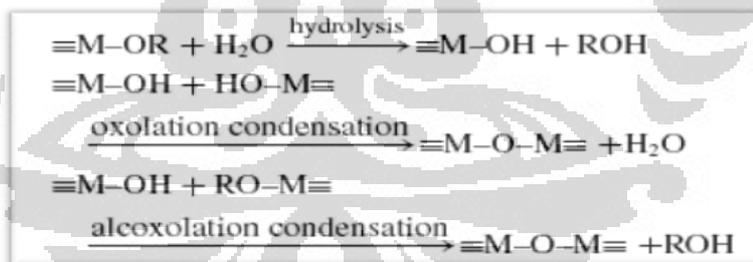
### c. Aging (pengendapan)

*Aging* merupakan tahap pematangan dari gel yang telah terbentuk dari proses kondensasi. Pada proses pematangan ini, terjadi reaksi pembentukan jaringan gel yang lebih kaku, kuat, dan menyusut di dalam larutan.

### d. Pengeringan

Tahap terakhir ialah proses penguapan pelarut yang digunakan (misalnya alkohol) dan cairan yang tidak diinginkan untuk mendapatkan struktur sol-gel yang memiliki luas permukaan yang tinggi.

Secara ringkas reaksi pada pembentuka metode sol gel dapat dilihat pada gambar berikut



**Gambar 2.6** Reaksi hidrolisis dan kondensasi metode sol-gel

(Brinker&Scherer, 1989)

## 2.5. Aditif Pada Katalis TiO<sub>2</sub>

Efek hidrofilik pada katalis TiO<sub>2</sub> akan meningkat apabila disinari cahaya UV, namun juga dapat bekurang atau hilang apabila cahaya UV dihentikan atau bila katalis ditempatkan di tempat yang gelap. Hal ini menjadi kendala, oleh karena itu untuk mempertahankan sifat hidrofilik dari katalis maka digunakan

aditif. Jenis aditif yang akan digunakan dalam percobaan ini adalah TEOS yang dapat meningkatkan hidrofilitas fotokatalisis  $\text{TiO}_2$  (Guan, 2005)

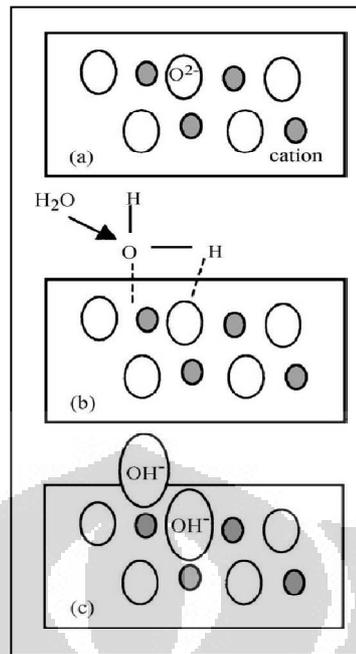
### 2.5.1 Aditif TEOS

Penambahan dopan ke dalam katalis merupakan salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk meningkatkan aktifitas katalis. Penambahan dopan dapat merubah morfologi katalis, menurunkan tingkat agregasi, memperbesar luas permukaan, dan memperkecil ukuran partikel, serta menurunkan kandungan rutil (Guan, 2005)

Terdapat dua interaksi antara  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{SiO}_2$ , yaitu campuran secara fisika (dengan gaya interaksi tidak lebih dari ikatan lemah Van Der Waals dan ikatan secara kimia (pembentukan ikatan Ti-O-Si). Kekuatan atau derajat interaksi serta homogenitas atau dispers pada campuran titania – silika sangat berbeda satu sama lain, tergantung pada metode preparasi dan kondisi sintesis.

Penambahan  $\text{SiO}_2$  ke dalam  $\text{TiO}_2$  dapat meningkatkan stabilitas termal dari titania karena transformasi fasa dari anatase ke rutil pada temperature tinggi dapat ditekan sehingga kalsinasi  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  pada temperatur tinggi untuk mendapat hasil kristal yang baik. Selain itu  $\text{SiO}_2$  dapat meningkatkan keasaman pada katalis  $\text{TiO}_2$ . Keasaman katalis menyebabkan peningkatan kemampuan hidrofilik dari katalis. Hal ini terjadi karena adanya ikatan Ti-O-Si pada katalis yang akan menghalangi kontak antara sesama partikel titania

Mekanisme hidrofilitas sebagai akibat dari peningkatan keasaman akibat penambahan  $\text{SiO}_2$  dijelaskan dalam gambar 2.7. Permukaan substrat yang telah meningkat keasamannya dapat mengadsorp lebih banyak radikal OH. Kation silikon, dalam hal ini ligan Ti-Si dapat menangkap ion  $\text{OH}^-$  dari molekul  $\text{H}_2\text{O}$  dan ion  $\text{O}_2^-$  di satu sisi dengan mudahnya akan berikatan ion  $\text{H}^+$  dari molekul  $\text{H}_2\text{O}$  yang lain. Hasilnya permukaan komposit dapat mengadsorp lebih banyak radikal hidroksil daripada permukaan yang hanya murni dilapisi oleh  $\text{TiO}_2$ . Kesimpulannya peningkatan sifat hidrofilik dan fotokatalisis dari film komposit  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  merupakan hasil dari peningkatan gugus hidroksil di permukaan. (Fateh, 2008)



**Gambar 2.7** Mekanisme hidrofilisitas pada permukaan film komposit  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$   
(Fateh , 2007)

## 2.6 Hidrofilisitas $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$

Suatu permukaan bersifat hidrofilik bila sudut kontak fasa air dengan permukaan benda lebih rendah dari  $10^\circ$ , atau mendekati  $0^\circ$ . Lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  pada permukaan benda ketika terkena sinar UV akan mengalami keadaan hidrofilik. Pada permukaan ini, ketika terkena sinar UV air mulai menyebar dan membentuk sudut kontak yang semakin kecil sehingga akhirnya hampir mencapai  $0^\circ$

$\text{TiO}_2$  memiliki celah pita energi bila terkena sinar UV akan menghasilkan elektron pada pita konduksi dan lubang positif (*hole*) pada pita valensi. Elektron dan lubang positif ini dapat berekombinasi atau pindah ke permukaan untuk bereaksi dengan bahan yang terserap di permukaan. Hal ini merupakan dasar fotoeksitasi. Beberapa lubang positif ini dapat pula bereaksi dengan oksigen membentuk permukaan oksigen yang kosong. Sementara beberapa elektron bereaksi dengan ion logam ( $\text{Ti}^{4+}$ ) membentuk  $\text{Ti}^{3+}$

Mekanisme sifat hidrofilik yang terjadi adalah sebagai berikut (Licciuli, 2002)

1. Ketika cahaya UV yang memiliki energi foton yang lebih besar atau sama dengan celah energi pita semikonduktor mengenai permukaan katalis, akan

terjadi eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Efek yang ditimbulkan adalah terbentuknya elektron pada pita konduksi dan *hole* pada pita valensi. Hal ini terus berlangsung selama penyinaran.



2. Elektron pada pita konduksi mereduksi Ti (IV) menjadi Ti (III) menurut reaksi



Selama penyinaran UV berlangsung,  $\text{Ti}^{3+}$  cenderung untuk bereaksi dengan molekul oksigen yang terserap di permukaan dan kembali menjadi  $\text{Ti}^{4+}$  menurut reaksi sebagai berikut :



3. *Hole* ( $h^+$ ) akan mengoksidasi oksigen ( $\text{O}_2^-$ ) yang berasal dari *bridging site* oksigen pada kristal  $\text{TiO}_2$ . Hasil oksidasi yaitu oksigen akan dilepas dan menghasilkan *oxygen vacancies*.



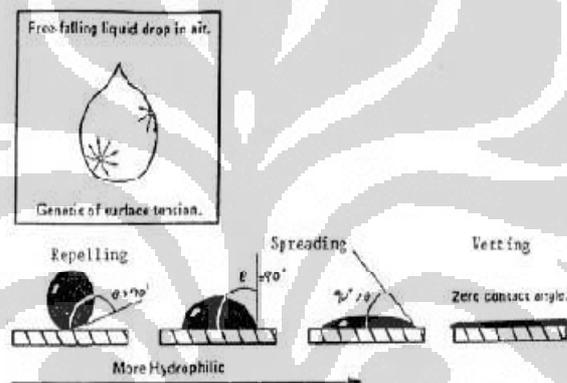
4. Dengan adanya *oxygen vacancies*, permukaan menjadi hidrofilik karena air dapat dengan mudah mengisi tempat kosong dan menghasilkan gugus OH teradsorpsi yang membentuk *monolayer* pada permukaan  $\text{TiO}_2$  menurut reaksi



Dengan adanya gaya Van der Waals dan ikatan hidrogen, grup OH teradsorpsi dapat berikatan dengan air yang datang ke permukaan. Namun efek superhidrofilik akan berkurang bila cahaya UV dihentikan atau bila lapisan  $\text{TiO}_2$  diletakkan di tempat yang gelap. Keadaan hidrofilik ini dapat dipertahankan apabila  $\text{TiO}_2$  dikombinasikan dengan senyawa yang dapat menahan air pada strukturnya seperti  $\text{SiO}_2$  (Guan, 2005)

### 2.6.1 Pengukuran Sudut Kontak

Ketika ada suatu tetesan air yang mengenai permukaan padatan maka sudut kontak dapat diukur dengan menghitung sudut yang terbentuk antara permukaan padatan dan garis tangensial jari-jari embun dari titik kontak dengan padatan. Sudut kontak ini berhubungan dengan tegangan permukaan. Jika sudut kontak yang terjadi sebesar  $0^\circ$ , maka akan terjadi peristiwa pembasahan (*wetting*) sudut antara  $0^\circ - 90^\circ$  akan menghasilkan tetesan yang menyebar sedangkan sudut kontak  $> 90^\circ$  akan membentuk titik embun pada padatan (droplet) (Licciuli, 2002). Variasi sudut kontak pada permukaan padatan yang terbasahi air dapat dilihat pada gambar 2.8.



**Gambar 2.8.** Variasi berbagai sudut kontak antara air dan padatan (Licciuli, 2002)

Untuk menentukan besarnya sudut kontak permukaan dengan cairan tertentu, cairan tersebut akan ditetaskan pada permukaan substrat yang disinari cahaya UV, kemudian sudut kontak yang terbentuk diukur dengan menggunakan alat *Contact Angle Meter*. Jika sudut kontak yang terbentuk lebih besar dari  $10^\circ$  maka permukaan bersifat hidrofobik. Bila permukaan memiliki sudut yang lebih kecil dari  $10^\circ$  maka otomatis cairan akan langsung melebar dan membentuk lapisan tipis yang berarti permukaan bersifat hidrofilik.

### 2.7 Mekanisme *Swa Bersih*

Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan  $\text{TiO}_2$  untuk aplikasi self-cleaning terus dikembangkan. Membersihkan permukaan suatu material seperti kaca helm umumnya memerlukan tenaga, air bertekanan tinggi dan zat pembersih. Namun kini dengan menggunakan material *self cleaning* (swa bersih)

keperluan untuk membersihkan, konsumsi deterjen, serta biaya yang dikeluarkan dapat dikurangi secara signifikan

Ketika  $\text{TiO}_2$  diiluminasi dengan sinar UV yang bersumber dari lampu ataupun sinar matahari,  $\text{TiO}_2$  menawarkan dua kemampuan, yaitu:

1. Super Hidrofilik
2. Kemampuan oksidasi reduksi yang kuat melalui proses fotokatalitik

Prinsip utama dari self cleaning adalah pemanfaatan kemampuan hidrofilik dari  $\text{TiO}_2$  untuk membentuk lapisan hidroksil pada permukaan yang dilapisi oleh katalis. Dengan begitu kontaminan atau kotoran yang datang tidak kontak langsung atau menempel pada permukaan material sehingga lebih mudah untuk dibersihkan dan meminimalisasi kotoran yang menempel

Sinar matahari mengaktivasi lapisan  $\text{TiO}_2$  pada permukaan dinding menghasilkan gugus hidroksil yang berasal dari air yang teradsorpsi secara kimia dan fisik. Dengan begitu air yang datang ke permukaan akan langsung menyebar membentuk lapisan tipis yang dapat membersihkan kotoran yang menempel serta tidak meninggalkan bercak air pada permukaan

## 2.8 Indeks Bias

Indeks bias didefinisikan sebagai perbandingan antara panjang gelombang cahaya yang melewati medium pertama dengan panjang gelombang cahaya yang melewati medium kedua dalam fenomena gelombang cahaya yang melintasi dua medium yang berbeda. Walaupun demikian, nilai indeks bias secara sederhana dapat diketahui dari perubahan lintasan gelombang cahaya yang dapat teramati dari perbandingan antara nilai sinus sudut datang dengan sinus pada sudut bias. Dalam hukum Snellius (hukum pembiasan), perubahan posisi lintasan gelombang cahaya tersebut diakibatkan oleh perbedaan karakteristik dua medium yang meliputi kerapatan dan impedansi.

Penentuan indeks bias pada film  $\text{TiO}_2$  pada substrat polikarbonat sebagai aplikasi kaca helm penting untuk mengetahui sifat optik dari film yang sudah dibuat. Metode yang digunakan untuk menentukan indeks bias adalah dengan *envelope method*. Indeks bias pada berbagai panjang gelombang dihitung dengan menggunakan *envelope method* untuk  $T_{\max}$  ( $T_M$ ) dan  $T_{\min}$  ( $T_m$ ) dalam spectrum transmisi (Ilican *et al.*, 2007)

$$n = [N + (N^2 - n_s^2)^{1/2}]^{1/2} \quad (2.16)$$

$$N = 2 n_s \frac{T_M - T_m}{T_M T_m} + \frac{n_s^2 + 1}{2} \quad (2.17)$$

Dengan :  $n$  = Indeks bias film

$n_s$  = Indeks bias pada substrat dalam hal ini polikarbonat yang memiliki indeks bias 1,584-1,586

$T_M$  = Transmittansi maksimum

$T_m$  = Transmittansi minimum

## 2.9 Ultrasonikasi

Dalam reaksi kimia, panas dan cahaya memberikan masukan energi bagi reaksi. Begitu pula dengan energi suara, juga dapat memberikan efek bagi reaksi kimia. Suara merambat melalui gelombang mekanik. Frekuensi gelombang yang masih dapat didengar oleh telinga kita adalah antara 1 Hz hingga 16 kHz. Gelombang suara yang frekuensinya di atas 16 kHz, disebut dengan ultrasonik. Suara memiliki energi yang dapat diaplikasikan pada sistem kimia. Energi pada gelombang dapat dirumuskan sebagai berikut (Chang, 1994)

$$E = 2 \pi^2 f^2 A^2 \mu v t \quad (2.18)$$

dengan :  $E$  = Energi gelombang

$f$  = Frekuensi gelombang

$A$  = Amplitudo gelombang

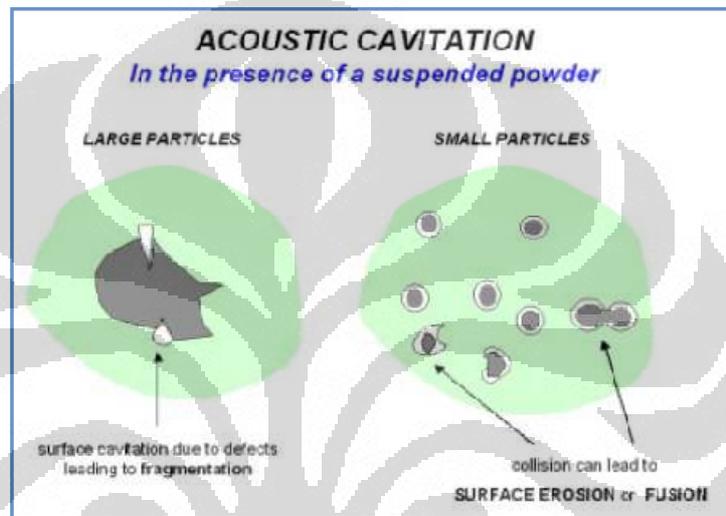
$\mu$  = Massa per satuan panjang dan medium yang dilewati

$v$  = Cepat rambat gelombang

$t$  = Waktu yang diperlukan untuk merambat

Iradiasi ultrasonik (sonokimia) berbeda dari sumber energi yang lainnya. Ultrasonik mempunyai keunikan dan keunggulan tersendiri, yaitu memiliki energi yang cukup tinggi yang dapat diberikan kepada zat lain dalam waktu yang singkat.

Efek ultrasonik tidak ditimbulkan langsung oleh gelombang suara, namun karena konsekuensi dari kavitasi akustik. Kavitasi akustik adalah pembentukan, pengembangan, dan pemecahan gelembung di dalam cairan yang disebabkan oleh gelombang suara. Kavitasi akustik dapat memecah partikel padatan menjadi lebih kecil. Hal ini terjadi akibat ketidaksempurnaan permukaan partikel yang berperan sebagai inti bagi pembentukan gelembung kavitasi pada permukaan yang selanjutnya saat pecah menjadi gelombang kejut yang dapat memecah partikel menjadi lebih kecil, seperti yang terlihat pada gambar 2.9 di bawah ini.



Gambar 2.9 Kavitasi akustik pada cairan yang mengandung padatan (Mason, 2008)

## 2.10 Metode Pelapisan *Spin Coating*

*Spin coating* atau juga seringkali disamakan dengan *centrifugal coating*, adalah metode pelapisan yang sederhana. Proses pelapisan melibatkan pendepositan fluida ke tengah substrat dan kemudian memutarinya pada kecepatan tinggi. Akselerasi sentripetal akan menyebabkan fluida menyebar merata hingga ke sudut-sudut substrat dan menghasilkan lapisan film tipis. Ketebalan akhir film dan sifat lainnya dipengaruhi oleh sifat fluida itu sendiri (viskositas, laju pengeringan, persentase padatan, tegangan permukaan, dan lain-lain) dan faktor alat. Faktor alat di antaranya meliputi kecepatan putaran dan akselerasi putaran.

*Spin coating* merupakan metode yang sederhana, tidak membutuhkan peralatan khusus yang rumit, dan pelapisan dapat menyeluruh ke semua permukaan substrat. Walaupun begitu, metode *spin coating* tetap memiliki kelemahan berupa adanya kemungkinan tidak meratanya lapisan (tebal di satu

bagian dan tipis di bagian lainnya) jika pengaturan kecepatan putaran tidak dilakukan dengan baik. Efektivitas proses pelapisan dinyatakan dengan TE (*transfer efficiencies*). *Spin coating* memiliki nilai TE 95-100%.

### 2.11 Polikarbonat

Polikarbonat merupakan jenis polimer yang memiliki gugus fungsional karbonat (-O-(C=O)-O-) dalam rantai panjang. Polikarbonat merupakan produk dari reaksi karbon dioksida dengan epoksida, yang memungkinkannya memiliki stabilitas termodinamika. Polikarbonat tergolong memiliki karakteristik yang cukup menjanjikan, yaitu memiliki kemampuan biodegradasi yang lebih baik dari polimer sejenis.

Polikarbonat termasuk polimer yang tahan terhadap benturan mekanis. Karakteristik polikarbonat hampir mirip dengan polimer *polymethyl methacrylate* (*PMMA; acrylic*), hanya saja polikarbonat lebih kuat dan dapat digunakan pada rentang suhu yang lebih tinggi walaupun sedikit lebih mahal. Polimer ini juga sangat transparan terhadap sinar tampak dan memiliki karakteristik transmisi cahaya yang lebih baik dibandingkan banyak jenis kaca.

Polikarbonat memiliki titik leleh hingga 227-260°C yang memungkinkannya diaplikasikan untuk berbagai produk tahan panas seperti termos, lensaacamata, *safety glass*. Selain itu, sifatnya yang transparan terhadap sinar tampak dan daya transmisinya yang baik membuatnya banyak diaplikasikan untuk kaca helm dan lensa cahaya (Giles, 2005)

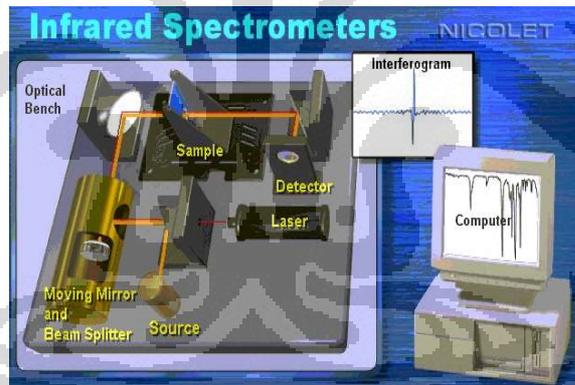
### 2.12 Karakterisasi Katalis

Karakterisasi katalis bertujuan untuk mengetahui data data spesifik katalis. Karakterisasi katalis yang digunakan pada penelitian ini adalah FTIR. Karakterisasi ini dilakukan untuk mengetahui ikatan ikatan yang terbentuk dari sampel.

Spektroskopi inframerah adalah salah satu metode karakterisasi struktur yang memberikan informasi berdasarkan ikatan yang terdapat pada suatu sampel. Berdasarkan teori-teori molekul yang ada, didapat kesimpulan bahwa hampir semua senyawa yang memiliki ikatan kovalen, baik organik maupun anorganik,

menyerap berbagai panjang gelombang radiasi elektromagnetik di daerah spektrum inframerah, pada daerah panjang gelombang 2,5-15  $\mu\text{m}$ .

Prinsip kerja FTIR adalah energi inframerah yang diemisikan dari sumber akan berjalan melalui bagian optik dari spektrofotometer. Gelombang sinar kemudian melewati *interferometer* dimana sinar dipisahkan oleh *beamsplitter*. Lima puluh persen (50%) dari intensitas sinar akan dipantulkan menuju cermin dengan posisi tetap dan sisanya menuju cermin bergerak. Selanjutnya sinar yang dikembalikan dari setiap cermin berbalik ke *beam splitter* yaitu sebagian sinarnya dikembalikan ke sumber inframerah dan sebagian lagi diarahkan ke ruang sampel. Setelah itu panjang gelombang itu akan diproses hingga menghasilkan suatu *interferogram*, yaitu suatu daerah waktu yang menggambarkan pola interferensi. Akhirnya hasil pengukuran tersebut diubah oleh *Analog Digital Converter* (ADC) menjadi format digital yang dapat digunakan oleh computer. Skema alat FTIR dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Skema alat FTIR

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Metode Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk membuat film  $\text{TiO}_2$  yang dilapiskan pada substrat berupa polikarbonat (bahan kaca helm). Film  $\text{TiO}_2$  dibuat dengan mencampurkan  $\text{TiO}_2$  degussa dengan TEOS sebagai aditif dengan metode pelapisan yaitu *spin coating*. Digunakan film  $\text{SiO}_2$  sebagai pelapis pertama pada substrat polikarbonat. Selanjutnya dilakukan pengujian kinerja film  $\text{TiO}_2$ , yaitu pengujian transparansi dari film, sifat hidrofilik film dengan sudut kontak antara air dan permukaan film sebagai parameternya, pengujian aktivitas fotokatalisis dengan konsentrasi senyawa organik per satuan waktu sebagai parameternya.

Berbagai variasi akan dilakukan untuk memperoleh film  $\text{TiO}_2$  yang transparan dan hidrofilik dengan metode tersebut. Variasi yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Variasi perbandingan % mol  $\text{TiO}_2$  dengan TEOS

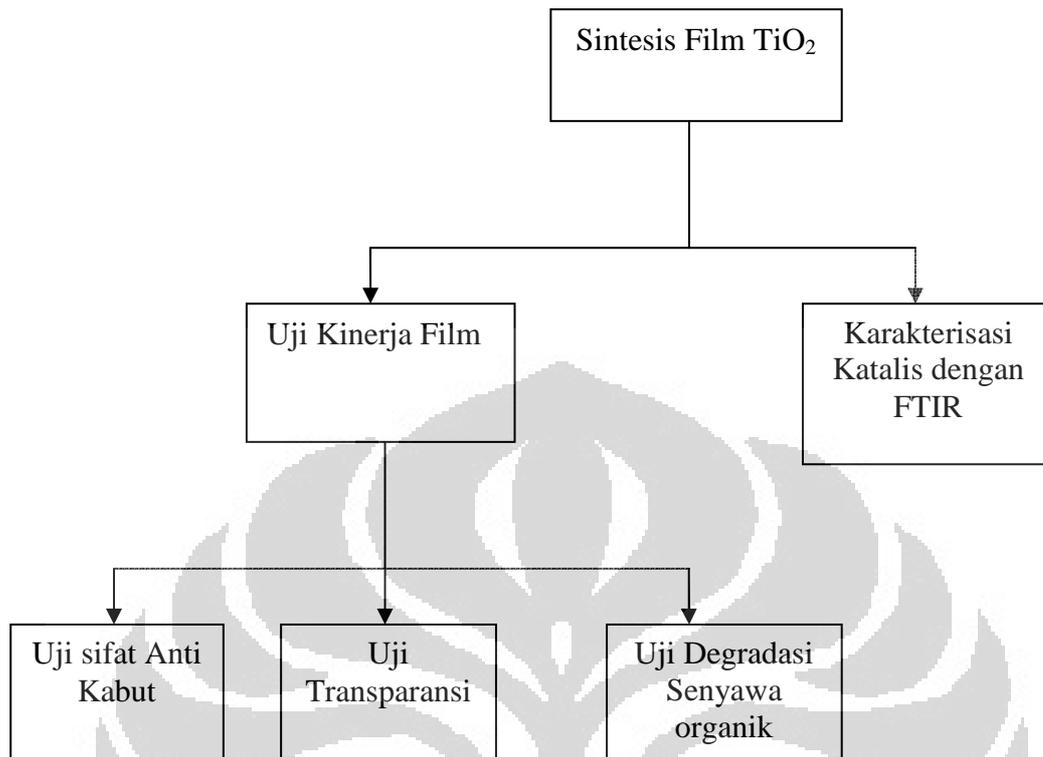
**Tabel 3.1 Variasi Sampel  $\text{TiO}_2$ /TEOS**

	Ti-0	Ti-50	Ti-60	Ti-70	Ti-90	Ti-100
TiO <sub>2</sub> (% mol)	0	50	60	70	90	100
SiO <sub>2</sub> (% mol)	100	50	40	30	10	0

2. Variasi waktu pengukuran sudut kontak antara yang langsung diukur dan ditingkatkan selama lima hari untuk mengetahui stabilitas film terhadap sifat hidrofilik

Untuk melihat properti fisik dari katalis  $\text{TiO}_2$  dalam bentuk film, dilakukan karakterisasi katalis. Karakterisasi yang digunakan adalah FTIR untuk melihat ikatan-ikatan yang terbentuk di dalam film  $\text{TiO}_2$  yang dihasilkan. Secara ringkas, penelitian ini ditampilkan dalam diagram alir pada gambar 3.1

### 3.2 Diagram Alir Proses



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.3 Alat Dan Bahan Penelitian

#### 3.3.1 Peralatan Sintesis Film TiO<sub>2</sub>

- Timbangan mekanik
- *Pipet volumetric* 10 mL
- *Beaker glass* 100 ml,
- Gelas ukur 50 dan 100 ml
- Spatula
- Pipet tetes
- Alat *spin coating*
- *Stop watch*
- *Hot plate magnetic stirrer*
- Pengaduk kaca

#### 3.3.2 Peralatan Karakterisasi Katalis

- FTIR

### 3.3.3 Peralatan Uji Kinerja

- *Contact Angle Meter*
- *UV-Vis Spectrophotometry*
- *Stopwatch*

### 3.4 Bahan

- Evonik Aeroxid TiO<sub>2</sub> P<sub>25</sub>
- Silika dioksida (SiO<sub>2</sub>)
- Methanol
- Asam Florida
- Asam Nitrat (HNO<sub>3</sub>)
- Etanol absolute
- Tetraetilortosilicat (TEOS)
- Asam klorida (HCl)
- Akuades
- lembar polikarbonat 5cm x 5cm

### 3.5. Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini dibuat film double layer pada substrat polikarbonat yang terdiri dari film SiO<sub>2</sub> dan film TiO<sub>2</sub>/TEOS

#### 3.5.1 Sintesis Film *double layer* SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>/TEOS

Prosedur penelitian ini secara umum dibuat sol SiO<sub>2</sub> kemudian sol yang telah jadi dilapiskan pada substrat polikarbonat kemudian substrat polikarbonat dikeringkan pada temperature 80°C dengan menggunakan *vacuum furnace*. Sol TiO<sub>2</sub>/TEOS dilapiskan pada substrat polikarbonat yang telah dilapisi SiO<sub>2</sub> dan dikeringkan pada temperature 80°C dengan menggunakan *vacuum furnace*

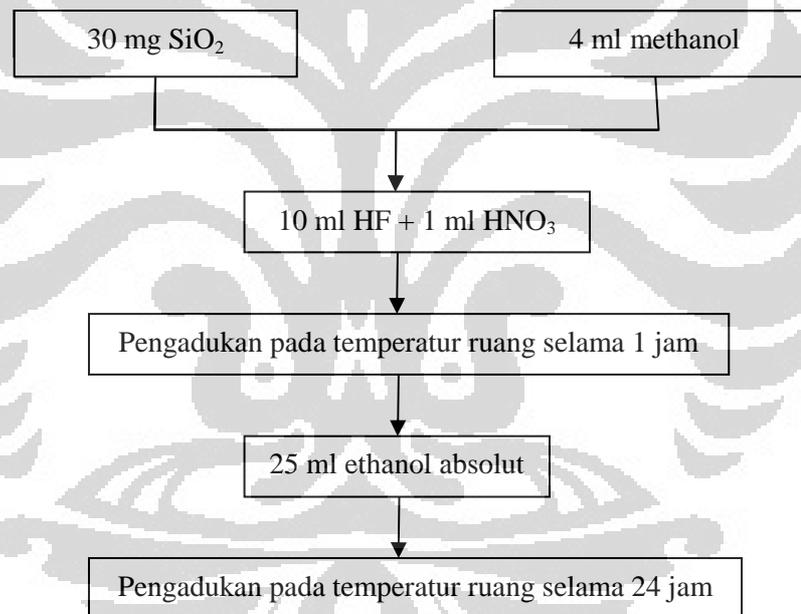
##### 3.5.1.1 Sintesis Sol SiO<sub>2</sub>

Tujuan dari tahapan ini adalah untuk mendapatkan film SiO<sub>2</sub> yang dilapisi pada substrat polikarbonat. Film SiO<sub>2</sub> digunakan sebagai perekat antara lapisan TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> dengan substrat (polikarbonat). Selain itu juga penggunaan film SiO<sub>2</sub> ini untuk melindungi substrat dari degradasi film TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>. Formasi bentuknya digambarkan pada gambar 3.2



Gambar 3.2. Pelapisan  $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$

$\text{SiO}_2$  dibuat dengan cara mendispersikan 30 mg  $\text{SiO}_2$  powder dalam 4 mL metanol absolut. Kedalam campuran tersebut ditambahkan campuran asam fluorida (HF, 49 wt%) dan asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ , 69% wt) (10/1 v/v) larutan diencerkan dengan etanol absolut. Campuran kemudian diaduk pada temperatur ambien selama 24 jam. Sintesis sol  $\text{SiO}_2$  dibuat dengan tahapan seperti digambarkan dalam gambar 3.3 berikut



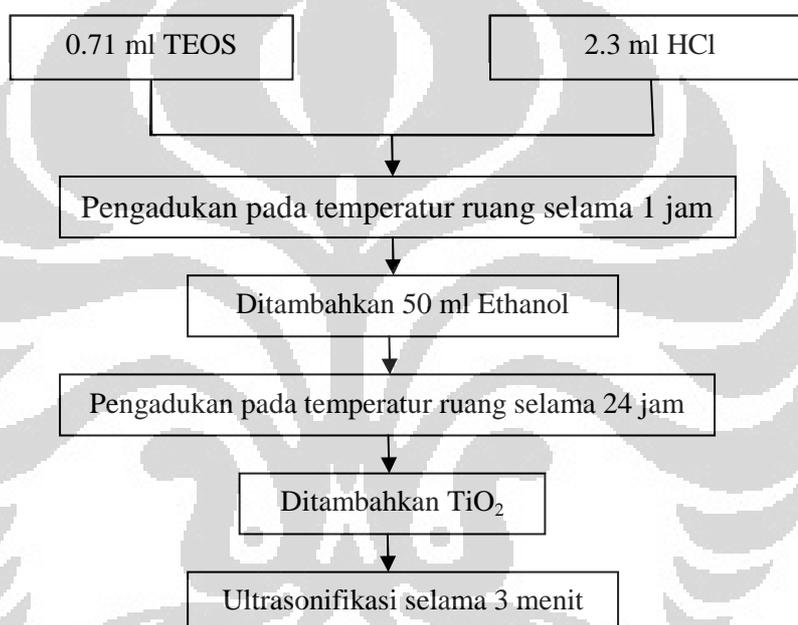
Gambar 3.3. Sintesis Sol  $\text{SiO}_2$

### 3.5.1.2 Pelapisan Sol $\text{SiO}_2$ Pada Polikarbonat

Selanjutnya adalah proses pendeposisian sol  $\text{SiO}_2$  pada substrat polikarbonat (bahan kaca helm). Sol yang terbentuk segera dilapiskan pada substrat mengingat temperatur deposisi juga memegang peranan penting bagi daya lekat film di permukaan (Sugimoto *et al.*, 2003). Metode yang digunakan adalah metode spin coating. pemanasan film dilakukan dengan menggunakan *vacuum furnace* pada  $80^\circ\text{C}$ .

### 3.5.1.3 Sintesis Sol TiO<sub>2</sub>/TEOS

TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> dibuat dengan cara mencampurkan 7,1 ml tetraetil orto silikat (TEOS, 98%) dengan 2,3 ml (0.1N) asam klorida (HCl, 37%) dan aduk pada suhu ambien di udara selama satu jam. Campuran kemudian diencerkan dengan etanol absolut. Berikutnya Evonik Aeroxid TiO<sub>2</sub> P<sub>25</sub> ditambahkan ke campuran. Sol dihasilkan dilapisi ke kaca helm berbahan polikarbonat dengan metode *spin coating*. Sintesis sol SiO<sub>2</sub> dibuat dengan tahapan seperti digambarkan dalam gambar 3.4 berikut



Gambar 3.4. Sintesis Sol TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>

### 3.5.1.4 Pelapisan Sol TiO<sub>2</sub>/TEOS Pada Polikarbonat

Selanjutnya adalah proses pendeposisian sol TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> pada substrat kaca helm. Sol yang terbentuk segera dilapiskan pada substrat mengingat temperatur deposisi juga memegang peranan penting bagi daya lekat film di permukaan (Sugimoto *et al.*, 2003). Metode yang digunakan adalah metode *spin coating*. pemanasan film dilakukan dengan menggunakan oven pada 80°C.

### 3.5.2 Karakterisasi Katalis

Pola difraksi film TiO<sub>2</sub> dievaluasi dengan. Spektra FTIR dari film TiO<sub>2</sub> diuji dengan Perkin-Elmer Tipe Spectrum One. Transmittansi film diukur dengan UV-Vis Spektrofotometer Hitachi pada rentang panjang gelombang 400-800 nm. Sementara itu, sudut kontak diukur dengan *Contact Angle Meter* Kyowa Kaimenkagaku Co. Ltd

### 3.5.3 Uji Kinerja Film TiO<sub>2</sub>/TEOS

Uji kinerja ini bertujuan untuk melihat kualitas film yang telah dihasilkan dari berbagai aspek. Kinerja utama yang akan ditinjau adalah hidrofilitas, transmittansi, aktivitas fotokatalisis, dan absorbansi film untuk melihat kehomogenan dan kestabilan film yang dihasilkan.

#### 3.5.3.1 Uji Sifat Anti Kabut

##### 1. Uji Kuantitatif

Pengujian sudut kontak dilakukan dengan menggunakan variabel sudut kontak antara air dan substrat. Uji ini bertujuan untuk mengetahui sifat hidrofilik dan anti kabut dari polimer yang telah dilapisi katalis. Pengukuran sudut kontak dilakukan dengan alat *Contact Angle Meter*. Sudut kontak diukur dengan mikroskop yang dipasang secara horizontal terhadap sampel pada suhu ruang. Prosedur dari pengukuran sudut kontak adalah sebagai berikut :

- Meneteskan air pada permukaan *support* yang akan diukur sudut kontak. Ukuran tetesan air dibuat konstan dengan diameter 20 mm.
- Mencatat sudut kontak setiap menitnya selama 10 menit atau dengan kata lain air yang ditetaskan telah menyebar seluruhnya pada permukaan *support* atau substrat.

Alat *contact angle meter* yang digunakan ditampilkan pada gambar 3.5 berikut.



**Gambar 3.5** *Contact angle meter* ([www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org), 2009)

## 2. Uji Kualitatif

Uji Kualitatif untuk sifat anti kabut dilakukan dengan cara meletakkan lembar polikarbonat yang berlapis katalis  $\text{TiO}_2/\text{TEOS}$  dan lembar polikarbonat tanpa katalis. Kepada keduanya dilakukan perlakuan yang sama dengan menyemprot air ke masing masing polikarbonat baik yang dilapisi katalis dan tanpa katalis, kemudian dilakukan pengamatan secara visual permukaan kedua jenis polikarbonat tadi (diambil gambar dengan menggunakan kamera) untuk mengetahui perbedaan antara keduanya.

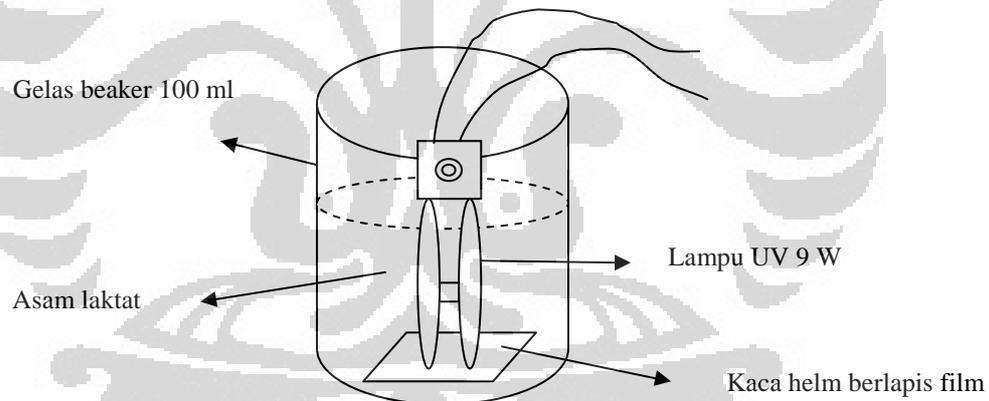
### 3.5.3.2 Uji Degradasi Senyawa Organik

Pengujian kedua, yaitu uji aktivitas fotokatalisis dilakukan dengan tujuan melihat seberapa baik aktivitas fotokatalisis dari film yang dihasilkan. Pengujian aktivitas fotokatalisis ini menggunakan proses degradasi senyawa organik sebagai proses acuannya dengan konsentrasi larutan sebagai variabel yang diukur. Senyawa organik yang digunakan adalah asam laktat dengan konsentrasi 80% b/b. Adapun prosedur pengujiannya adalah sebagai berikut.

- Larutan asam laktat 80% b/b diencerkan hingga didapat larutan asam laktat encer dengan konsentrasi yang ditentukan kemudian.
- Dimasukkan 50 ml larutan asam laktat yang telah diencerkan ke dalam gelas beker 100 ml.

- Desain eksperimen dirancang dengan mencelupkan lampu UV 9 W ke dalam gelas beker yang telah berisi asam laktat encer.
- Substrat (kaca helm) yang telah dilapisi  $\text{TiO}_2$  dicelupkan ke dalam asam laktat. Selanjutnya adalah penyalaan lampu UV 9 Watt.
- Dilakukan pengamatan pada sampel larutan asam laktat selama 90 menit dengan mencatat perubahan absorbansi larutan setiap selang waktu 10 menit. Perubahan absorbansi diukur dengan memasukkan beberapa tetes sampel larutan ke dalam kuvet yang kemudian diukur dengan UV-Vis spektrofotometer. Intensitas pita absorpsi UV diset pada panjang gelombang optimum asam laktat, yaitu sebesar 350 nm.
- Data mentah berupa absorbansi selanjutnya akan diolah untuk mendapatkan data konsentrasi asam laktat setiap satuan waktu dengan menggunakan hukum Lambert-Beer.

Desain eksperimen untuk uji degradasi senyawa organik ditampilkan pada gambar 3.6 berikut.



**Gambar 3.6** Desain eksperimen uji degradasi senyawa organik

### 3.5.3.3 Uji Transparansi Film

Transparansi ditinjau berdasarkan data transmitansi dari film  $\text{TiO}_2$ . Prosedurnya sama seperti pengujian degradasi senyawa organik, hanya saja sampel yang diukur transmitansi adalah kaca helm berlapis film. Transmitansi diukur dalam rentang panjang gelombang sinar tampak 400-800 nm.

#### 3.5.3.4 Uji swa bersih

Uji Kualitatif terhadap swa bersih dilakukan dengan cara meletakkan sejumlah lembar polikarbonat ukuran 5 cm x 5 cm yang dilapisi katalis  $\text{TiO}_2$  dan lembar polikarbonat yang tanpa dilapisi katalis sebagai pembanding. Polikarbonat yang telah dan tidak dilapisi katalis  $\text{TiO}_2$  diletakkan secara selang seling untuk mengevaluasi sejauh mana kemampuan self cleaning dari katalis  $\text{TiO}_2$ . Sebelumnya lembar poliarbonat di letakkan dibawah sinar matahari selama 30 menit, kemudian kepada permukaannya di kotori oleh lumpur. Setelah itu siram lumpur yang menempel pada polikarbonat tersebut. Lakukan pengamatan secara visual permukaan kedua jenis polikarbonat tadi (diambil gambar dengan kamera) untuk mengetahui perbedaan antara polikarbonat yang dilapisi dengan tanpa lapisan katalis  $\text{TiO}_2$

#### 3.6 Pengolahan Dan Analisis Data

Data yang akan diperoleh dari penelitian ini seperti data hasil karakterisasi dan uji kinerja dikumpulkan dari data yang dihasilkan oleh alat yang digunakan secara spesifik. Data-data tersebut kemudian akan diolah, dianalisis, dan selanjutnya akan ditarik suatu kesimpulan terhadap hasil penelitian yang dilakukan.

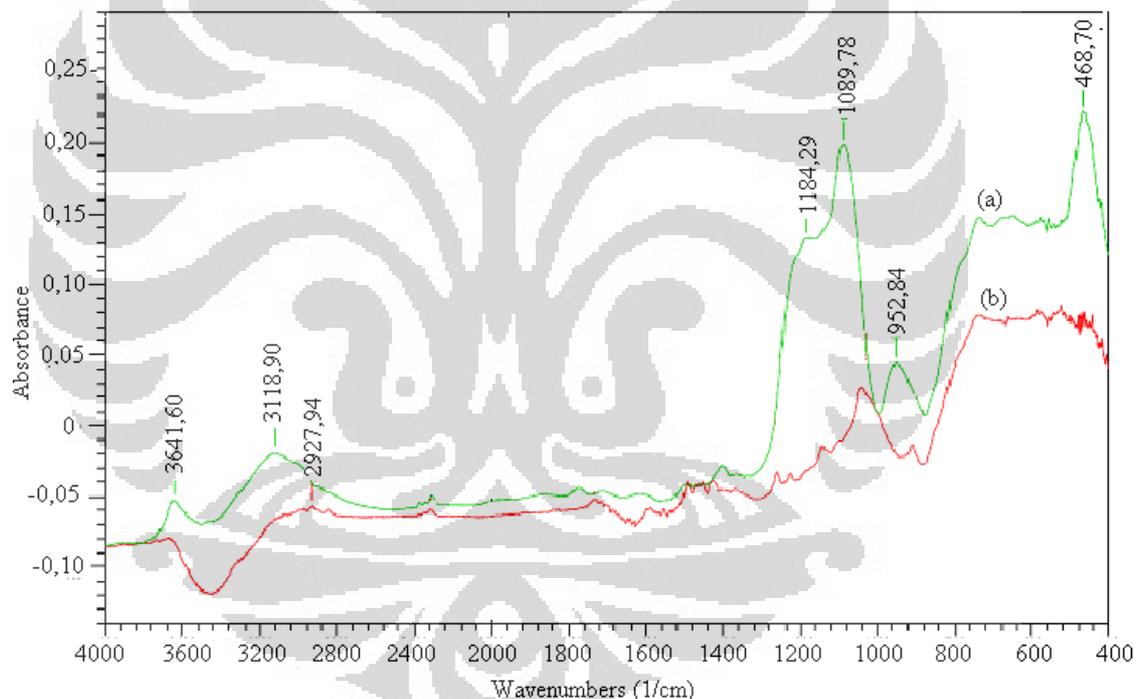
Analisis data terdiri dari dua bentuk analisis yang bergantung pada jenis data. Untuk data yang sifatnya kuantitatif, analisis dilakukan secara kuantitatif dan untuk data yang bersifat kualitatif, analisis dilakukan secara kualitatif. Media yang digunakan untuk analisis kuantitatif berupa grafik, kurva, tabulasi, atau diagram. Sementara analisis kualitatif dapat berupa gambar dan penarikan kesimpulan secara induktif.

## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini digunakan definisi sampel dan simbol untuk memudahkan dalam analisis dan pengolahan data mengacu pada tabel 3.1 sehingga untuk selanjutnya seluruh simbol dan definisi sampel mengacu kepada keterangan pada tabel 3.1 tersebut

### 4.1 Karakterisasi Film

Hasil Pengujian FTIR untuk film Ti-70 dan Ti-0 ditunjukkan pada gambar 4.1 berikut ini pada range bilangan panjang gelombang  $500\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ . Dengan penambahan silika terlihat adanya serapan serapan pita tertentu yang tidak muncul pada sampel  $\text{TiO}_2$  murni.



Gambar 4.1 Spektra Absorbansi IR untuk (a)Ti- 70 dan (b)Ti-0

Spektra FTIR dari campuran titania-silika dikarakterisasi dengan pita spesifik ikatan titanium atau silikon. Pada sampel Ti-70 terlihat peak yang muncul pada bilangan gelombang  $940\text{-}960\text{ cm}^{-1}$  dan  $1042,78$ . Menurut Guan , kedua peak disekitar bilangan gelombang tersebut dianggap sebagai *symmetric stretching vibrations* dari ikatan Si-O-Si dan Ti-O-Si. Oleh karena itu preparasi katalis  $\text{TiO}_2$  yang telah dilakukan tidak hanya membentuk partikel *single oxide* Si-O-Si namun

juga membentuk ikatan *mixed oxide* Ti-O-Si. Puncak spectra pada bilangan gelombang 3620,1 yang cukup tajam menunjukkan adanya vibrasi OH yang berasal dari silanol (Si-OH). Puncak spectra pada bilangan bilangan gelombang 522 menunjukkan adanya ikatan Si-O (Sutrisno *et al.*, 2005)

## 4.2 Uji Kinerja Film

### 4.2.1 Uji Sifat Anti Kabut.

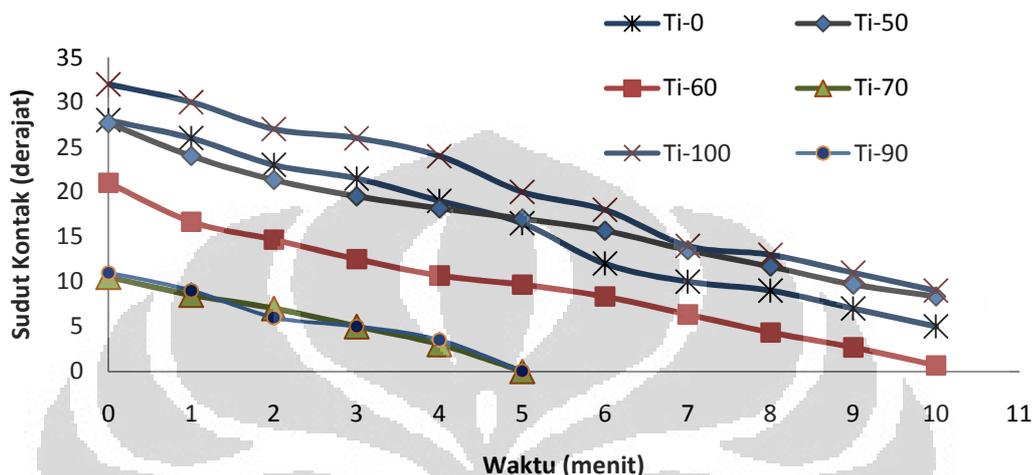
Uji kualitatif sifat anti kabut dilakukan dengan mengukur sudut kontak antara air dengan substrat polikarbonat yang telah dilapisi oleh film TiO<sub>2</sub>. Film dikatakan memiliki sifat anti kabut jika sudut kontak yang diperoleh dibawah 5° (Licciuli, 2002) .

Seperti yang sudah dijelaskan pada bab percobaan, dibuat film dengan 2 lapisan yang terdiri atas lapisan SiO<sub>2</sub> pada lapisan pertama dan lapisan TiO<sub>2</sub>/TEOS pada lapisan kedua. Penambahan SiO<sub>2</sub> pada lapisan pertama dimaksudkan untuk meningkatkan ikatan antara film TiO<sub>2</sub>/TEOS dengan substrat organik dalam hal ini polikarbonat sebagai bahan dasar kaca helm. Selain itu juga penambahan SiO<sub>2</sub> pada lapisan pertama dimaksudkan untuk melindungi substrat polikarbonat dari degradasi fotokatalitik TiO<sub>2</sub>/TEOS.(Fateh *et al.*, 2005)

TiO<sub>2</sub> merupakan bahan semikonduktor yang memiliki aktifitas fotokatalitik yang tinggi. Jika material ini diirradiasi dengan foton yang memiliki energi > 3,2 eV (panjang gelombang < 388 nm), elektron akan terpromosikan dari pita valensi menuju pita konduksi. Konsekuensinya, terbentuklah muatan elektron dan *holes*. Elektron yang dihasilkan akan mereduksi zat organik yang ada di sekitar permukaan semi konduktor, dan *hole* akan mengoksidasi air atau gugus air pada permukaan partikel maka akan dihasilkan radikal hidroksi yang memiliki potensial redoks sebesar 2,8 Volt (relatif terhadap elektroda hydrogen Nernst). Potensial sebesar ini cukup kuat untuk mengoksidasi kebanyakan zat organik menjadi air, asam mineral, dan karbon dioksida (Licciuli, 2002). Dengan adanya lapisan film SiO<sub>2</sub> pada lapisan pertama maka substrat organik polikarbonat dapat terlindungi dari aktifitas fotokatalitik film TiO<sub>2</sub>/TEOS

Aktifitas hidrofilik dari film TiO<sub>2</sub> dievaluasi dengan mengukur sudut kontak air dengan permukaan katalis film. Pengujian ini dilakukan pada 6 sampel

dengan berbagai variasi jumlah  $\text{TiO}_2$ . Pengukuran sudut kontak pengujian dilakukan dengan menggunakan cahaya tampak dengan *contact Angle Meter* pada kondisi temperatur ruang. Pengaruh variasi jumlah  $\text{TiO}_2/\text{TEOS}$  terhadap sifat hidrofilik yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut



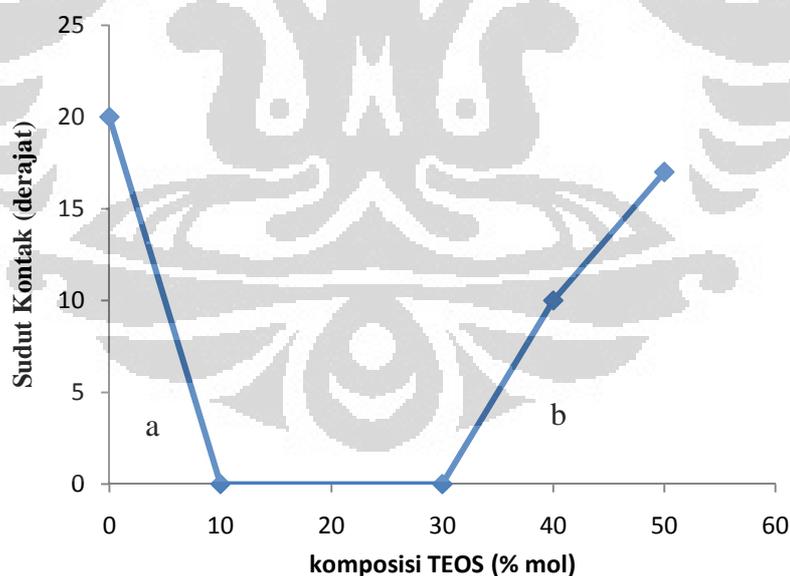
Gambar 4.2 Sudut Kontak Air Pada Variasi  $\text{TiO}_2/\text{TEOS}$

Dari gambar 4.2 terlihat bahwa sampel dengan penambahan silika menunjukkan sudut kontak air yang lebih kecil dibandingkan dengan sampel  $\text{TiO}_2$  murni (Ti-100). Sudut kontak yang kecil dapat dicapai bila terbentuk gugus hidroksil yang stabil pada permukaan sehingga ketika air datang dapat langsung berikatan dengan gugus hidroksil ini membentuk multi layer hidroksil yang mengakibatkan permukaan menjadi hidrofilik

Gugus hidroksil yang stabil pada permukaan sangat penting peranannya dalam menjaga hidrofilitas dari katalis. Gugus hidroksil yang stabil akan dengan mudah terbentuk oleh adanya ikatan lewis antara air dengan permukaan katalis (*chemisorbed water*) yang sangat mungkin terjadi bila permukaan bersifat asam. Permukaan yang bersifat asam dapat terjadi karena adanya kelebihan muatan positif pada struktur katalis. Pada katalis dengan penambahan TEOS, kelebihan muatan positif mungkin terjadi karena silika memasuki struktur titania sehingga membentuk ikatan Ti-O-Si (Guan, 2005)

Namun peningkatan komposisi TEOS tidak secara linear menyebabkan penurunan sudut kontak. Gambar 4.3 menunjukkan besar sudut kontak pada menit

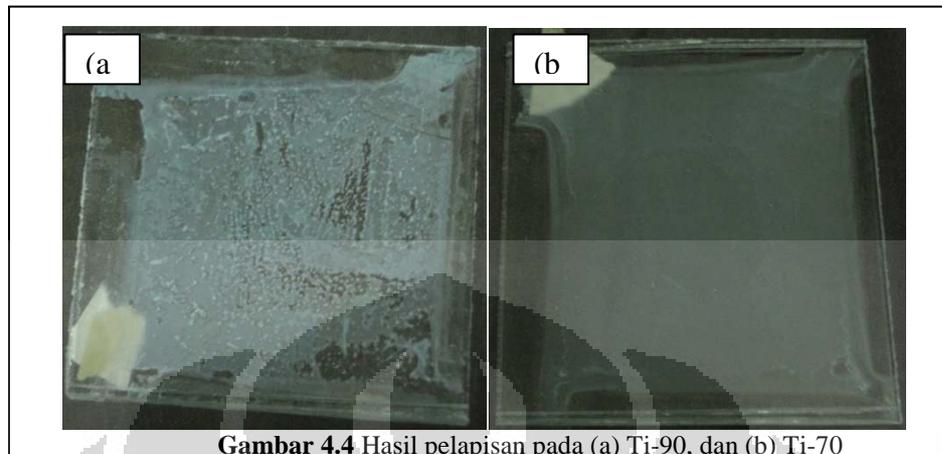
ke 5 pada beberapa variasi komposisi  $\text{TiO}_2$  dan TEOS. Berdasarkan gambar 4.3 dapat terlihat bahwa bertambahnya komposisi TEOS dari 0% menjadi 10% (sebagaimana pada daerah a di gambar 4.3) menurunkan sudut kontak film dari  $20^\circ$  menjadi  $0^\circ$  dan tetap bertahan pada  $0^\circ$  sampai komposisi TEOS 30%, hal ini diakibatkan karena dengan adanya penambahan dopan TEOS ke dalam katalis  $\text{TiO}_2$  membentuk ikatan Ti-O-Si. Adanya ikatan Ti-O-Si dapat menyebabkan permukaan katalis menjadi asam. Dengan permukaannya yang asam gugus hidroksil akan lebih banyak diserap. Namun demikian penambahan komposisi TEOS dari 30% menjadi 50% TEOS ternyata menyebabkan peningkatan sudut kontak yang cukup signifikan dari  $0^\circ$  menjadi  $17^\circ$  (sebagaimana daerah b pada gambar). Hal ini mungkin disebabkan pada komposisi 40% dan 50% mol TEOS, silika telah mencapai kejenuhan sehingga beberapa silika tidak berpartisipasi pada pembentukan ikatan Ti-O-Si yang berkontribusi pada hidrofilitas permukaan. (Jung *et al.*, 1999). Selain itu juga dengan bertambahnya silika maka komposisi  $\text{TiO}_2$  dalam film menjadi berkurang sehingga dapat mengakibatkan berkurangnya aktifitas fotokatalisis dari film yang telah dibuat.



**Gambar 4.3** Sudut Kontak Pada Menit Ke 5 Untuk Beberapa Variasi Ti/Si

Namun apabila dilihat secara visual seperti pada gambar 4.4 film Ti-70 (komposisi TEOS 30%) memiliki morfologi permukaan yang lebih baik dimana katalis  $\text{TiO}_2$  terlapis merata pada permukaan substrat polikarbonat dan memiliki

daya lekat yang lebih baik dibandingkan dengan film Ti-90 (komposisi TEOS 10%).



**Gambar 4.4** Hasil pelapisan pada (a) Ti-90, dan (b) Ti-70

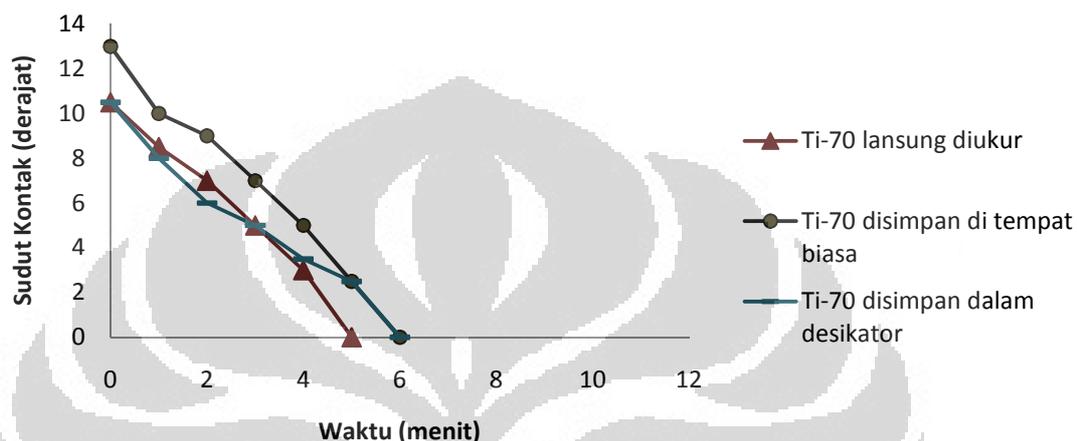
Dari gambar di atas dapat terlihat jelas bahwa sampel Ti-70 memiliki hasil pelapisan yang lebih baik dibandingkan Ti-90. Hal ini mungkin disebabkan jumlah  $\text{TiO}_2$  sudah berlebih dalam sol sehingga molekul  $\text{TiO}_2$  cenderung menggumpal akibatnya titania tidak terdispersi sempurna pada substrat polikarbonat.

Pada penelitian yang sebelumnya dilakukan modifikasi film  $\text{TiO}_2$  dengan penambahan dopan  $\text{SiO}_2$  dimana digunakan prekursor Ti AcAc dan dikalsinasi pada temperature  $500^\circ\text{C}$  selama 100 menit diperoleh sudut kontak sebesar  $7^\circ$  pada sampel yang dilapisi katalis dengan komposisi penambahan  $\text{SiO}_2$  sebesar 30%. Sudut kontak yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan yang diperoleh pada penelitian ini ( $10.5^\circ$ ), hal ini disebabkan karena komposisi anatase yang diperoleh pada penelitian tersebut lebih besar dibandingkan dengan komposisi anatase pada  $\text{TiO}_2$  degussa, sehingga aktifitas fotokatalisis yang dihasilkan lebih baik.

Kembali ke gambar 4.2 Pada blanko yang berarti tidak terdapat  $\text{TiO}_2$  didalamnya sudut kontak yang dihasilkan sebesar  $28^\circ$  dan menurun pada menit ke 10 sebesar  $8^\circ$ . Kondisi ini disebabkan karena pada blanko terbentuk ikatan Si-OH yang stabil pada permukaan film. Gugus hidroksil yang stabil pada permukaan film sangat besar perannya dalam meningkatkan sifat hidrofilik film. Dengan permukaan yang asam gugus hidroksil akan lebih banyak dan lebih suka diserap

dibanding kontaminan atau senyawa organik, sehingga dapat meningkatkan sifat hidrofilik. (Guan, 2005)

Pengukuran sudut kontak juga dilakukan pada selang waktu 5 hari setelah pelapisan untuk melihat stabilitas film. Gambar 4.5 menunjukkan besar sudut kontak film yang diukur setelah disimpan 5 hari di tempat biasa, dan yang disimpan di dalam desikator



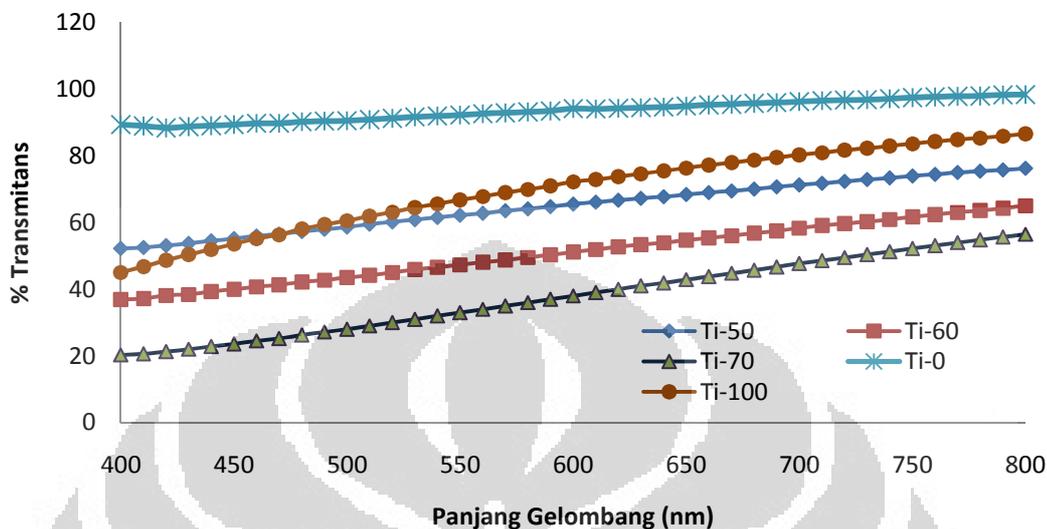
**Gambar 4. 5** Pengaruh Waktu dan Tempat Penyimpanan Terhadap Sudut Kontak

Dari gambar 4.4 dapat dilihat Sudut kontak Ti-70 meningkat dari  $10,5^\circ$  menjadi  $13^\circ$  setelah disimpan di tempat biasa selama 5 hari. Hal ini diduga disebabkan oleh sejumlah alasan, di antaranya adalah terkontaminasinya kembali polikarbonat oleh hidrokarbon yang ada di udara dan telah jenuhnya permukaan film oleh uap air di udara. Film yang telah menyerap air di permukaannya memiliki batas maksimal kejenuhan sehingga jika telah melampaui batas jenuhnya, sudut kontak yang terbentuk hanyalah merupakan hasil dari ikatan hidrogen antara molekul air dengan molekul air yang telah lebih dulu ada di permukaan film.

#### 4.2.2 Transparansi Film

Transparansi film yang dihasilkan dapat ditentukan melalui pengukuran transmitansi dari film yang dilapiskan pada substrat (kaca helm berbahan polikarbonat). Transparansi merupakan salah satu parameter optis penting untuk berbagai macam aplikasi. Suatu material dikatakan transparan manakala material

tersebut memiliki nilai transmitansi yang tinggi di area panjang gelombang cahaya tampak ( $\lambda = 400-760$  nm) (Ghamsari, 2008). Gambar 4.6 menunjukkan hasil pengukuran transmitansi dari film pada berbagai komposisi TiO<sub>2</sub>/TEOS

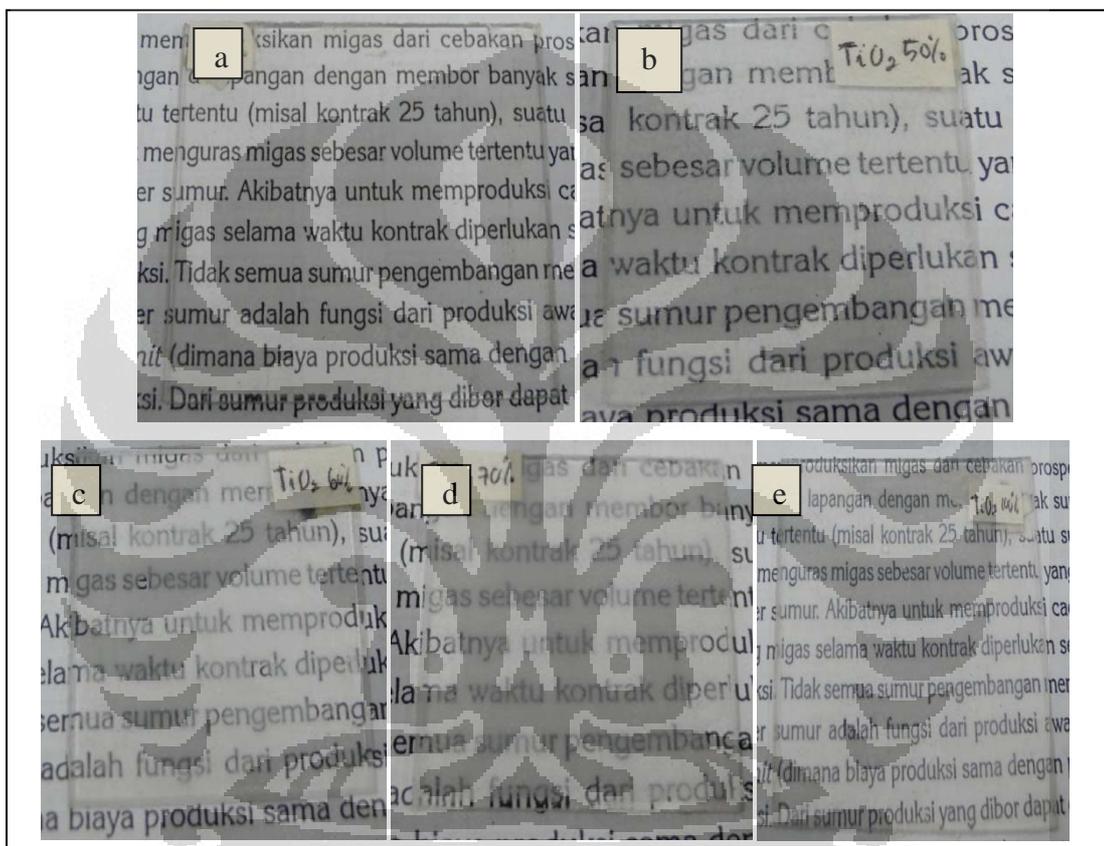


**Gambar 4.6** Transmitansi Film Pada Panjang Gelombang Sinar Tampak

Transmitansi film polikarbonat menurun dengan menurunnya jumlah TiO<sub>2</sub> pada film, tapi meningkat pada film Ti-100. Hal ini disebabkan pada film Ti-100 tidak ada TEOS yang berfungsi sebagai perekat antara TiO<sub>2</sub> dengan substrat polikarbonat sehingga jumlah TiO<sub>2</sub> yang menempel pada substrat kurang dibandingkan dengan Ti-60. Telah dijelaskan sebelumnya bahwa penambahan dopan TEOS ke dalam katalis dapat meningkatkan sifat hidrofilik katalis hal ini menyebabkan kaca helm polikarbonat dapat terbasahi dan tidak membentuk butiran *droplet* sehingga memungkinkan katalis dapat menempel lebih sempurna (Fateh *et al.*, 2008)

Transmitansi film sangat dipengaruhi oleh ukuran kristal yang terbentuk. Pada penelitian ini digunakan TiO<sub>2</sub> degussa, dengan komposisi anatase dan rutile sebesar 70:30 dan ukuran rata-rata kristal sebesar 30 nm (Noorjahan *et al.*, 2002). Ukuran kristal yang cukup besar membuat film menjadi tidak transparan. Semakin besar konsentrasi TiO<sub>2</sub> maka film menjadi tidak transparan tetapi memiliki aktifitas fotokatalistik yang lebih baik terbukti pada pengukuran sudut kontak diperoleh presentase optimum pada Ti-70

Gambar 4.7 menunjukkan foto polikarbonat yang telah dilapisi oleh katalis  $\text{TiO}_2$  dengan beberapa variasi  $\text{TiO}_2$  dan TEOS. Terlihat pada gambar (a) polikarbonat yang tanpa dilapisi katalis  $\text{TiO}_2$  memiliki transparansi yang sangat jelas, dan polikarbonat mulai berkurang transparansi pada sampel (c) Ti-60 dan terus menurun transparansinya pada sampel (d) Ti-70, dan kembali meningkat pada sampel (e) Ti-100.



**Gambar 4.7** Foto Polikarbonat dengan rasio % mol  $\text{TiO}_2$ /TEOS(a). Ti-0 (b) Ti-50 (c) Ti-60 (d) Ti-70 (e) Ti-100

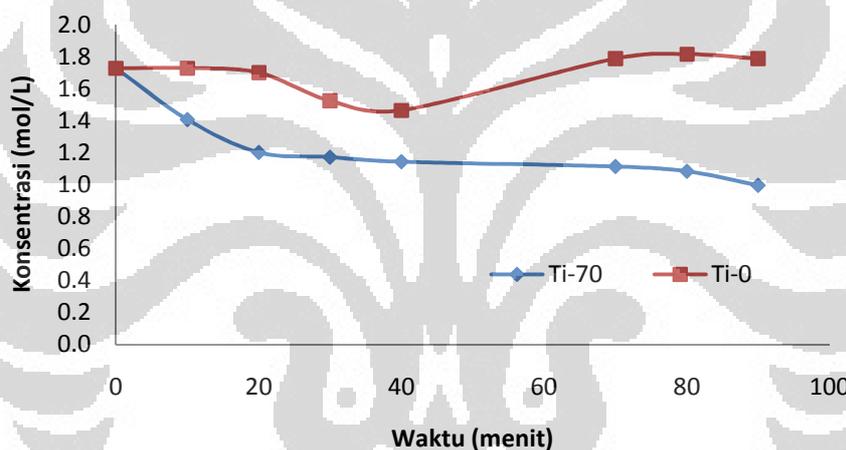
Transmitansi film pada blanko yang berarti tidak mengandung  $\text{TiO}_2$  degussa  $\text{P}_{25}$  memiliki transmitansi yang sangat tinggi. Hal ini jelas memberikan informasi bahwa penyebab utama film menjadi tidak transparan adalah adanya penambahan  $\text{TiO}_2$ .

Dari pengukuran indeks bias pada sampel Ti-70 dengan menggunakan *envelope method* dimana pengukuran indeks bias didasarkan pada transmitansi maksimum dan minimum dari sampel Ti-70 yang dilakukan pada rentang panjang

gelombang 400 nm-800 nm diperoleh nilai indeks bias sebesar 1,6798. Dengan kenaikan indeks bias sebesar 6.3%

### 4.2.3 Uji Degradasi Senyawa Organik

Uji Degradasi senyawa organik dilakukan dengan mengukur perubahan konsentrasi asam laktat terhadap waktu iradiasi. Gambar 4.8 menunjukkan uji degradasi fotokatalisis asam laktat. Terlihat dalam gambar tersebut film dengan lapisan Ti-0 tidak memiliki kemampuan untuk mendegradasi asam laktat berbeda dengan film yang dilapisi oleh Ti-70. Terlihat konsentrasi asam laktat menurun dari 1.7 M pada menit ke 0 turun pada menit ke 90 menjadi 0.99 M



**Gambar 4.8** Hubungan antara konsentrasi asam laktat dengan waktu iradiasi

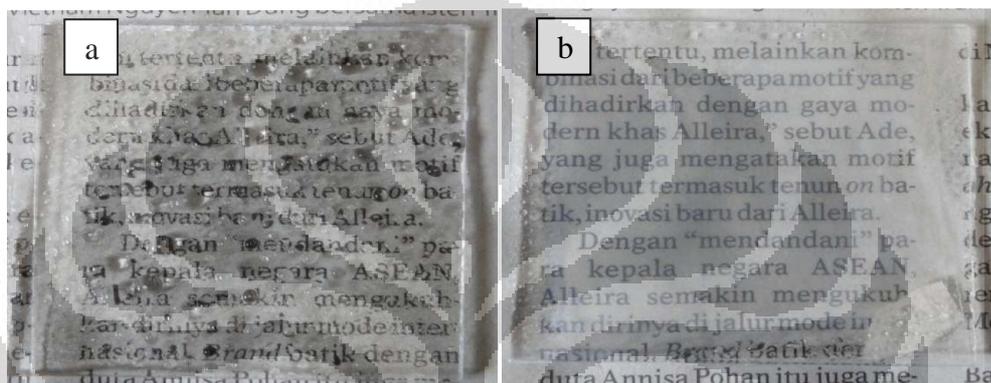
Film Ti-70 mampu mendegradasi asam laktat, hal ini disebabkan karena aktifitas fotokatalisis pada Ti-70. Ketika substrat yang dilapisi Ti-70 disinari cahaya UV maka terjadi eksitasi pasangan elektron dan *hole*. Elektron yang tereksitasi ini kemudian bereaksi dengan molekul oksigen membentuk anion radikal  $O_2^-$  dan *hole* bereaksi dengan air menghasilkan radikal OH. Kedua jenis radikal ini dapat bekerja bersama-sama untuk mendekomposisi radikal organik. (Gunlazuardi, 2001)

### 4.3 Uji Kualitatif

Uji kualitatif dilakukan terhadap film yang telah diperoleh. Uji kualitatif ini dimaksudkan untuk mengetahui sampai sejauh mana kinerja film dapat diaplikasikan sebagai kaca helm swa bersih dan anti kabut

#### 4.3.1 Uji Sifat Anti Kabut

Uji sifat anti kabut dilakukan dengan menyemprotkan air ke film yang telah dilapisi  $\text{TiO}_2$  dan film yang tidak dilapisi sama sekali



Gambar 4.9 Hasil Uji Anti Kabut Kondisi Film Setelah disiram air

(a) tanpa katalis, dan (b)  $\text{Ti-70}$

Sifat hidrofilik pada kaca helm menjadi hal yang sangat penting. Pelapisan katalis  $\text{TiO}_2$  dalam bentuk film di atas kaca helm dapat memberikan sifat anti kabut sehingga mampu membuat kenyamanan berkendara tetap terjaga meskipun cuaca tidak bersahabat

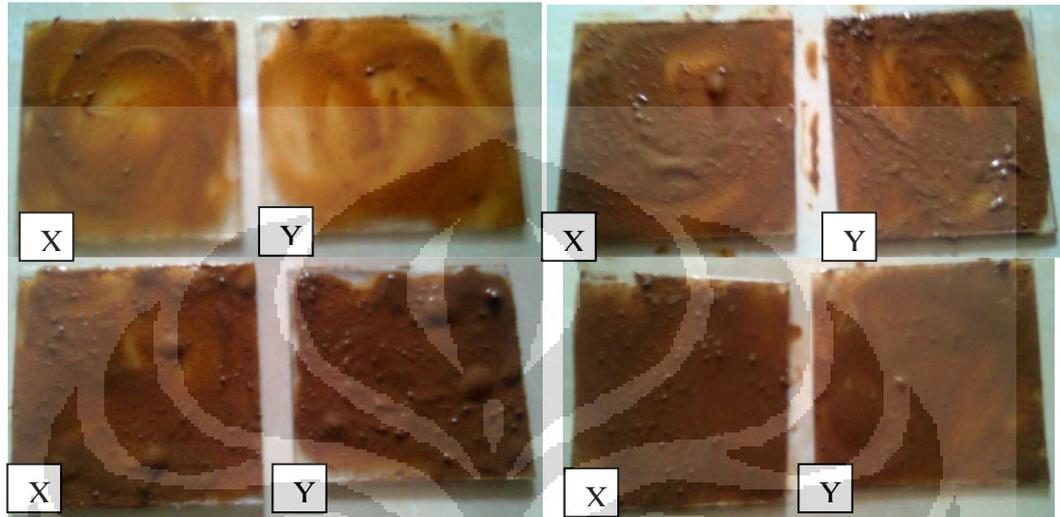
Substrat polikarbonat yang telah dilapisi  $\text{Ti-70}$  dan tidak dilapisi disusun seperti pada gambar di atas, kemudian disemprotkan air menggunakan *sprayer*. Terlihat bahwa pada sustrat yang dilapisi titania, air langsung tersebar membentuk lapisan (tidak terbentuk butiran/*droplet* air), sedangkan pada potongan yang tidak dilapisi, terlihat butiran-butiran/*droplet* air. Dengan demikian, terbukti bahwa plat yang dilapisi  $\text{TiO}_2$  memiliki sifat hidrofilik, sehingga dapat membentuk lapisan air yang tipis.

#### 4.3.2 Uji Swa Bersih

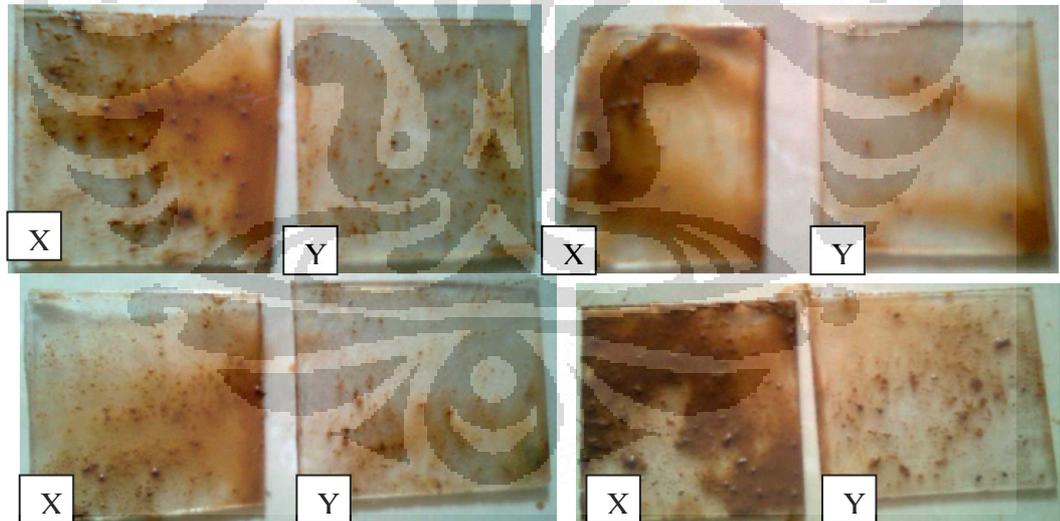
Pengujian kemampuan swa bersih dilakukan dengan mengotori substrat dengan menggunakan lumpur. Sebelum dikotori substrat dijemur dibawah sinar

matahari untuk mengaktivasi katalis. Kemudian substrat polikarbonat dibasahi dengan menggunakan lumpur. Setelah itu didiamkan selama 1 menit kemudian disiram dengan menggunakan air. Gambar 4.10 berikut menunjukkan hasil uji swa bersih pada sampel

a. Sebelum disiram air



b. setelah disiram air



Keterangan gambar

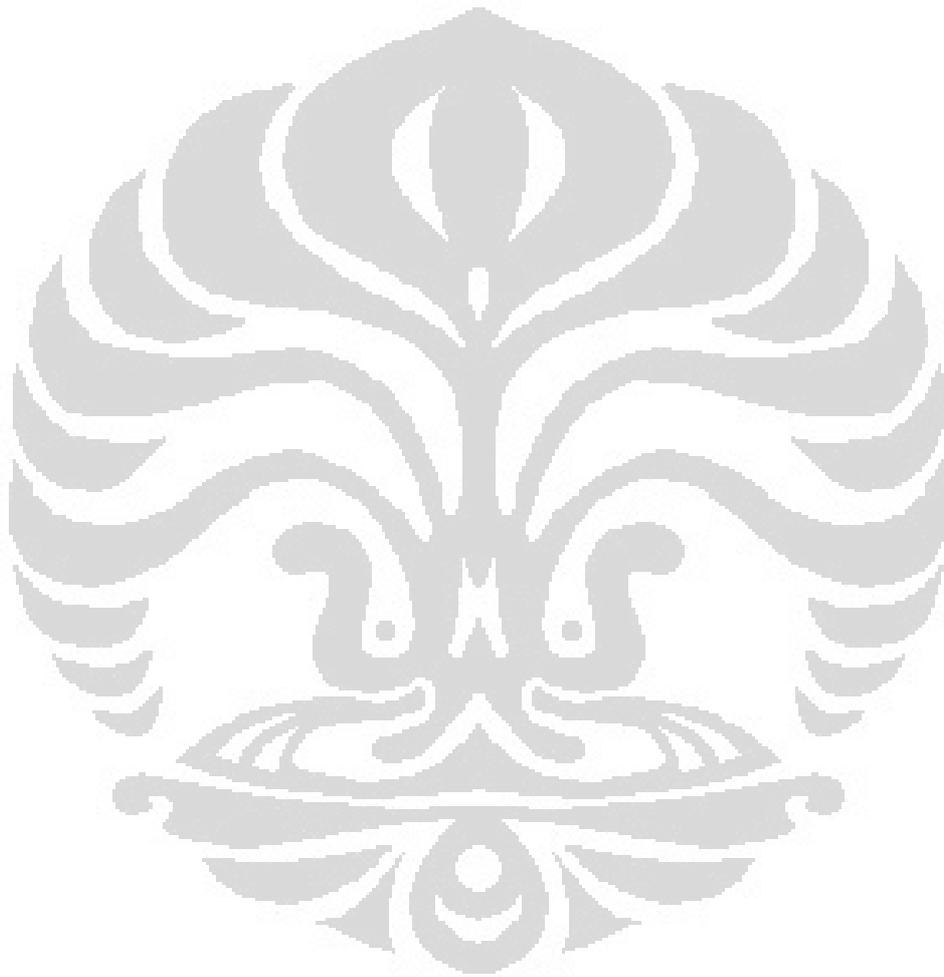
X = tanpa katalis

Y=Dilapisi Ti-70

**Gambar 4.10** Hasil uji swa bersih (a) sebelum disiram (b) setelah disiram

Dari gambar diatas dapat terlihat bahwa substrat polikarbonat yang telah dilapisi katalis lebih mudah dibersihkan daripada tanpa pelapisan katalis. Hal ini terjadi karena terbentuknya layer hidroksil yang berasal dari *chemisorbed* dan

*physisorbed water* pada permukaan katalis sehingga kotoran datang tidak langsung kontak dengan permukaan dan mudah dibersihkan dengan air. Dengan begitu substrat polikarbonat yang dilapisi film  $\text{TiO}_2$  memiliki kemampuan swa bersih pada permukaannya (Guan, 2005)



## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

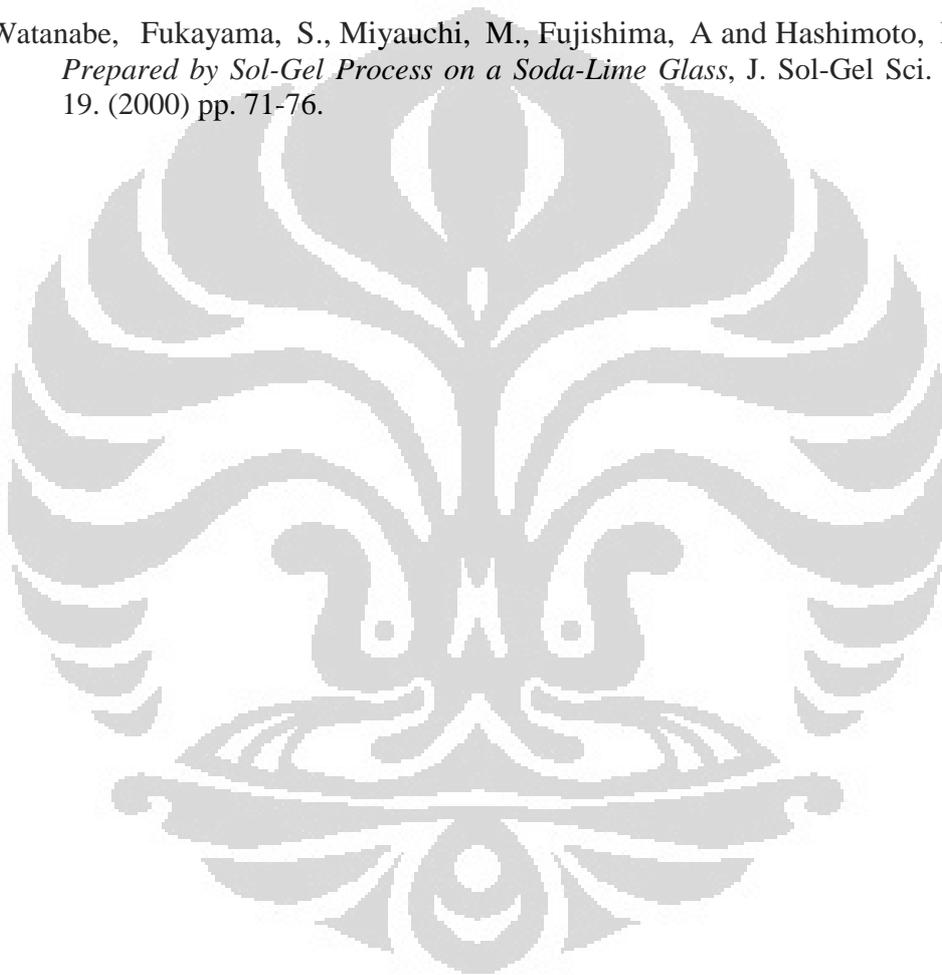
1. Kaca helm anti kabut telah berhasil dibuat dengan melapiskan sol titania yang ditambahkan TEOS, dengan metode pelapisan *spin coating* dan pemanasan pada 80°C
2. Berdasarkan sifat hidrofilik dan uji kualitas film, maka film komposit titania yang memiliki kinerja yang optimal adalah pada komposisi 70% TiO<sub>2</sub>
3. Penambahan TEOS sebesar 30% terbukti dapat meningkatkan sifat hidrofilik 3 kali lipat dibandingkan tanpa menggunakan TEOS
4. TEOS dapat berfungsi sebagai perekat sehingga TiO<sub>2</sub> dapat terlapisi secara sempurna pada substrat polikarbonat dibandingkan dengan TiO<sub>2</sub> murni
5. Aktifitas fotokatalisis TiO<sub>2</sub> 70% terbukti dapat menurunkan konsentrasi asam laktat selama 90 menit sebesar 47 %
6. Secara kualitatif film TiO<sub>2</sub> mampu memiliki sifat anti kabut dan swa bersih sehingga dapat mencegah terbentuknya kabut pada kaca helm saat cuaca sedang hujan

## DAFTAR PUSTAKA

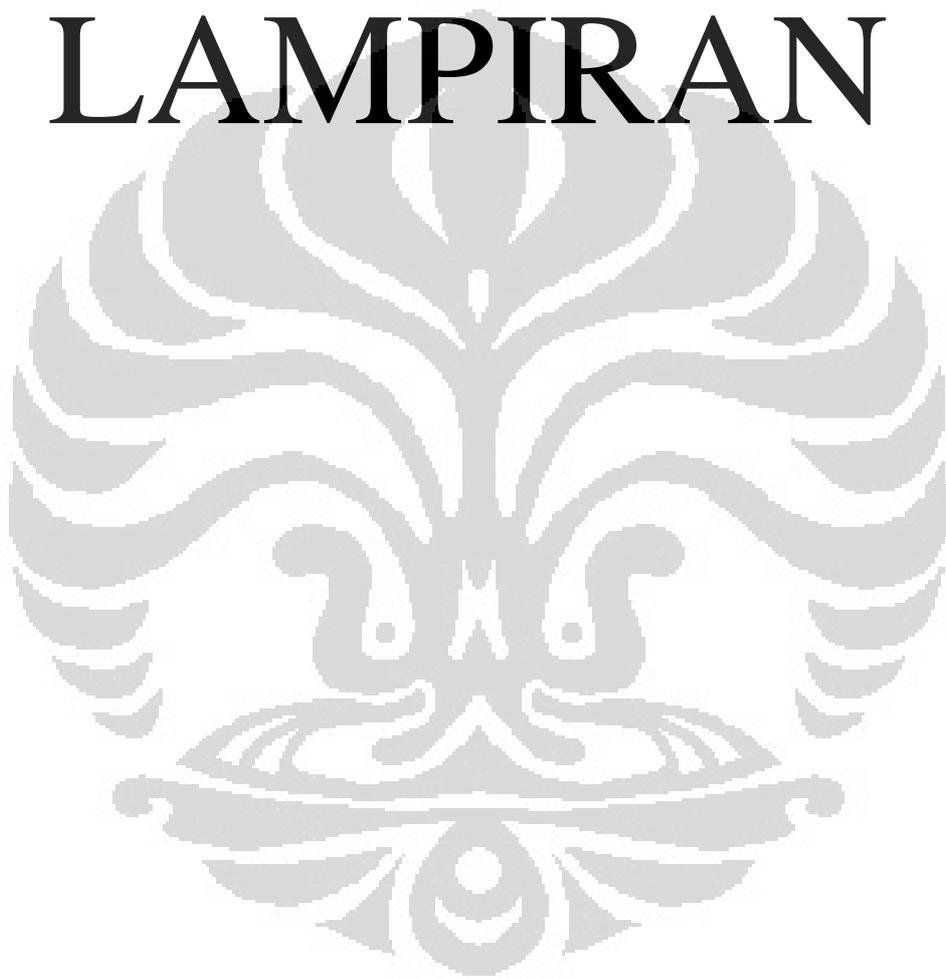
- Bennani, J., Dillert, R., Thorsten, M., Gesing., Bahnemann, D *Physical Properties, Stability, and Photocatalytic Activity of Transparent TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> Films*, Sep. and Purif. Technol. 67. (2009) pp. 173-179.
- Bokhimi, X., Morales, A., Aguilar, M., Toledo-Antonio, J.A and Pedraza, F., *Local Order in Titania Polymorphs*, Int. J. Hydrogen Energy. 26. (2001) pp. 1279–1287.
- Brinker, C.J. and Scherer, G.W., *Sol-Gel Science The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*. Academic Press. New York (1989).pp 29-30
- Fateh, R., Dilert, R., Bahnemman, D., *Transparent Hydrophilic Photocatalytic Thin Films on Polycarbonate Substrates prepared by a Sol-Gel Process*. Int. Conf. on Mater. Sci.2007
- Fujishima, A., Rao, T.N., Tryk, D.A. *Titanium Dioxide Photocatalysis*, J. Photochem. Photobiol. 1. (2000) pp. 1-21.
- Gopal, M., Moberly, W.J and Jonghe,L.C. *Room Temperature Synthesis of Crystalline Metal Oxides*, J. Mater. Sci. 32. (1997) pp. 6001–6008.
- Ghamsari, M.S., Bahramian, A.R. *High Transparent Sol-Gel Derived Nanostructured TiO<sub>2</sub> Thin Film*, Mater. Lett. 62. (2008) pp. 361-364.
- Giles,H.F., Wagner J.R., and Mount E.M., *The Definitive Processing Guide and Handbook*. William Andrew ink. Norwich.(2005).p 214
- Guan, K, *Relationship Between Photocatalytic Activity, Hydrophilicity, and Self Cleaning Effect of TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> Films*, Surf. and Coating Technol. 191. (2005) pp. 155-160.
- Gunlazuardi, J., *Fotokatalisis pada Permukaan TiO<sub>2</sub>: Aspek Fundamental dan Aplikasinya*, Seminar Nasional Kimia Fisika II, (2001).
- Hoffman, M.R., Martin., Choi, W., and Bahnemann, D.W., *Environmental Applications of Semiconductor Photocatalysis*. Chem. Rev. (1995).pp 67-69

- Hu, Yuan & Chunwei Yuan, *Low Temperature Preparation of Photocatalytic TiO<sub>2</sub> Thin Films on Polymer Substrates by Direct Deposition from Anatase Sol*, J. Mater. Sci. 22. (2006) pp. 239-244.
- Ilican, S., Caglar, M., Caglar, Y., *Determination of the thickness and optical constants of transparent indium-doped ZnO thin films by the envelope method*. Mater. Sci. Pol. 25. (2007)
- Jung, K.Y, Park S.B., *Enhanced photoactivity of silica-embedded titania particles prepared by sol-gel process for the decomposition of trichloroethylene*. Appl. Catal. B: Environmental 25 (2000) pp. 249-256
- Katz, J. Bruce B., Todd., and Nathan Lewis., *Solar Water Splitting: Photocatalyst Materials Discovery and Systems Development*, DOE Solar H<sub>2</sub> Merit Review, (2007).
- Licciuli, *Self Cleaning Glass*, Universita Degli Studio Di Lecce, 2002. pp. 8-13
- Mason T. *An Introduction to Sonochemistry*. [Online]. [Accessed June 18, 2011]. <http://www.sonochemistry.info/Research.htm>
- Noorjohan, M., Reddy, M.P., Kumari, V.D., Boule, P., *Photocatalytic degradation of H-acid over a novel TiO<sub>2</sub> thin film fixed bed reactor and in aqueous suspensions*. J. Photochem. Photobiol. A: Chemistry 156 (2003) pp. 179-187
- Slamet, Bismo, S., Rita, A., *Modifikasi Zeolit Alam dan Karbon Aktif dengan TiO<sub>2</sub> serta Aplikasinya sebagai Bahan Adsorben dan Fotokatalis untuk Degradasi Polutan Organik*, Laporan Penelitian Hibah Bersaing Universitas Indonesia, (2007).
- Sopyan, I., *Majalah BPPT No. LXXXVIII* (1998). p. 129
- Su, C., Hong, B. Y. and Tseng, C. M., *Sol-gel Preparation and Photocatalysis of Titanium dioxide*, Catal. Today. 96. (2004) pp. 119-126.
- Sugimoto, T., Xingping, Z., Atsushi, M., *Synthesis of Uniform Anatase TiO<sub>2</sub> Nanoparticles by Gel-sol Method : 3. Formation Process and Size Control*, J. Colloid Interface Sci. 259. (2003) pp. 43-52.
- Sitanggang, H.M *Kajian Teoritik Analisis Pita Energi Bahan Semikonduktor Si dan Ge dengan Pengotor In*. Seminar Nasional Fisika 2010

- Sharma., Vishwasc, M., Narasimha, K., Raoa, Mohana, S., Reddyb, D.S. Gowdac., *Structural and optical investigations of TiO<sub>2</sub> films deposited on transparent substrates by sol–gel technique*. *Alloys and Compounds* 471 (2009) pp. 244–247
- Sutrisno, H., Arianingrum, R., Ariswan., *Silikat dan Titanium Silikat Mesopori-Mesotruktur Berbasis Struktur Heksagonal dan Kubik*. *Jurnal Matematika dan Sains*. Vol 10 (2005) pp 69-74
- Watanabe, Fukayama, S., Miyauchi, M., Fujishima, A and Hashimoto, K., *Film Prepared by Sol-Gel Process on a Soda-Lime Glass*, *J. Sol-Gel Sci. Technol.* 19. (2000) pp. 71-76.



# LAMPIRAN



## LAMPIRAN A

### Data Penurunan Sudut Kontak Air Pada Uji Aktifitas Hidrofilik

Waktu (menit)	Sudut Kontak (derajat)						
	tanpa katalis	Ti-0	Ti-50	Ti-60	Ti-70	Ti-90	Ti-100
0	73	28.0	28	21	10.5	11.0	32.0
1	70.5	26.0	24	17	8.5	9.0	30.0
2	67	23.0	21	15	7.0	6.0	27.0
3	65	21.5	20	13	5.0	5.0	26.0
4	63.5	19.0	18	11	3.0	3.5	24.0
5	60.5	16.5	17	10	0.0	0.0	20.0
6	58	12.0	16	8			18.0
7	53.5	10.0	14	6			14.0
8	53	9.0	12	4			13.0
9	51	7.0	10	3			11.0
10	51	5.0	8	1			9.0

**LAMPIRAN B**  
**Data Uji Stabilitas Film**

**a. Disimpan dalam desikator selama 5 hari**

Waktu (menit)	Sudut Kontak (derajat)		
	Ti-50	Ti-60	Ti-70
0	27	25	10.5
1	25	23	8
2	23.5	21	6
3	20.5	19	5
4	18.5	17.5	3.5
5	18.5	15	2.5
6	17	13.5	0
7	15	12	
8	13.5	10.5	
9	11.5	9	
10	9	8	

**b. Disimpan di tempat biasa selama 5 hari**

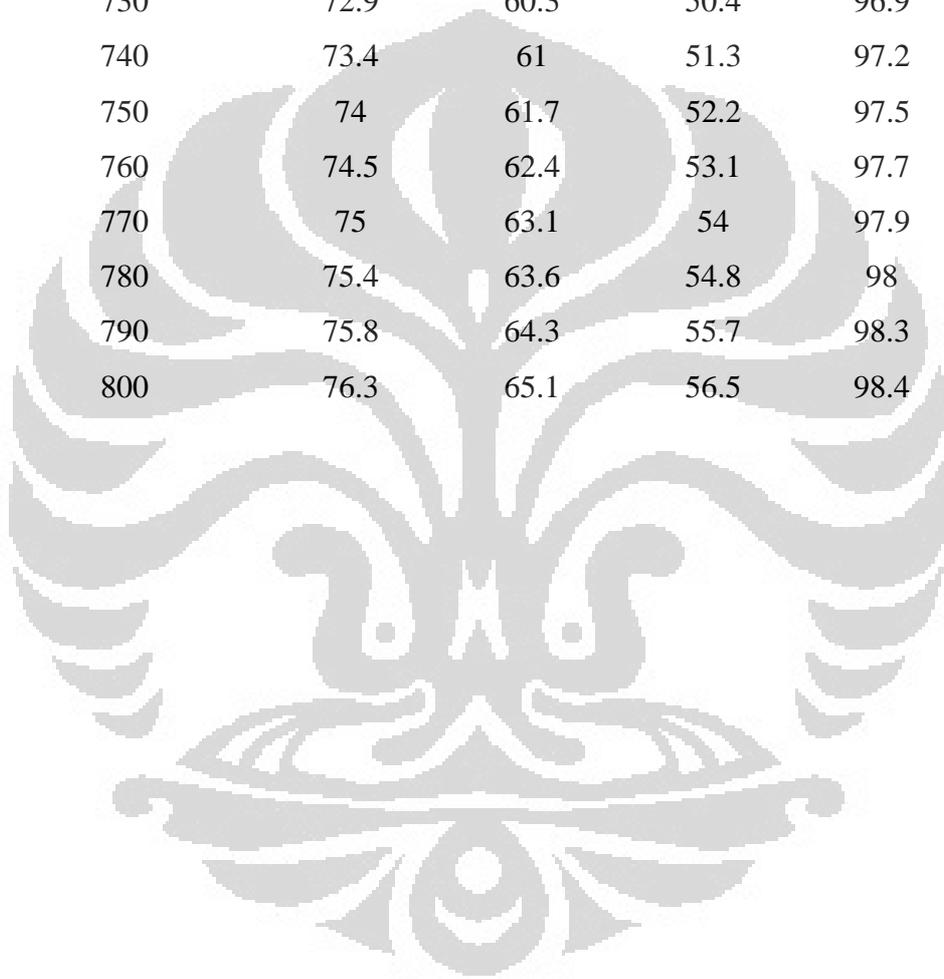
Waktu (menit)	Sudut Kontak (derajat)		
	Ti-50	Ti-60	Ti-70
0	29	25	13
1	27	23	10
2	24.5	21.5	9
3	23	19	7
4	21	17	5
5	19	16	2.5
6	17.5	14.5	0
7	16	12	
8	12.5	10	
9	11	8.5	
10	10	7	

## LAMPIRAN C

### Uji Transparansi Film

Panjang Gelombang (nm)	Transmitansi (% T)				
	Ti-50	Ti-60	Ti-70	Ti-0	Ti-100
400	52.2	36.9	20.3	89.4	45.1
410	52.5	37.2	20.6	89	46.8
420	53.1	38.2	21.3	88.4	48.7
430	53.8	38.5	22	88.8	50.4
440	54.5	39.3	22.8	89.1	52
450	55.2	40	23.6	89.4	53.6
460	56	40.8	24.5	89.8	55.2
470	56.6	41.3	25.2	89.8	56.4
480	57.3	42.2	26.3	90.3	58.1
490	58	42.8	27.2	90.5	59.4
500	58.7	43.5	28	90.6	60.6
510	59.5	44.2	29	90.9	61.9
520	60.2	45.1	30	91.3	63.2
530	60.9	45.9	31	91.7	64.5
540	61.5	46.6	32	92	65.7
550	62.2	47.4	33	92.3	66.8
560	62.8	48.1	34	92.7	67.9
570	63.5	48.8	35	92.9	69
580	64.1	49.6	36	93.2	70
590	64.8	50.3	37	93.5	71
600	65.6	51.2	38	94.2	72.3
610	66.1	52	39	94.1	72.9
620	66.7	52.7	40	94.3	73.8
630	67.3	53.4	41	94.5	74.7
640	67.8	54	41.9	94.7	75.5
650	68.4	54.7	42.9	95	76.4

660	69	55.4	43.8	95.3	77.2
670	69.5	56.1	44.8	95.5	78
680	70.1	56.8	45.7	95.8	78.8
690	70.7	57.5	46.7	96	79.5
700	71.3	58.4	47.7	96.3	80.3
710	71.8	59.1	48.6	96.6	81
720	72.4	59.7	49.5	96.8	81.7
730	72.9	60.3	50.4	96.9	82.3
740	73.4	61	51.3	97.2	83
750	74	61.7	52.2	97.5	83.7
760	74.5	62.4	53.1	97.7	84.3
770	75	63.1	54	97.9	84.9
780	75.4	63.6	54.8	98	85.4
790	75.8	64.3	55.7	98.3	86
800	76.3	65.1	56.5	98.4	86.6



**LAMPIRAN D**  
**Uji Degradasi Senyawa Organik**

Waktu (menit)	Absorbansi		Konsentrasi (mol/L)	
	Ti-70	Ti-0	Ti-70	Ti-0
0	0.059	0.059	1.729	1.729
10	0.048	0.059	1.406	1.729
20	0.041	0.058	1.201	1.699
30	0.04	0.052	1.172	1.523
40	0.039	0.05	1.143	1.465
70	0.038	0.061	1.113	1.787
80	0.037	0.062	1.084	1.816
90	0.034	0.061	0.996	1.787

**LAMPIRAN E**  
**Perhitungan Preparasi Katalis**

**Variasi Sampel Katalis**

	Ti-0	Ti-50	Ti-60	Ti-70	Ti-80	Ti-100
TiO <sub>2</sub> (% mol)	0	50	60	70	80	100
SiO <sub>2</sub> (% mol)	100	50	40	30	20	0

**a. Ti-0**

Rasio mol Ti:Si = 0: 100

Volume TEOS= 0.71 ml

Berat TEOS = 0.71 ml x 0.94 g/ml = 0.658 g

$$\text{Mol TEOS} = \frac{0.658 \text{ g}}{208 \text{ g/mol}} = 0.0031 \text{ g}$$

$$\text{Mol SiO}_2 = \frac{Mr \text{ SiO}_2}{Mr \text{ TEOS}} \times \text{mol TEOS}$$

$$= \frac{60 \text{ g/mol}}{208 \text{ g/mol}} \times 0.0031$$

$$= 0.000905 \text{ mol}$$

Rasio mol Ti:Si = 0:100, maka mol Ti = 0 mol

**b. Ti=50**

Rasio mol Ti:Si = 0: 100

Volume TEOS= 0.71 ml

Berat TEOS = 0.71 ml x 0.94 g/ml = 0.658 g

$$\text{Mol TEOS} = \frac{0.658 \text{ g}}{208 \text{ g/mol}} = 0.0031 \text{ g}$$

$$\text{Mol SiO}_2 = \frac{Mr \text{ SiO}_2}{Mr \text{ TEOS}} \times \text{mol TEOS}$$

$$= \frac{60 \text{ g/mol}}{208 \text{ g/mol}} \times 0.0031$$

$$= 0.000905 \text{ mol}$$

Rasio mol Ti:Si = 50:50, maka

$$0.5 = \frac{0.000905}{0.000905+x}$$

$$x = 0.000905$$

masa TiO<sub>2</sub> yang ditambahkan = 0.000905 mol x 79.9 g/mol = 0.07230 g

**c. Ti-60**

Rasio mol Ti:Si = 0: 100

Volume TEOS= 0.71 ml

Berat TEOS = 0.71 ml x 0.94 g/ml = 0.658 g

$$\text{Mol TEOS} = \frac{0.658 \text{ g}}{208 \text{ g/mol}} = 0.0031 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol SiO}_2 &= \frac{Mr \text{ SiO}_2}{Mr \text{ TEOS}} \times \text{mol TEOS} \\ &= \frac{60 \text{ g/mol}}{208 \text{ g/mol}} \times 0.0031 \\ &= 0.000905 \text{ mol} \end{aligned}$$

Rasio mol Ti:Si = 60:40, maka

$$0.4 = \frac{0.000905}{0.000905+x}$$

$$x = 0.001357 \text{ mol TiO}_2$$

masa TiO<sub>2</sub> yang ditambahkan = 0.001357 mol x 79.9 g/mol = 0.1084 g

**d. Ti-70**

Rasio mol Ti:Si = 0: 100

Volume TEOS= 0.71 ml

Berat TEOS = 0.71 ml x 0.94 g/ml = 0.658 g

$$\text{Mol TEOS} = \frac{0.658 \text{ g}}{208 \text{ g/mol}} = 0.0031 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol SiO}_2 &= \frac{Mr \text{ SiO}_2}{Mr \text{ TEOS}} \times \text{mol TEOS} \\ &= \frac{60 \text{ g/mol}}{208 \text{ g/mol}} \times 0.0031 \\ &= 0.000905 \text{ mol} \end{aligned}$$

Rasio mol Ti:Si = 70:30, maka

$$0.3 = \frac{0.000905}{0.000905+x}$$

$$x = 0.0021116 \text{ mol TiO}_2$$

masa TiO<sub>2</sub> yang ditambahkan = 0.0021116 mol x 79.9 g/mol = 0.1687 g

