

**REKAYASA PLASTIK BERLAPIS NANO TiO₂ DARI
PREKURSOR TiCl₄ DENGAN PENAMBAHAN PEG
MELALUI METODE SOL-GEL DAN KRISTALISASI
DINGIN**

SKRIPSI

Oleh:

JEFFRY VIRIYA
04 04 06 033 Y



**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

**REKAYASA PLASTIK BERLAPIS NANO TiO₂ DARI
PREKURSOR TiCl₄ DENGAN PENAMBAHAN PEG
MELALUI METODE SOL-GEL DAN KRISTALISASI
DINGIN**

SKRIPSI

Oleh:

**JEFFRY VIRIYA
04 04 06 033 Y**



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

**REKAYASA PLASTIK BERLAPIS NANO TiO₂ DARI PREKURSOR TiCl₄
DENGAN PENAMBAHAN PEG MELALUI METODE SOL-GEL DAN
KRISTALISASI DINGIN**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 14 Juli 2008

Jeffry Viriya

NPM 04 04 06 033 Y

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul :

**REKAYASA PLASTIK BERLAPIS NANO TiO₂ DARI PREKURSOR TiCl₄
DENGAN PENAMBAHAN PEG MELALUI METODE SOL -GEL DAN
KRISTALISASI DINGIN**

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini telah diujikan pada sidang ujian skripsi pada tanggal 9 Juli 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai skripsi pada Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. Slamet, MT.

NIP 132 128 630

Depok, 14 Juli 2008

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Dewi Tristantini Budi, MT.

NIP 131 862 075

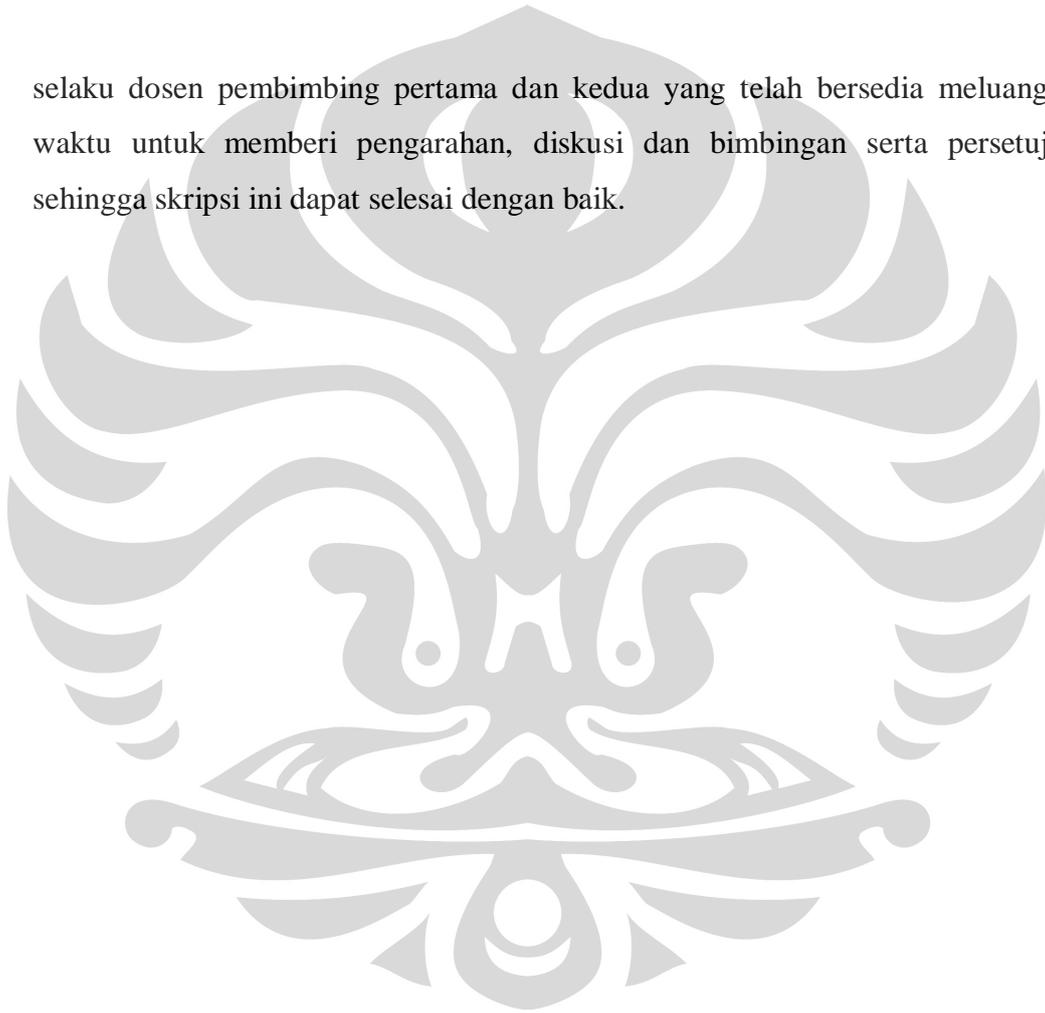
UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

Dr. Ir. Slamet, MT

Dr. Ir. Dewi Tristantini Budi, MT.

selaku dosen pembimbing pertama dan kedua yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.



Jeffry Viriya
NPM 04 04 06 033 Y
Departemen Teknik Kimia

Dosen Pembimbing
I. Dr. Ir. Slamet, MT.
II. Dr. Ir. Dewi Tristantini Budi, MT.

**REKAYASA PLASTIK BERLAPIS NANO TiO₂ DARI PREKURSOR TiCl₄
DENGAN PENAMBAHAN PEG MELALUI METODE SOL-GEL DAN
KRISTALISASI DINGIN**

ABSTRAK

Aplikasi fotokatalis TiO₂ mengalami perkembangan yang signifikan beberapa tahun ke belakang ini. Fotokatalis merupakan suatu katalis yang teraktifkan ketika mendapat sinar UV. Sinar UV yang diterima akan menyebabkan terjadinya eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi sehingga katalis siap mereduksi dan mengoksidasi material yang teradsorpsi pada permukaan. Sifat fotokatalitik sekaligus *hidrofilisitas* yang dimiliki TiO₂ ini menjadikannya banyak digunakan baik sebagai material *anti-fogging* maupun *self cleaning*. Aplikasi TiO₂ akan menjadi lebih praktis apabila dijadikan dalam bentuk film dan dilapisi pada *support*/media tertentu seperti plastik.

Dalam eksperimen ini, sebelum dilakukan pelapisan pada permukaan dengan menggunakan *spin coating*, dilakukan *surface treatment* pada plastik dengan sinar UV-C. Preparasi fotokatalis dilakukan melalui metode sol-gel dan kristalisasi dingin yang menggunakan suhu 100⁰C dengan variasi berat molekul aditif PEG. Preparasi fotokatalis film pada *support* plastik dilakukan melalui dua cara yaitu (1) melapiskan sol TiO₂ dan (2) melapiskan serbuk TiO₂ pada permukaan *support*. Sebagai pembandingan, juga dilakukan preparasi fotokatalis film dengan kedua metode pada *support* lain yaitu kaca preparat. Untuk mengetahui secara kuantitatif *hidrofilisitas* yang dihasilkan dilakukan pengukuran sudut kontak dengan alat *contact angle meter* yang ditunjang dengan data dari karakterisasi FT-IR, UV-Vis DRS dan TEM.

Plastik yang telah disinari menunjukkan perubahan kepolaran yang bagus sehingga permukaan plastik menjadi memungkinkan untuk dilapisi. Sudut kontak yang terukur pada plastik yang dilapisi dengan sol TiO₂ masih besar. Variasi kondisi pemanasan vakum juga tidak menghasilkan sifat yang lebih baik, walaupun hasil TEM dan UV-Vis DRS menunjukkan pengurangan ukuran partikel dan *band gap*. Diperkirakan pada preparasi dengan pelapisan sol, radikal yang terbentuk akibat sinar UV-C mengganggu kestabilan ikatan TiO(NO₃)₂.H₂O dengan PEG, sehingga proses pembentukan TiO₂ menjadi tidak sempurna. Hasil FT-IR menunjukkan bahwa *hidrofilisitas* tidak dipengaruhi oleh meningkatnya kadar -OH dari PEG yang ditambahkan, sehingga diduga penambahan PEG dengan berat molekul yang lebih besar menyebabkan transformasi ke TiO₂ yang lebih baik. Untuk plastik yang dilapisi dengan serbuk TiO₂, *hidrofilisitas* yang ditunjukkan lebih baik walaupun menunjukkan transparansi yang lebih rendah. Pengurangan konsentrasi akan menyebabkan penurunan *hidrofilisitas* tapi menghasilkan transparansi yang lebih baik.

Kata kunci : Coating, Film, Fotokatalis, Hidrofilisitas, PEG, Sol-Gel, Sudut Kontak, Support, TiO₂, UV-C

Jeffry Viriya NPM 04 04 06 033 Y Departemen of Chemical Engineering	Counsellors: I. Dr. Ir. Slamet, MT. II. Dr. Ir. Dewi Tristantini Budi, MT.
---------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------

ALTERATION OF PLASTIC COATED WITH NANO-SIZED TiO₂ FROM TiCl₄ PRECURSOR BY ADDITION OF PEG THROUGH SOL-GEL METHOD AND COLD CRYSTALIZATION

ABSTRACT

Application of TiO₂ has undergone a tremendous developments in the past few years. Photocatalyst is a catalyst that will become active when it is exposed to UV. The UV absorbed will trigger the excitation of electrons from valence band to conduction band, therefore, catalyst will be ready to oxidize and reduce the adsorbed materials. The TiO₂'s photocatalytic and hidrophilicity properties have made it suitable as anti fogging and self cleaning material. The application of TiO₂ will become more practical if it is coated on a support such as plastic.

In this reseach, prior to spin coating of TiO₂ sol to plastic, surface treatment with radiation of UV-C method was conducted. Sol-gel method followed by cold crystalization at 100⁰C was applied to prepare the catalyst which was added by different molecular weight of PEG. The photocatalyst film was prepared in two different ways: (1) coating of TiO₂ sol directly to support and (2) coating of TiO₂ powder to the support. As a comparison, different kind of support such as soda lime glass was used. To know the hidrophilicity of prepared catalyst quantitatively, contact angle meter was utilized to measure the contact angle generated, supported by data from FT-IR, UV-Vis DRS and TEM characterization.

Exposed plastic had shown a significant changes of polarity, therefore, the coating process was enabled. Contact angle measured from TiO₂ sol coated plastic still gave a high result. Variation of vacuum condition did not give a better result either, despite the fact that TEM and UV-Vis DRS indicated that there was a decrease of particle size and band gap. It is believed that in direct method of preparation in which sol solution was coated to the plastic support, the radicals occured dues to exposure of plastic to UV-C had caused some disturbances to the stability of TiO(NO₃)₂.H₂O and PEG bond formed. The disturbance then would cause the imperfect transformation to TiO₂ crystals. FT-IR result showed that the hidrophilicity was not effect by the higher content of -OH but it was mere because of better tranformation to TiO₂ by addition of PEG with higher molecular weight. For plastic which was coated by TiO₂ powder, the measured hidrophilicity was a lot better, even though deprivation of transparency occured. Lowering the concentration would slightly decrease the hidrophilicity but increase the transparency.

Keywords : Contact Angle, Film, Hydrophilicity, Photocatalyst, Plastic, PEG, Sol-Gel, Support, TiO₂, UV-C

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	I
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	II
HALAMAN PENGESAHAN	III
UCAPAN TERIMA KASIH.....	IV
ABSTRAK	IV
DAFTAR ISI	VII
DAFTAR GAMBAR	X
DAFTAR TABEL	XII
DAFTAR LAMPIRAN	XIII
DAFTAR SINGKATAN	XIV
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. RUMUSAN MASALAH.....	3
1.3. TUJUAN PENELITIAN.....	4
1.4. BATASAN MASALAH	4
1.5. SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. PENGERTIAN DAN PRINSIP DASAR FOTOKATALIS	6
2.2. PROSES FOTOKATALITIK PADA SEMIKONDUKTOR.....	8
2.3. FOTOKATALISIS TITANIUM OKSIDA	12
2.4. FOTOKATALISIS BENTUK FILM.....	14
2.5. APLIKASI TEKNOLOGI FOTOKATALISIS TiO ₂	15
2.5.1. Aplikasi untuk Anti-Fogging	15
2.5.1.1. Mekanisme Hidrofilisitas pada TiO ₂	16
2.5.1.2. Pengukuran Sudut Kontak.....	20
2.5.2. Aplikasi untuk Self-Cleaning.....	21
2.5.3. Aplikasi untuk Purifikasi Air dan Udara	22
2.6. METODE PREPARASI SOL-GEL.....	23
2.7. METODE KRISTALISASI DINGIN.....	27
2.8. ADITIF PEG	29
2.9. TEKNOLOGI PELAPISAN SPIN COATING	32
2.10. POLYPROPYLENE.....	34
2.11. PELAPISAN TIO ₂ PADA POLYPROPYLENE	35
2.12. KARAKTERISASI KATALIS	39
2.12.1. Karakterisasi TEM (Transmission Electron Microscopy).....	39

2.12.2. Karakteriasi UV-Vis DRS	40
2.12.3. Karakteriasi FT-IR	41
BAB III. METODE PENELITIAN	42
3.1. DIAGRAM ALIR PENELITIAN.....	42
3.2. LOKASI PENELITIAN.....	43
3.3. PERALATAN	43
3.4. BAHAN	44
3.5. PROSEDUR PENELITIAN.....	44
3.5.1. <i>Rekayasa Plastik PP</i>	45
3.5.2. <i>Preparasi Nanomaterial TiO₂</i>	45
3.5.2.1. Preparasi Fotokatalis Serbuk TiO ₂	46
3.5.2.2. Preparasi Fotokatalis Film TiO ₂	47
3.5.3. <i>Pelapisan Katalis pada Support</i>	48
3.5.3.1. Pelapisan Sol TiO ₂ pada <i>Support</i>	48
3.5.3.2. Pelapisan Serbuk TiO ₂ pada <i>Support</i>	49
3.5.4. <i>Karakterisasi Fotokatalis</i>	51
3.5.5. <i>Uji Kinerja Nanomaterial TiO₂</i>	52
3.5.5.1. Uji Kuantitatif.....	52
3.5.5.2. Uji Kualitatif.....	53
3.5.5.3. Pengujian Transparansi <i>Support</i>	53
3.6. PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA.....	54
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1. REKAYASA PLASTIK PP DENGAN UV-C	55
4.1.1. <i>Pengaruh Lama Pemaparan terhadap Kepolaran Plastik</i>	55
4.1.2. <i>Pengaruh Perbedaan Waktu Penyinaran terhadap Kepolaran Plastik</i>	59
4.2. PREPARASI FOTOKATALIS FILM DENGAN PELAPISAN SOL TiO ₂ PADA SUPPORT	60
4.2.1. <i>Pengaruh Kondisi Pemanasan 12 Jam terhadap Kinerja Katalis</i>	61
4.2.1.1. Hasil Karakterisasi UV-Vis DRS	61
4.2.1.2. Hasil Karakterisasi XRD	63
4.2.1.3. Hasil Karakterisasi TEM.....	63
4.2.1.4. Hasil Pengukuran Sudut Kontak.....	64
4.2.2. <i>Plastik PP sebagai Support Fotokatalis</i>	66
4.2.2.1. Variasi Berat Molekul PEG.....	66
4.2.2.2. Variasi <i>Support</i> Plastik dengan Waktu UV-C Treatment Berbeda	70
4.2.2.3. Variasi Kondisi Pemanasan.....	71
4.3. PREPARASI FOTOKATALIS FILM DENGAN PELAPISAN SERBUK TiO ₂ PADA SUPPORT	72
4.3.1. <i>Variasi Katalis</i>	73
4.3.2. <i>Variasi Konsentrasi</i>	74
4.3.3. <i>Variasi Support</i>	76
4.4. PENGARUH PELAPISAN SOL ATAU SERBUK TiO ₂ PADA PLASTIK TERHADAP HIDROFILISITAS	77
4.5. PENGUJIAN HASIL TRANSPARANSI SUPPORT PLASTIK.....	79
4.6. PENGUJIAN SIFAT ANTI FOGGING	80
BAB V. KESIMPULAN	82

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Tahapan reaksi pada katalis heterogen	7
Gambar 2. 2. Nilai band gap berbagai bahan semikonduktor pada elektrolit dengan pH=1	8
Gambar 2. 3. Struktur pita pada semikonduktor.....	9
Gambar 2. 4. Mekanisme reaksi fotokatalisis pada semikonduktor	10
Gambar 2. 5. Aplikasi TiO ₂ dalam kehidupan sehari-hari	12
Gambar 2. 6. Struktur kristal TiO ₂	13
Gambar 2. 7. Tetesan air pada permukaan kaca, resin dan resin hydrophobic	16
Gambar 2. 8. Perbedaan permukaan kaca yang tidak dilapisi dan dilapisi TiO ₂	16
Gambar 2. 9. Mekanisme hidrofilisitas pada TiO ₂	17
Gambar 2. 10. Tahapan penyerapan air pada permukaan TiO ₂	18
Gambar 2. 11. Tahapan dekomposisi senyawa hidrophobik.....	19
Gambar 2. 12. Tahapan pengikatan molekul air secara fisika.....	19
Gambar 2. 13. Tahap stabilisasi ikatan air	20
Gambar 2. 14. Pembentukan sudut kontak antara air dan padatan.....	21
Gambar 2. 15. Mekanisme self cleaning pada TiO ₂	21
Gambar 2. 16. Dekomposisi bakteri oleh TiO ₂ dengan penambahan dopan	22
Gambar 2. 17. Ketebalan katalis film beberapa metode preparasi	24
Gambar 2. 18. Tahapan preparasi dengan metode sol-gel	27
Gambar 2. 19. Diagram P-T struktur nano TiO ₂	28
Gambar 2. 20. Ikatan hidrogen TiO(NO ₃) ₂ dengan PEG.....	29
Gambar 2. 21. Proses spin coating pada support.....	33
Gambar 2. 22. Unit corona treatment komersial beserta skemanya	37
Gambar 2. 23. Mekanisme terbentuknya gugus polar melalui corona treatment	38
Gambar 2. 24. Energi permukaan sebelum dan sesudah corona treatment.....	38
Gambar 3. 1. Diagram alir penelitian.....	42
Gambar 3. 2. Alat UV-C treatment.....	45
Gambar 3. 3. Endapan dan pemisahan endapan pada preparasi katalis serbuk.....	47
Gambar 3. 4. Alat spin coating	48
Gambar 3. 5. Diagram alir preparasi fotokatalis film pada support	50
Gambar 3. 6. Alat contact angle meter.....	52
Gambar 4. 1. Hasil pengujian kepolaran plastik.....	55
Gambar 4. 2. Hasil pengujian pembentukan kabut pada plastik	56
Gambar 4. 3. Pengaruh lama pemaparan sinar UV-C terhadap sudut kontak plastik yang dihasilkan.....	57
Gambar 4. 4. Hubungan waktu penyinaran dengan sudut kontak akhir yang dihasilkan	58

Gambar 4. 5. Pengujian stabilitas kepolaran plastik	60
Gambar 4. 6. Hasil pengukuran UV-Vis DR.....	61
Gambar 4. 7. Fungsi Kubelka-Munk	62
Gambar 4. 8. Hasil karakterisasi XRD.....	63
Gambar 4. 9. Pengaruh kondisi pemanasan 12 jam terhadap sudut kontak (a) tanpa sinar UV dan (b) dengan UV	64
Gambar 4. 10. Struktur PEG	67
Gambar 4. 11. Pengaruh penambahan aditif PEG dengan berat molekul berbeda terhadap sudut kontak (a)tanpa sinar UV dan (b) dengan sinar UV ...	68
Gambar 4. 12. Hasil FTIR dengan PEG 1000, 2000 dan 6000	69
Gambar 4. 13. Pengaruh variasi support plastik yang digunakan terhadap sudut kontak yang dihasilkan.....	71
Gambar 4. 14. Pengaruh kondisi pemanasan terhadap sudut kontak pada support plastik (a) tanpa sinar UV, (b) dengan sinar UV	72
Gambar 4. 15. Hasil pengukuran sudut kontak dengan pelapisan fotokatalis serbuk (a)tanpa sinar UV dan (b) dengan sinar UV	74
Gambar 4. 16. Pengaruh variasi konsentrasi pada pelapisan katalis serbuk terhadap sudut kontak (a) tanpa sinar UV, (b) dengan sinar UV	75
Gambar 4. 17. Pengaruh support yang berbeda terhadap hasil pengukuran sudut kontak (a) tanpa sinar UV, (b) dengan sinar UV	76
Gambar 4. 18. Struktur ikatan antara PEG dan $TiO(NO_3)_2 \cdot H_2O$	78
Gambar 4. 19. Pengaruh metode pelapisan yang berbeda terhadap hidrofilisitas (a) tanpa sinar UV, (b) dengan sinar UV	78
Gambar 4. 20. Efek metode pelapisan dan konsentrasi terhadap transmitansi support plastik	79
Gambar 4. 21. Pengujian sifat anti fogging pada plastik	80
Gambar 4. 22. Pengujian sifat anti fogging pada cermin.....	81

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Karakteristik Polypropylene	35
-----------------------------------------------	----



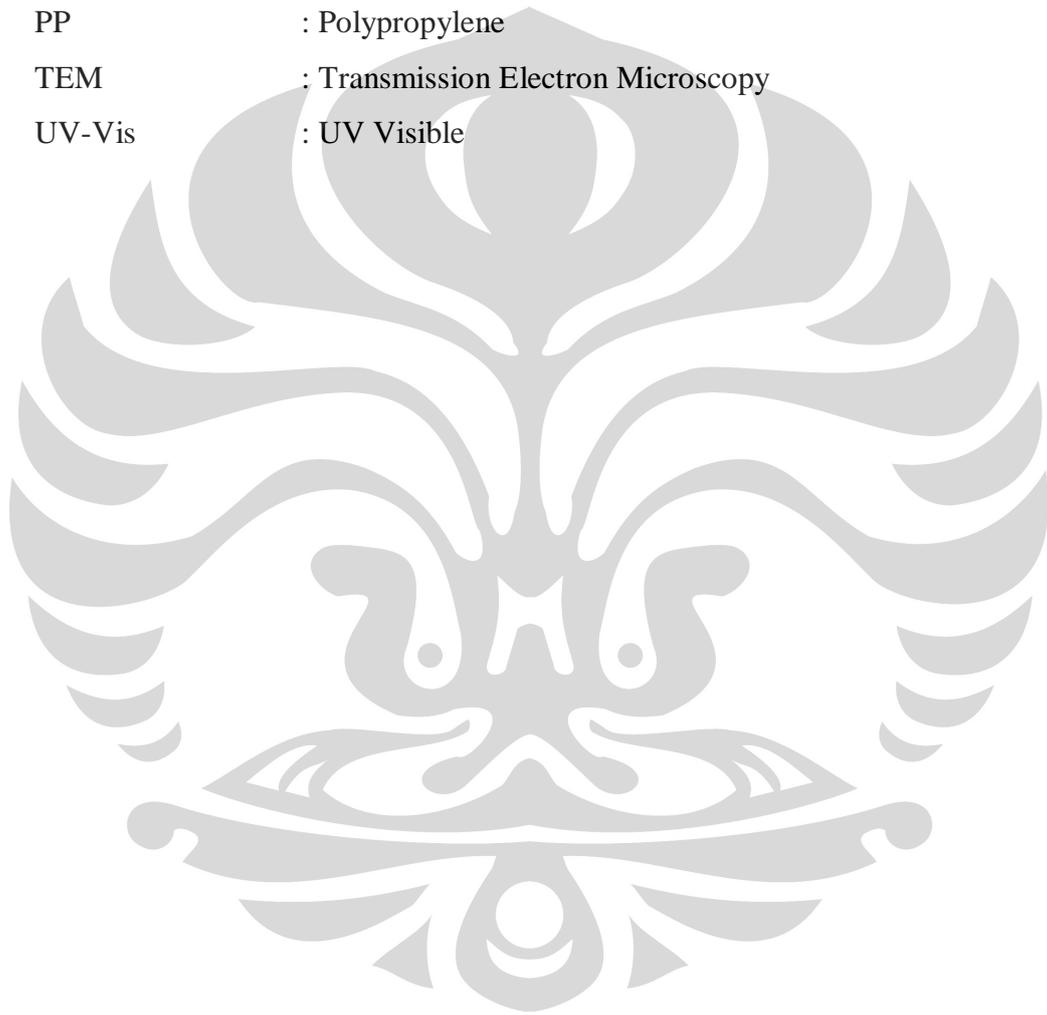
DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Pengukuran Sudut Kontak	83
Lampiran 2. Hasil Karakterisasi FTIR	88
Lampiran 3. Hasil Pengukuran DRS	90
Lampiran 4. Hasil Karakterisasi TEM	91



DAFTAR SINGKATAN

DRS	: Diffused Reactant Spectroscopy
FT-IR	: Fourier Transform Infrared Spectroscope
PEG	: Poly Ethylene Glycol
PP	: Polypropylene
TEM	: Transmission Electron Microscopy
UV-Vis	: UV Visible



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Dalam beberapa tahun ini, aplikasi fotokatalis terutama titanium dioksida (TiO_2) pada berbagai aspek mengalami perkembangan yang signifikan. Penelitian mengenai TiO_2 pada awalnya dipelopori oleh para ilmuwan Jepang dengan melakukan eksperimen pemisahan air pada elektroda TiO_2 yang kemudian dikembangkan lebih lanjut di Texas dengan adanya eksperimen penguraian senyawa sianida pada air (Licciulli, 2002). Fotokatalis merupakan suatu katalis yang teraktifkan ketika katalis tersebut mendapat sinar UV, dimana sinar UV yang diterima tersebut menyebabkan terjadinya eksitasi elektron dari pita konduksi ke pita valensi sehingga katalis siap mereduksi dan mengoksidasi material yang teradsorpsi pada permukaan.

Fotokatalis TiO_2 dewasa ini diaplikasikan secara luas pada berbagai macam bidang misalnya sebagai aditif pada cat dimana TiO_2 berfungsi sebagai material yang memberi warna putih, degradasi senyawa organik yang berbahaya menjadi komponen lain yang tidak berbahaya yaitu CO_2 (Wikoxoa, 2000). Selain itu karena sifat *hidrofilik* yang dimiliki oleh fotokatalis ini, TiO_2 dapat digunakan sebagai materi *self-cleaning* dan *anti-fogging*. Dengan adanya TiO_2 yang dilapisi pada media tertentu, sudut kontak antara materi tersebut dengan air dapat dikurangi sampai dengan 10° dan akan semakin mendekati 0° apabila dipaparkan dengan sinar UV, dimana hal ini akan mendorong tercapainya penyebaran lapisan air pada permukaan dan mencegah pembentukan butiran yang akan mengarah pada pembentukan kabut atau *fog*. Aplikasi TiO_2 untuk *anti-fogging* serta *self-cleaning* material ini akan menyebabkan terjadinya penghematan dibandingkan dengan metode pembersihan konvensional yang tentu akan membutuhkan lebih banyak biaya.



BAB I. PENDAHULUAN

TiO₂ yang beredar di masyarakat kebanyakan berada dalam bentuk serbuk. Katalis TiO₂ yang berada dalam bentuk serbuk mempunyai beberapa kelemahan diantaranya yaitu karena kesulitan dalam separasi TiO₂ dari partikel tersuspensinya ketika reaksi telah berakhir, dan adanya keterbatasan pada penggunaan media untuk dilapisi dengan TiO₂ tersebut. Selain itu, katalis yang berada dalam bentuk serbuk akan lebih sukar dilapisi (*di-coating*) pada media yang akan digunakan, dan hasil pelapisan tidak akan memberikan hasil yang transparan seperti yang lebih diinginkan.

Untuk mengatasi keterbatasan dalam katalis bentuk serbuk, maka dikembangkan metode untuk membuat katalis yang berada dalam bentuk lapisan (*film*). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Slamet et al. (2003), katalis TiO₂ dalam bentuk film dapat diperoleh dengan mendapatkan kristal TiO₂ yang berada dalam ukuran nano yaitu kurang dari 20 nanometer. Salah satu metode yang dianggap paling berhasil dalam mensintesa kristal TiO₂ dalam ukuran nano adalah metode sol-gel. Hasil penelitian dari Slamet et al.(2003) menunjukkan bahwa kristal TiO₂ yang berada dalam ukuran nano ini akan memperbesar luas permukaan kontak antara katalis dengan material yang teradsorp sehingga akan meningkatkan performa TiO₂ sebagai material *anti-fogging*, *self-cleaning* dan untuk degradasi senyawa organik berbahaya.

Agar TiO₂ dapat bekerja dengan maksimal, TiO₂ yang berada dalam bentuk film tersebut harus terlebih dahulu dilapisi (*di-coating*) pada suatu media/*support* tertentu. Media yang digunakan harus dapat bersifat praktis dan mudah tersedia. Atas dasar pertimbangan itulah, *support* yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah plastik polipropilena (PP) yang dapat dijadikan dalam bentuk stiker.

Walaupun plastik merupakan *support* yang cukup praktis, terdapat dua kendala dalam penggunaan PP ini. Yang pertama, plastik merupakan senyawa non-polar. Hal ini menyebabkan plastik menjadi tidak dapat *di-coating* oleh materi lain seperti TiO₂. Supaya plastik ini dapat digunakan sebagai *support* katalis, terlebih dahulu perlu dilakukan perlakuan awal yang meliputi *corona treatment* atau *UV-C treatment* yang mengubah plastik tersebut menjadi senyawa yang bersifat polar. Kendala yang kedua adalah plastik tidak tahan terhadap perlakuan panas di atas



BAB I. PENDAHULUAN

suhu 120⁰ C, sedangkan metode pembuatan kristal TiO₂ membutuhkan proses kalsinasi yang mencapai temperatur sekitar 300-900⁰ C. Hal ini menunjukkan bahwa metode preparasi TiO₂ ukuran nano dalam bentuk film tidak dapat dilakukan dengan metode preparasi yang konvensional, tetapi harus menggunakan suhu yang lebih rendah. Liu et al. (2000) dalam penelitiannya menemukan metode yang disebut dengan metode *kristalisasi dingin* yang dapat menghasilkan kristal nano TiO₂ dengan melakukan pemanasan hanya sampai pada suhu 100⁰ C.

Metode kristalisasi dingin ini dimungkinkan dengan adanya penambahan senyawa lain yaitu *Polyethylene glycol* (PEG) pada proses preparasi kristal TiO₂. Liu et al. (2000) mengungkapkan bahwa PEG ini berperan sebagai agen multifungsi yang berguna dalam pembentukan gel, pendispersi dan pembentuk lapisan film.

Pelapisan TiO₂ pada *support* plastik masih jarang diteliti, namun prospek aplikasi di masyarakat sangat luas dan fleksibel, terutama jika dibuat dalam bentuk 'stiker'. Selain itu, karena tidak menggunakan temperatur kalsinasi yang tinggi, maka akan terjadi penghematan energi jika dikembangkan ke dalam skala industri. Oleh karena itu luaran yang diharapkan dari penelitian ini ialah dapat menghasilkan plastik transparan berlapis TiO₂ sehingga dapat digunakan sesuai kebutuhan.

1.2. RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, beberapa hal yang menjadi permasalahan utama ialah:

- Bagaimana memperoleh plastik yang bersifat polar sehingga dapat berfungsi sebagai *support* untuk fotokatalis film TiO₂.
- Bagaimana cara memperoleh plastik berlapis nano TiO₂ dengan *hidrofilisitas* yang baik dan transparansi yang tinggi dengan metode preparasi fotokatalis film yang berbeda.
- Bagaimana pengaruh penambahan PEG dengan berat molekul berbeda terhadap *hidrofilisitas* yang dihasilkan.



BAB I. PENDAHULUAN

1.3. TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

- Menghasilkan plastik yang bersifat polar sehingga dapat menjadi media *coating* bagi TiO₂.
- Memperoleh plastik berlapis nano TiO₂ dengan *hidrofilisitas* yang baik dan transparansi yang tinggi.
- Menyelidiki pengaruh penambahan aditif PEG dengan berat molekul yang berbeda terhadap *hidrofilisitas* fotokatalis film yang dihasilkan.

1.4. BATASAN MASALAH

Batasan dari penelitian ini antara lain:

- Bahan awal (prekursor) yang akan digunakan ialah TiCl₄.
- Aditif yang digunakan adalah PEG.
- Komposisi PEG adalah empat kali massa TiO₂ yang terbentuk dengan berat molekul PEG 1000, 2000 dan 6000.
- Metode preparasi katalis ialah metode sol-gel pada suhu rendah (kristalisasi dingin).
- Bahan penyangga (*support*) untuk katalis ialah plastik transparan.
- Pengubahan plastik PP menjadi polar akan dilakukan dengan metode UV-C *treatment*.
- Metode pelapisan katalis pada PP ialah metode pemusingan (*spin coating*).
- Karakterisasi katalis yang akan dilakukan ialah TEM, UV-Vis DRS dan FT-IR. Sedangkan untuk uji aktivitas yang akan dilakukan ialah, pengukuran sudut kontak pada plastik berlapis TiO₂ dan air (uji sifat *hidrofilik*).

1.5. SISTEMATIKA PENULISAN

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



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. PENGERTIAN DAN PRINSIP DASAR FOTOKATALIS

Fotokatalis merupakan suatu katalis yang mempunyai prinsip fotokimia. Seperti yang telah diketahui bahwa katalis merupakan senyawa yang dapat mempercepat suatu proses reaksi, dimana katalis itu sendiri menyediakan "tempat" bagi reaktan untuk dapat bereaksi ketika reaktan tersebut teradsorb pada permukaan katalis. Prinsip dari fotokatalis juga tidak berbeda dengan katalis secara umumnya. Perbedaan dengan katalis konvensional yang paling signifikan terletak pada model aktivasi katalis dimana aktivasi termal pada proses katalisis digantikan dengan aktivasi foton pada proses fotokatalitik.

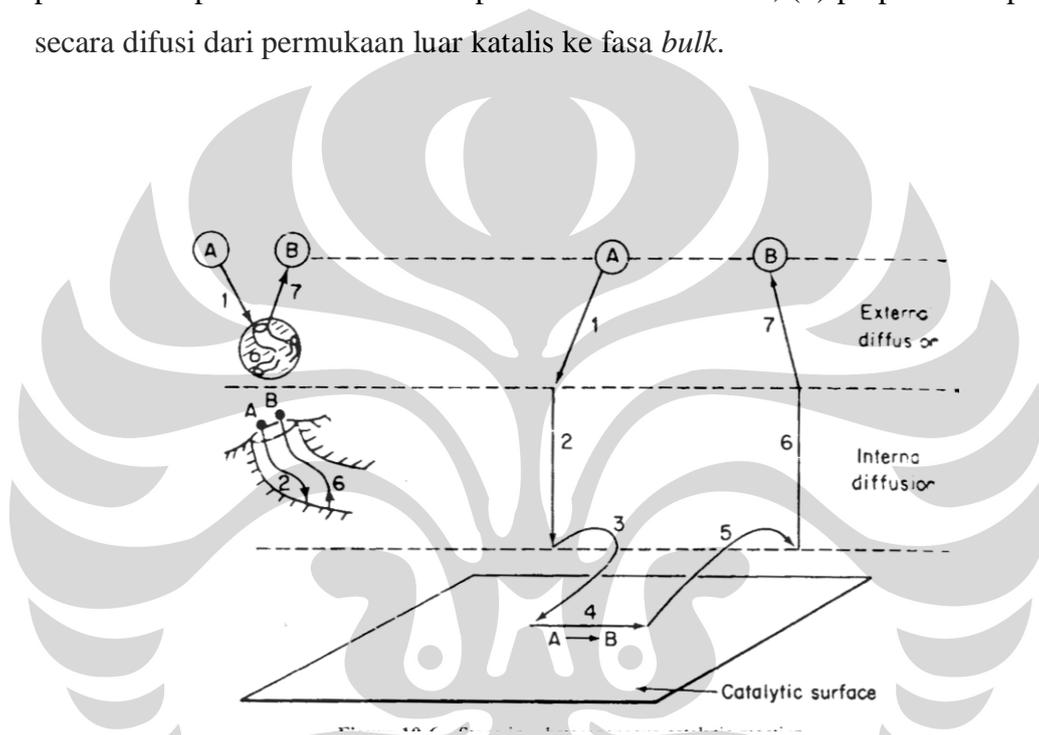
Sama seperti katalis pada umumnya, fotokatalis juga dapat dibedakan menjadi dua yakni fotokatalis homogen dan fotokatalis heterogen. Pada fotokatalis homogen, katalis dan reaktan keduanya berada pada satu fasa dengan bantuan oksidator ozon atau hidrogen peroksida. Sedangkan pada fotokatalis heterogen, antara fotokatalis dan reaktan berada pada fasa yang berbeda. Umumnya proses fotokatalis heterogen menggunakan bantuan cahaya dengan katalis berupa padatan dari logam transisi seperti titanium, seng, ataupun cadmium.

Pada reaksi berfotokatalis heterogen supaya reaktan dapat menempel pada permukaan katalis perlu adanya difusi dari fasa fluida ke permukaan katalis. Proses difusi ini pada umumnya berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan tahapan reaksi sehingga tidak akan berpengaruh banyak pada laju reaksi mengingat laju suatu reaksi ditentukan oleh mekanisme reaksi yang paling lambat. Dalam kondisi yang demikian ini, pengaruh dari transfer massa tidak terlalu besar. Di sisi lain, apabila tahapan reaksi lebih cepat, dan proses difusi berlangsung lebih lambat seperti yang terjadi pada katalis yang memiliki pori, proses transfer massa



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

akan lebih berpengaruh. Tahapan yang terjadi pada reaksi berfotokatalis heterogen dapat dilihat pada Gambar 2. 1 yang meliputi: (1) Perpindahan reaktan dari fasa *bulk*-nya ke permukaan luar katalis, (2) difusi reaktan permukaan luar ke permukaan dalam katalis, (3) adsorpsi reaktan ke permukaan katalis, (4) reaksi pada permukaan katalis, (5) desorpsi produk dari permukaan katalis, (6) difusi produk dari permukaan dalam ke permukaan luar katalis, (7) perpindahan produk secara difusi dari permukaan luar katalis ke fasa *bulk*.



Gambar 2. 1. Tahapan reaksi pada katalis heterogen (Foggler, 1999)

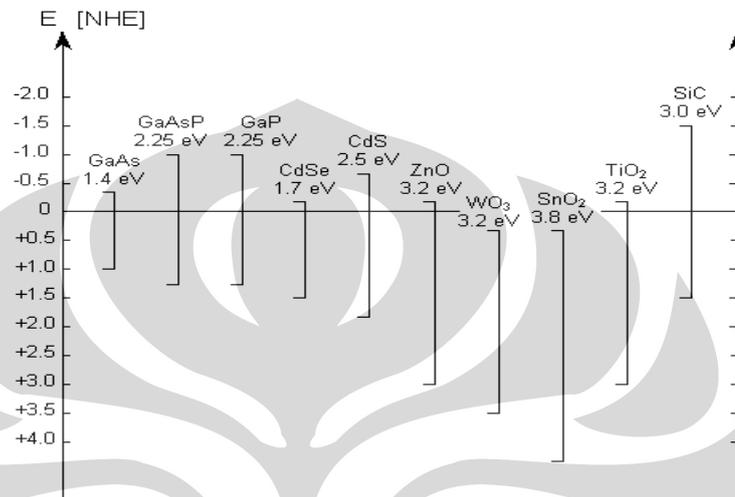
Bahan semikonduktor merupakan bahan yang umum digunakan sebagai fotokatalis. Hal ini disebabkan karena bahan semikonduktor yang sebagian besar merupakan logam transisi memiliki celah pita energi (*energy bandgap*), yang ketika mendapat energi cahaya akan menyebabkan terjadinya eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Ini terjadi jika energi cahaya yang diberikan sama atau lebih besar daripada celah pita energi dari bahan tersebut.

Salah satu bahan semikonduktor yang paling banyak dipaplikasikan sebagai fotokatalis adalah titanium yang berada dalam bentuk oksidanya yang dikelompokkan ke dalam jenis *chalconide* yaitu logam oksida. Hal ini disebabkan karena TiO_2 mempunyai celah pita energi yang cocok untuk proses fotokatalitik



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

yaitu sebesar 3,2 eV serta mempunyai stabilitas kimia yang baik pada interval pH yang besar dan berbagai jenis pelarut. (Guo et al., 2004). Gambar 2. 2. di bawah ini menunjukkan besarnya celah pita energi dari berbagai bahan semikonduktor:



Gambar 2. 2. Nilai band gap berbagai bahan semikonduktor pada elektrolit dengan pH=1 (Aryanie, 2007)

2.2. PROSES FOTOKATALITIK PADA SEMIKONDUKTOR

Suatu proses fotokatalitik akan terjadi ketika semikonduktor menerima energi dari cahaya ultraviolet. Cahaya tersebut akan menyebabkan terjadinya eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Ketika terjadi eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi, akan terbentuk lubang (*holes*) sebanyak elektron yang berpindah. Eksitasi tersebut akan dimungkinkan apabila energi foton yang diterima lebih besar daripada energi celah pita pada bahan semikonduktor. Oleh sebab itu semikonduktor yang mempunyai celah pita energi yang terlalu besar tidak terlalu baik digunakan sebagai materi fotokatalis sebab pada semikonduktor yang memiliki celah pita energi yang lebar, elektron pada pita valensi tidak bisa tereksitasi menuju pita konduksi.

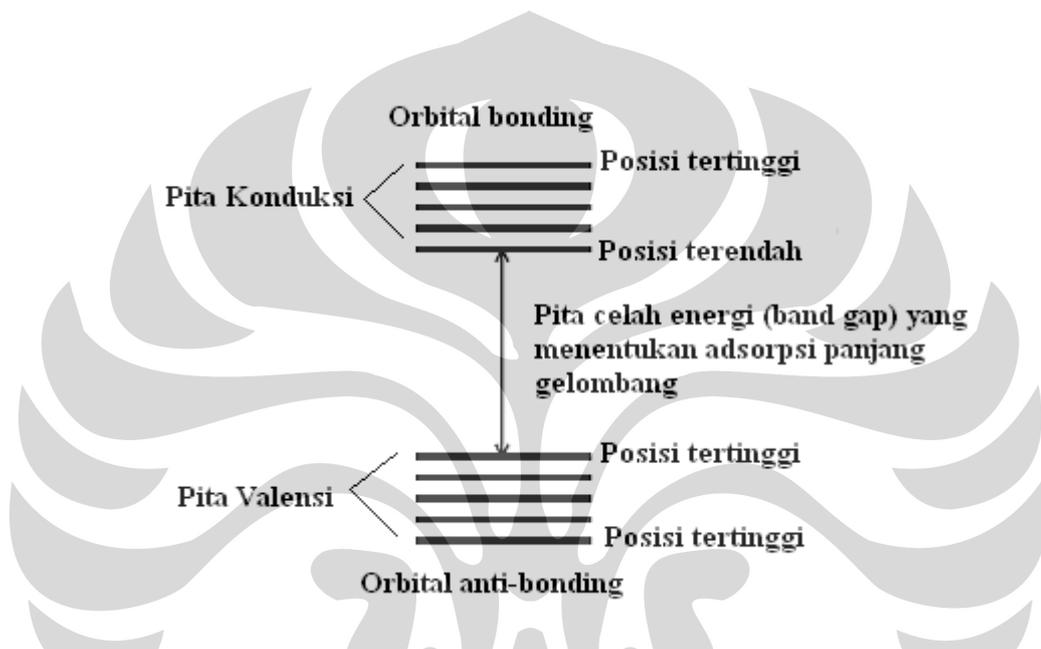
Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi reaksi fotokatalitik pada semikonduktor menyangkut struktur pita yang dimilikinya, yaitu:



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

- Celah pita energi (*band gap energy*).
- Posisi terbawah dari pita konduksi.
- Posisi teratas dari pita valensi.

Adapun struktur pita pada bahan semikonduktor dapat dilihat pada Gambar 2. 3. di bawah ini:



Gambar 2. 3. Struktur pita pada semikonduktor (Amemiya, 2004)

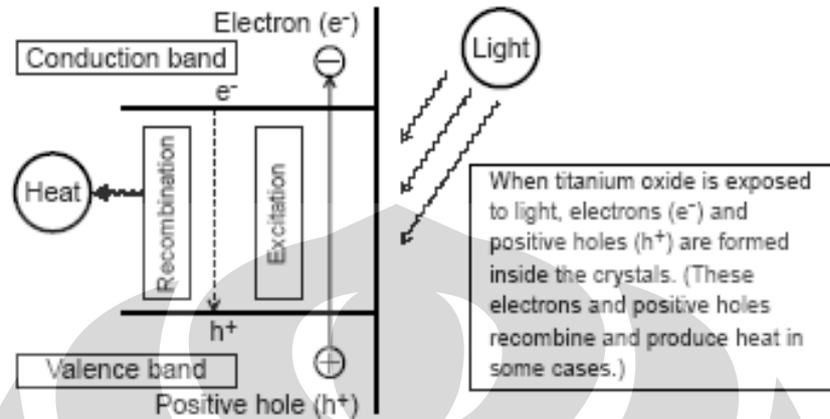
Pada reaksi fotokatalisis, lebar dari celah pita energi akan menentukan panjang gelombang cahaya mana yang paling efektif. Posisi paling tinggi dari pita valensi merupakan komponen yang paling mempengaruhi kekuatan oksidasi dari suatu fotokatalis. Dengan celah pita energi sebesar 3,2 eV yang dimiliki oleh TiO_2 , panjang gelombang cahaya yang dapat menyebabkan eksitasi elektron ke pita konduksi adalah 388 nm. Cahaya dengan panjang gelombang sebesar itu dapat diperoleh dari cahaya matahari yang sampai ke bumi ataupun dari cahaya yang dihasilkan oleh lampu.

Adapun mekanisme yang terjadi pada proses fotokatalisis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. 4 dapat dijelaskan sebagai berikut. Ketika suatu foton



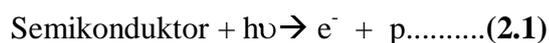
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

dengan energi $h\nu$ melebihi besar dari pita celah energi, sebuah elektron akan “terpromosikan” ke pita konduksi sehingga meninggalkan lubang atau *hole* (h^+)



Gambar 2. 4. Mekanisme reaksi fotokatalisis pada semikonduktor (Amemiya, 2004)

pada pita valensi. Pada material yang bersifat konduktor listrik, misalnya logam, muatan yang terbentuk akan mengalami proses rekombinasi kembali. Pada material semikonduktor termasuk TiO_2 , sebagian dari pasangan *elektron-hole* ini akan mengalami proses rekombinasi, sedangkan sebagian lagi akan mengalami reaksi pada permukaan katalis dengan senyawa yang teradsorp pada permukaan. Proses rekombinasi merupakan kembalinya elektron ke posisi semula sehingga kembali dibentuk suatu muatan netral. Proses rekombinasi pada semikonduktor dapat melalui berbagai mekanisme seperti rekombinasi dalam partikel (*volume recombination*), rekombinasi pada permukaan katalis (*surface recombination*) serta rekombinasi pada fasa ruahnya yang kesemuanya itu membebaskan sejumlah energi panas. Proses rekombinasi tersebut dapat dituliskan pada reaksi di bawah ini:



Dengan N merupakan lambang untuk netral dan E adalah energi yang dilepaskan. Sedangkan sebagian lagi dari pasangan *elektron-hole* yang mengalami proses fotoeksitasi akan berdifusi ke permukaan katalis (pasangan elektron akan terjebak



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

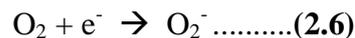
pada permukaan) dan turut serta pada reaksi kimia dengan molekul donor (D) atau acceptor (A) yang teradsorpsi pada permukaan katalis. *Hole* yang terbentuk akan mengoksidasi senyawa donor yang teradsorpsi pada permukaan katalis, sedangkan elektron yang tereksitasi akan menyebabkan terjadinya reduksi senyawa yang teradsorpsi tersebut. Reaksi yang terjadi dapat dituliskan di bawah ini:



Salah satu karakteristik utama dari semikonduktor jenis *chalconide* adalah daya oksidasi yang kuat oleh *hole*-nya. *Hole-hole* tersebut dapat menyerang air (H_2O) yang akan menghasilkan ion hidroksil ($OH \cdot$) yang bersifat radikal. Ion ini akan meningkatkan sifat *hidrofilik* permukaan. Baik itu *hole* maupun ion ini merupakan oksidator yang sangat kuat yang mampu mengoksidasi kebanyakan senyawa-senyawa organik. Adapun reaksi yang terjadi ialah:



Jika terdapat oksigen, radikal yang terbentuk dari senyawa organik akan mengalami reaksi berantai dan mengambil senyawa oksigen yang bertindak sebagai elektron akseptor. Akibatnya, senyawa organik tersebut akan mengalami dekomposisi menjadi CO_2 dan H_2O . Oksigen yang tereduksi setelah menerima sejumlah elektron akan menjadi anion superoksida seperti yang diperlihatkan pada persamaan reaksi berikut ini:



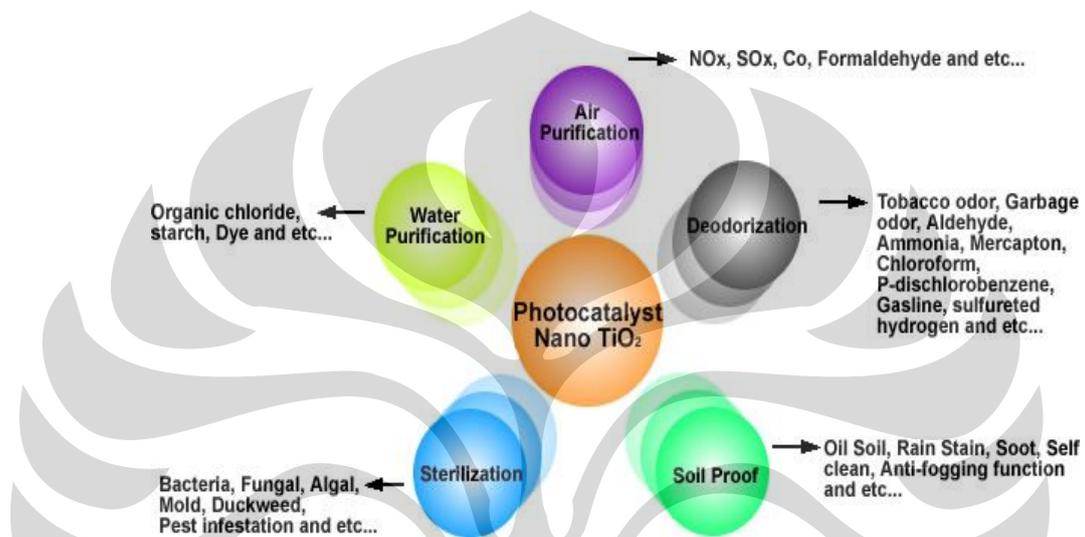
Pada beberapa kondisi tertentu, senyawa organik dapat bereaksi langsung dengan *holes* yang bermuatan positif sehingga akan menyebabkan terjadinya peristiwa dekomposisi oksidatif (Amemiya, 2004).



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.3. FOTOKATALISIS TITANIUM OKSIDA

Titanium oksida merupakan salah satu material yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Gambar 2. 5. di bawah ini menunjukkan berbagai aplikasi dari TiO_2 dalam kehidupan sehari-hari.



Gambar 2. 5. Aplikasi TiO_2 dalam kehidupan sehari-hari
(www.greenmillennium.com/tio2eff1.htm, 2003)

Adapun yang menjadi alasan pemilihan TiO_2 sebagai materi semikonduktor dalam penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

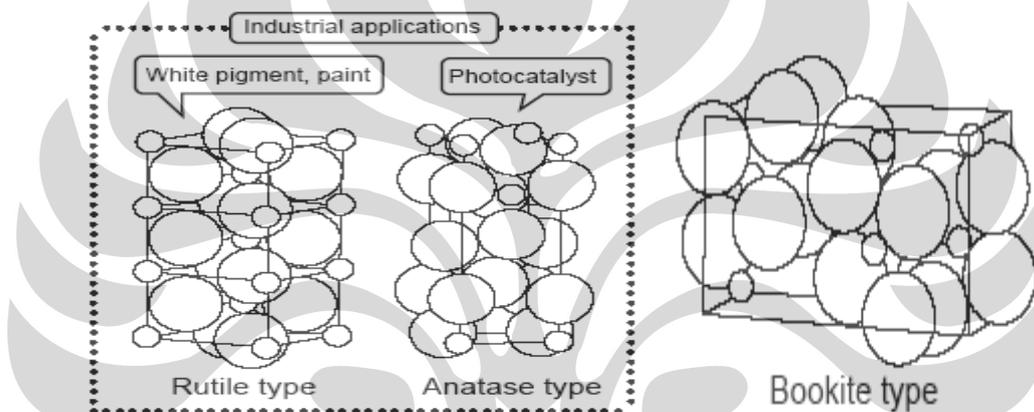
- Mempunyai energi celah pita (*band gap*) yang cocok untuk proses fotokatalis sehingga memudahkan terjadinya eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi saat dipaparkan cahaya ultraviolet.
- TiO_2 tahan terhadap photodegradasi (Wikoxoa, 2000).
- Mampu menyerap dengan baik cahaya ultraviolet dekat.
- Memiliki kestabilan kimia pada rentang pH yang besar.
- Bersifat inert dan tidak beracun (Licciulli, 2002).
- Secara umum memiliki aktivitas fotokatalis yang lebih tinggi dibandingkan dengan fotokatalis lain seperti ZnO , CdS , WO_3 , dan SnO_2 (Hermann, 1999 ; Sun, Nakajima, & Toshiya Watabe, 2003).



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

- g. Memiliki kemampuan oksidasi yang tinggi (Sun, Nakajima, & Toshiya Watabe, 2003).
- h. Relatif murah (Wikoxoa, 2000).
- i. Mempunyai afinitas yang tinggi pada kebanyakan molekul sehingga mudah untuk dilakukan modifikasi permukaan.

TiO₂ mempunyai tiga bentuk kristal yaitu *rutile*, *anatase*, dan *brookite* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. 6. di bawah ini.



Gambar 2. 6. Struktur kristal TiO₂ (Amemiya, 2004)

Struktur *anatase* merupakan bentuk yang paling sering digunakan karena memiliki luas permukaan serbuk yang lebih besar serta ukuran partikel yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur *rutile*. Struktur kristal *rutile* mempunyai celah pita energi yang lebih kecil yaitu 3 ev dibandingkan dengan celah pita energi pada struktur kristal *anatase* yaitu sebesar 3,2 ev. Kedua struktur kristal tersebut mampu menyerap sinar ultraviolet, tetapi struktur kristal *rutile* yang celah pita energi yang lebih sempit mampu menyerap cahaya dengan panjang gelombang yang lebih kecil seperti pada cahaya tampak.

Walaupun struktur *rutile* mempunyai rentang penyerapan cahaya yang lebih lebar, struktur ini jarang digunakan dalam aplikasi fotokatalis seperti halnya anatase. Hal ini disebabkan karena perbedaan struktur energi diantara kedua jenis kristal dimana pita konduksi dari kristal anatase lebih dekat dengan posisi pita



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

valensi sehingga kekuatan reduksi dari kristal anatase ini menjadi lebih besar dibandingkan rutil (Amemiya, 2004). Perbedaan tersebut menyebabkan aktivitas fotokatalisis dari *anatase* lebih baik daripada *rutil*.

Dengan berbagai alasan di atas, maka pada penelitian kali ini, nano kristal yang akan dipreparasi adalah yang mempunyai struktur kristal *anatase*. Struktur kristal *anatase* ini cenderung terbentuk pada temperatur yang lebih rendah, sedangkan pada temperatur di atas 400 °C peluang terbentuknya struktur kristal *rutil* lebih besar.

2.4. FOTOKATALISIS BENTUK FILM

Kebanyakan fotokatalis TiO₂ yang dipreparasi berada dalam bentuk serbuk. Hal ini disebabkan karena katalis dalam bentuk serbuk lebih mudah untuk dipreparasi, serta mampu menghasilkan luas permukaan yang lebih besar. Tetapi terlepas dari semua itu, katalis bentuk serbuk mempunyai beberapa kelemahan yaitu:

- Sukarnya pemisahan katalis dari suspensinya ketika reaksi fotokatalitik berakhir.
- Pada konsentrasi tinggi, partikel-partikel yang tersuspensi cenderung mengalami proses penggumpalan.
- Suspensi-suspensi partikel serbuk sulit untuk diaplikasikan dalam sistem aliran yang kontinyu.
- Kedalaman penetrasi sinar UV dalam suspensi TiO₂ terbatas.

Berbagai keterbatasan tersebut mendorong untuk dikembangkannya katalis dalam bentuk lain misalnya dalam bentuk film. Penelitian dalam mengembangkan katalis berbentuk film telah dilakukan oleh banyak dilakukan misalnya oleh Guo et al. (2004), Slamet et al. (2003) serta Yu et al. (2001). Dalam penelitiannya, Slamet et al. (2003) menemukan bahwa aktivitas pada fotokatalis film lebih baik daripada fotokatalis jenis serbuk. Hal ini disebabkan karena pada fotokatalis film terjadi interaksi yang lebih baik antara permukaan katalis dengan reaktan.



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Guo et al. (2004) dalam penelitiannya mengungkapkan bahwa sifat-sifat optik serta aktivitas fotokatalitik berbentuk film dari TiO₂ sangat bergantung pada struktur kristal, ukuran kristal, ketebalan serta porositas dari lapisan film yang terbentuk. Dalam percobaan tersebut, Guo et al. (2004) menggunakan senyawa organik polimer yakni PEG (*Polyethylene Glycol*) yang merupakan aditif multifungsi, dimana aditif ini sangat berperan penting dalam proses preparasi fotokatalis dalam bentuk film.

Preparasi fotokatalis dalam bentuk film juga tidak terlepas dari aplikasi teknologi pelapisan (*coating*) yang ada. Berbagai jenis teknik pelapisan yang berbeda-beda akan menghasilkan ketebalan lapisan fotokatalis yang berbeda pada *support* yang digunakan, sehingga akan mempengaruhi aktivitas fotokatalis itu sendiri.

2.5. APLIKASI TEKNOLOGI FOTOKATALISIS TiO₂

Pada Gambar 2. 5. telah ditunjukkan bahwa fotokatalis TiO₂ mempunyai aplikasi yang luas dalam kehidupan sehari-hari. Sifat fotokatalis TiO₂ yang baik terutama yang mempunyai struktur kristal *anatase* menjadikan semikonduktor ini dimanfaatkan baik sebagai materi *anti fogging*, material *self-cleaning*, serta digunakan untuk aspek lingkungan misalnya untuk mendegradasi senyawa-senyawa organik yang berbahaya.

2.5.1. Aplikasi untuk Anti-Fogging

Fog atau kabut yang terbentuk pada permukaan suatu material terjadi karena adanya kondensasi uap air yang ada di udara sehingga terbentuk tetes embun. Material seperti kaca, plastik merupakan material yang bersifat *hidrophobik* atau dengan kata lain material-material tersebut menolak kehadiran air. Akibat sifat *hidrophobik* ini terjadi kecenderungan untuk membentuk butiran-butiran embun seperti yang ditunjukkan Gambar 2. 7. dibandingkan terbentuknya lapisan tipis yang menyebar pada permukaan material.



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2. 7. Tetesan air pada permukaan kaca, resin dan resin hydrophobic ([www.toto.com/super-hydrophilic photocatalyst](http://www.toto.com/super-hydrophilic-photocatalyst), 2007)

TiO₂ merupakan suatu material yang mempunyai *hidrofilisitas* yang tinggi. Oleh sebab itu ketika sebuah *support* misalnya kaca atau plastik dilapisi dengan fotokatalis ini, akan menunjukkan sifat *hidrofilik* sehingga akan mencegah terjadinya pembentukan butiran air seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. 8. di bawah ini. *Hidrofilik* ini dapat diartikan sebagai material yang mampu mengadsorp air pada permukaannya dengan membentuk “ikatan hidrogen” dengan air.



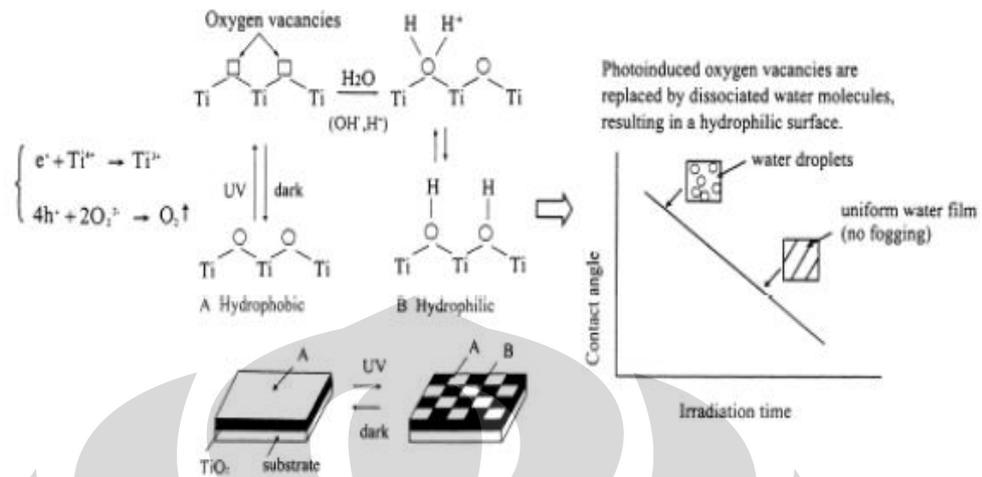
Gambar 2. 8. Perbedaan permukaan kaca yang tidak dilapisi dan dilapisi TiO₂ ([www.toto.com/super-hydrophilic photocatalyst](http://www.toto.com/super-hydrophilic-photocatalyst), 2007)

2.5.1.1. Mekanisme Hidrofilisitas pada TiO₂

Proses *antifogging* dan juga *self-cleaning* yang akan disinggung selanjutnya sangat bergantung pada salah satu sifat fotokatalis TiO₂ yaitu hidrofilisitas. Mekanisme *hidrofilisitas* yang terjadi dapat diilustrasikan pada Gambar 2. 9. sebagai berikut:



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

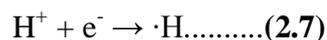


Gambar 2. 9. Mekanisme hidrofilitas pada TiO₂ (Licciulli ,2002)

Proses *hidrofilitas* ini dimulai ketika TiO₂ mendapat cahaya UV sehingga terjadi eksitasi elektron dan membentuk *hole* pada pita valensi. Pada proses selanjutnya, elektron cenderung mereduksi kation Ti (IV) menjadi Ti (III) dan *hole* yang terbentuk akan mengoksidasi anion O₂⁻. Proses ini akan mengakibatkan terjadinya kekosongan oksigen (*oxygen vacancies*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. 9. Dengan adanya kekosongan tersebut, mengakibatkan molekul lain seperti air untuk masuk ke dalam dan menghasilkan gugus OH yang teradsorpsi sehingga permukaan menjadi bersifat *hidrofilik*.

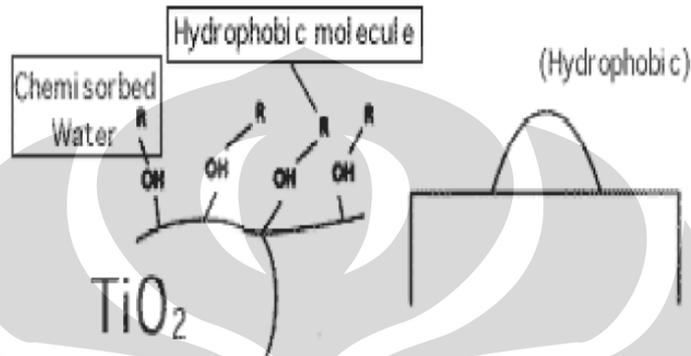
Licciulli (2002) menjelaskan mekanisme adsorpsi air pada permukaan terjadi ke dalam 4 tahap yaitu:

a. Tahap 1 : Ion H⁺ dan OH⁻ dari molekul air teradsorpsi secara kimia pada permukaan (*chemisorption*) sehingga terbentuk lapisan tunggal (*monolayer*).



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Gugus OH diabsorpsi pada daerah yang mengalami *oxygen vacancies*. Gugus OH ini tidak stabil sehingga perlu distabilkan dengan adanya adsorpsi molekul *hidrofobik* (-R) seperti kontaminan atau senyawa organik.



Gambar 2. 10. Tahapan penyerapan air pada permukaan TiO₂ (Licciulli ,2002)

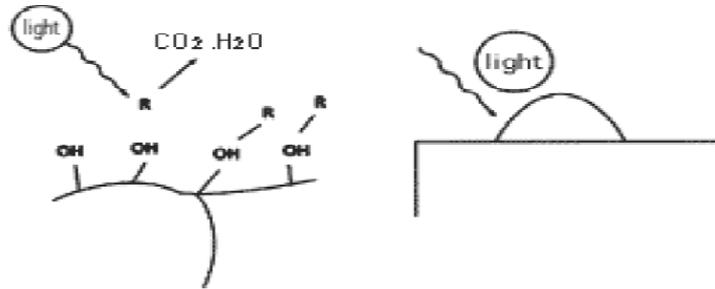
b. Tahap 2 : Dengan bantuan radiasi cahaya, fotokatalis mendekomposisi senyawa *hidrofobik* melalui reaksi:



Elektron akan mereduksi oksigen yang ada di udara, sedangkan *hole* akan mengoksidasi gugus OH yang berasal dari air. Unsur aktif yang bertanggungjawab terhadap penghancuran kontaminan biasanya ialah radikal hidroksil ($\cdot OH$) karena mempunyai potensial oksidasi yang sangat tinggi. Senyawa radikal ini bersifat tidak stabil sehingga akan mengoksidasi senyawa-senyawa yang ada.

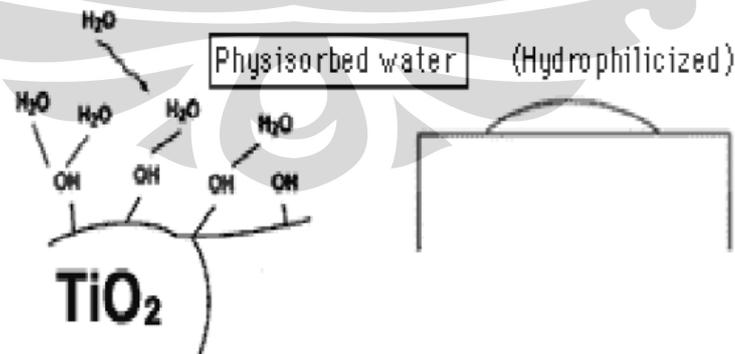


BAB II. TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2. 11. Tahapan dekomposisi senyawa hidrophobic (Licciulli ,2002)

c. Tahap 3: Air yang telah berikatan secara kimia (*chemisorped*) lalu akan berikatan dengan molekul air lain yang ada di sekitarnya secara fisika melalui pembentukan ikatan Van der Waals dan ikatan hidrogen. Ikatan-ikatan tersebut dimungkinkan karena terdapatnya gugus hidroksil. Dengan semakin bertambahnya gugus hidroksil, maka jumlah air yang teradsorp secara fisika juga akan semakin besar. Air yang teradsorp ini akan mengalami reaksi dengan *hole* dan menghasilkan radikal hidroksil yang bertambah jumlahnya seiring dengan meningkatnya kandungan hidroksil katalis. Dengan meningkatnya jumlah air yang teradsorp, maka mengindikasikan bahwa laju rekombinasi menjadi netral dapat dikurangi sehingga aktivitas fotokatlitik menjadi lebih besar pula.

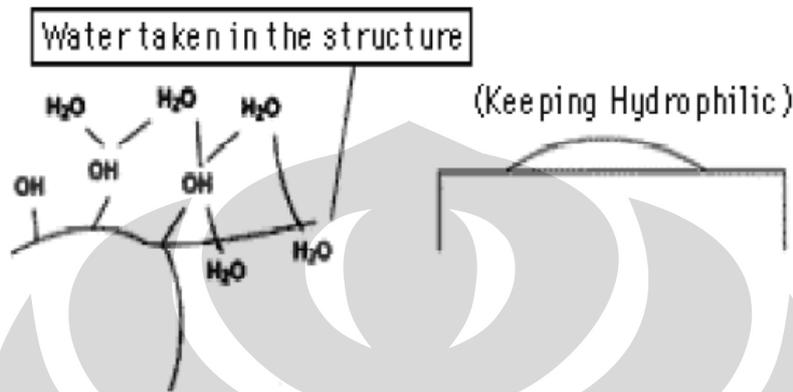


Gambar 2. 12. Tahapan pengikatan molekul air secara fisika (Licciulli ,2002)



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

d. Tahap 4 : Pada tahap ke-4 ini terjadi stabilisasi air yang telah terikat melalui proses difusi sehingga akan terbentuk lapisan multilayer pada permukaan.



Gambar 2. 13. Tahap stabilisasi ikatan air (Licciulli , 2002)

2.5.1.2. Pengukuran Sudut Kontak

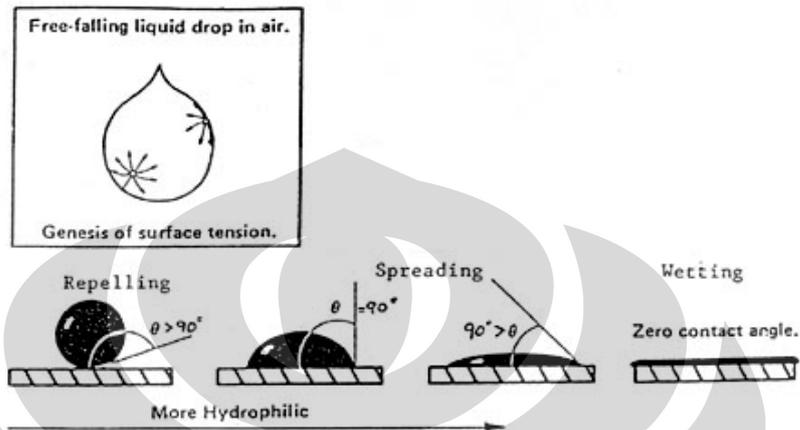
Sudut kontak merupakan suatu cara untuk mengetahui sifat *hidrofilisitas* dari TiO₂. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa pada suatu material yang *hidrofilik*, ketika ada suatu tetesan air yang mengenai permukaan, maka akan terjadi proses pembasahan. Sudut kontak yang akan diukur adalah sudut 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° maka akan terjadi pembasahan (*wetting*), sudut antara 0° dan 90° akan menghasilkan tetesan yang menyebar, sedangkan apabila sudut yang terbentuk lebih dari 90° cairan akan cenderung untuk membentuk embun pada permukaan (Licciulli, 2002).

Untuk menentukan besarnya sudut kontak permukaan dengan cairan, maka cairan akan ditetaskan pada permukaan substrat dengan disinari cahaya UV, kemudian sudut kontak yang terbentuk diukur dengan menggunakan alat *contact angle meter*. Jika sudut kontak yang terbentuk lebih besar dari 90° maka permukaan bersifat *hidrofobik*. Bila permukaan memiliki sudut yang lebih kecil



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

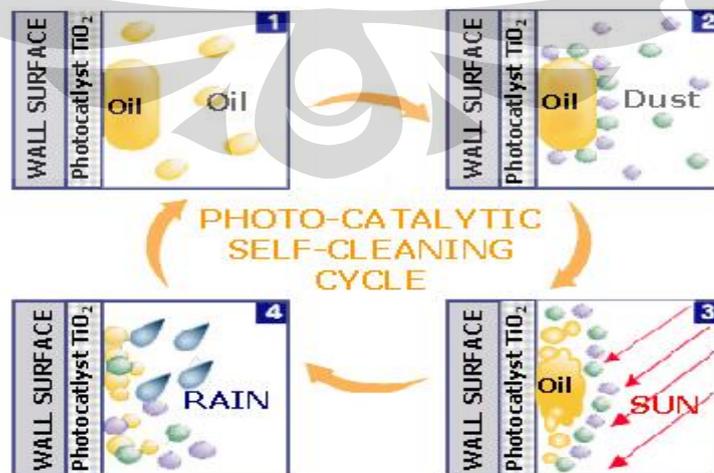
dari 10^0 maka otomatis cairan akan langsung melebar dan membentuk lapisan tipis yang berarti permukaan bersifat *hidrofil*.



Gambar 2. 14. Pembentukan sudut kontak antara air dan padatan (Licciulli, 2002)

2.5.2. Aplikasi untuk Self-Cleaning

Kebanyakan dinding ataupun permukaan di luar ruangan misalnya kaca pada gedung biasanya mudah kotor akibat terjadinya polusi. Pengotoran tersebut dapat disebabkan baik oleh debu, partikulat-partikulat ataupun minyak yang menempel pada permukaan.



Gambar 2. 15. Mekanisme self cleaning pada TiO_2 (www.greentitan.com)

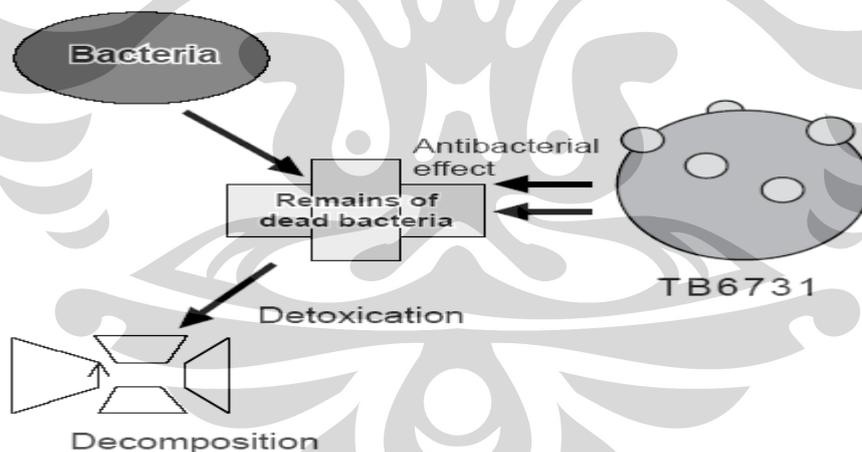


BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Ketika permukaan yang kotor tersebut dilapisi dengan fotokatalis maka kotoran yang menempel akan terbawa oleh air saat hujan dan menjaga agar permukaan tersebut tetap bersih. Hal ini akan mengakibatkan terjadinya penghematan dari segi pembersihan permukaan dengan detergen yang memerlukan biaya yang lebih besar.

2.5.3. Aplikasi untuk Purifikasi Air dan Udara

TiO₂ mempunyai kemampuan untuk mencegah pertumbuhan substansi-substansi seperti virus atau bakteri sehingga menjadikan fotokatalis ini cukup penting dalam penggunaannya pada purifikasi air. Dengan adanya penambahan dopan logam yaitu perak (Ag) ternyata dapat meningkatkan daya dekomposisi bakteri (Licciulli, 2002). Gambar 2. 16. berikut ini menunjukkan mekanisme dekomposisi bakteri oleh fotokatalis TiO₂ yang diberi dopan Ag.



Gambar 2. 16. Dekomposisi bakteri oleh TiO₂ dengan penambahan dopan Ag (Licciulli, 2002)

Selain untuk purifikasi air, sifat fotokatalitik yang dimiliki oleh TiO₂ menjadikan semikonduktor ini juga dimanfaatkan dalam proses pemurnian udara. Aplikasi yang paling utama adalah proses penghancuran senyawa organik *volatile* (VOC) dalam fasa gas. *Volatile Organic Compound* (VOCs) merupakan



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

senyawa-senyawa yang dalam kondisi temperatur dan tekanan normal tetap ada sebagai fasa padat atau cair misalnya alkana, alkana terklorinasi, fenol, senyawa aromatik, asetaldehida, asam organik, senyawa amin dan lain sebagainya. Pada umumnya senyawa-senyawa yang mengandung atom C seperti karbon monoksida, karbon dioksida dapat digolongkan sebagai VOC.

Senyawa-senyawa tersebut dapat terdegradasi melalui proses fotokatalitik dimana *hole* yang terbentuk akan mengoksidasi senyawa tersebut menjadi CO₂, H₂O, dan asam mineral. Beberapa senyawa anorganik yang dapat diubah melalui proses ini adalah ion-ion logam transisi, sianida atau nitrat (Lee et al., 2006).

Beberapa senyawa organik volatil yang telah didemonstrasikan melalui proses fotokatalisis ini antara lain adalah (Sopyan et al., 1994): alkana, siklo alkana, propane, 1,3-butadiena, benzene, toluene, m-xylen, methanol, etanol, isopropanol, butanol, metalbutanol, formaldehida, asetaldehida, propionaldehidam butiraldehidam aseton, asam isobutirat, piridina, nitrogliserin, metal merkaptan, trikloroetilen, serta CO. Semuanya menghasilkan produk gas dengan kandungan terbesar CO₂.

2.6. METODE PREPARASI SOL-GEL

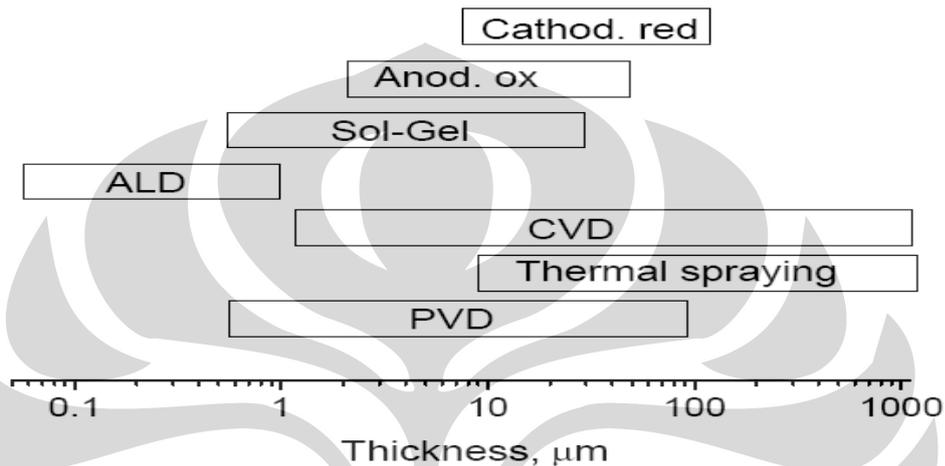
Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mempreparasi TiO₂ dalam dalam ukuran nano seperti presipitasi, mikromemulsi, kristalisasi hidrotermal. Sedangkan untuk menghasilkan TiO₂ dalam bentuk film terdapat berbagai macam metode diantaranya metode *sputtering*, *chemical vapor deposition*, *light induced chemical vapor deposition* dan sebagainya. Dari semua metode yang ada, metode sol-gel sederhana merupakan metode yang paling banyak digunakan karena menghasilkan katalis yang mempunyai beberapa kelebihan yaitu (http://edu.chem.tue.nl/6km10/sheets/SET-slides_lecture9.pdf) :

- Stabilitas thermal yang tinggi
- Luas permukaan BET yang tinggi
- Daya tahan pelarut yang baik
- Stabilitas mekanik yang tinggi



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

- Dapat dilakukan modifikasi permukaan
- Ketebalan lapisan yang cukup baik seperti yang dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 2. 17. Ketebalan katalis film beberapa metode preparasi (http://edu.chem.tue.nl/6km10/sheets/SET-slides_lecture9.pdf)

Sol-gel merupakan komponen yang diklasifikasikan sebagai koloid. Koloid merupakan suspensi dimana fasa terdispersinya sangat kecil (1-1000 nm) sehingga gaya gravitasi dapat diabaikan dan interaksi antar molekul didominasi oleh gaya Van der Waals dan muatan pada permukaan (Brinker & Scherer, 1989). Sol sendiri merupakan koloid yang partikel halusanya terdispersi pada cairan sedangkan gel merupakan padatan yang tersusun dari fasa cair dan padat dimana kedua fasa ini saling terdispersi dan memiliki struktur jaringan internal.

Pada proses sol-gel prekursor yang digunakan harus mengandung senyawa logam atau *metaloid* yang dikelilingi oleh ligan. Sebagai contohnya pada preparasi nanomaterial TiO_2 dengan metode sol-gel, prekursor yang digunakan adalah logam alkosida $\text{Ti}(\text{OR})_4$ dimana R merupakan gugus alkil (Su, Hong, Tseng, 2004). $\text{Ti}(\text{OR})_4$ ini dapat diklasifikasikan sebagai senyawa metal alkoksida atau senyawa *metalorganic* yang paling banyak digunakan dalam proses sol-gel. Menurut Brinker & Scherer (1989) hal ini disebabkan karena senyawa ini dapat



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

bereaksi dengan baik dengan air pada proses hidrolisis yang merupakan salah satu tahapan pada proses sol-gel.

Melalui proses sol-gel ini, akan terjadi pembentukan senyawa anorganik melalui reaksi kimia dalam larutan pada suhu rendah. Dalam proses tersebut akan terjadi perubahan fasa dari suspensi koloid (sol) membentuk fasa cair kontinyu (gel) yang meliputi tahap-tahap sebagai berikut:

a. Hidrolisis

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



Semakin banyak air yang ditambahkan akan mengakibatkan proses hidrolisis 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, Hong, Tseng, 2004).

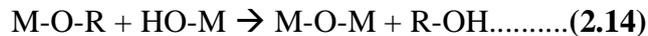
Menurut Brinker & Scherer (1989) proses hidrolisis difasilitasi dengan adanya penambahan densitas muatan pada logam serta jumlah ion hidrogen yang terdapat pada *ligand*. Dengan alasan ini, maka pada beberapa proses sol-gel digunakan asam yang dalam hal ini berfungsi sebagai katalis yang dapat mempercepat 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 sehingga akan menghasilkan kristal logam oksida. Reaksi yang terjadi pada proses kondensasi ini yaitu:



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA



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

c. Aging

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 didalam larutan.

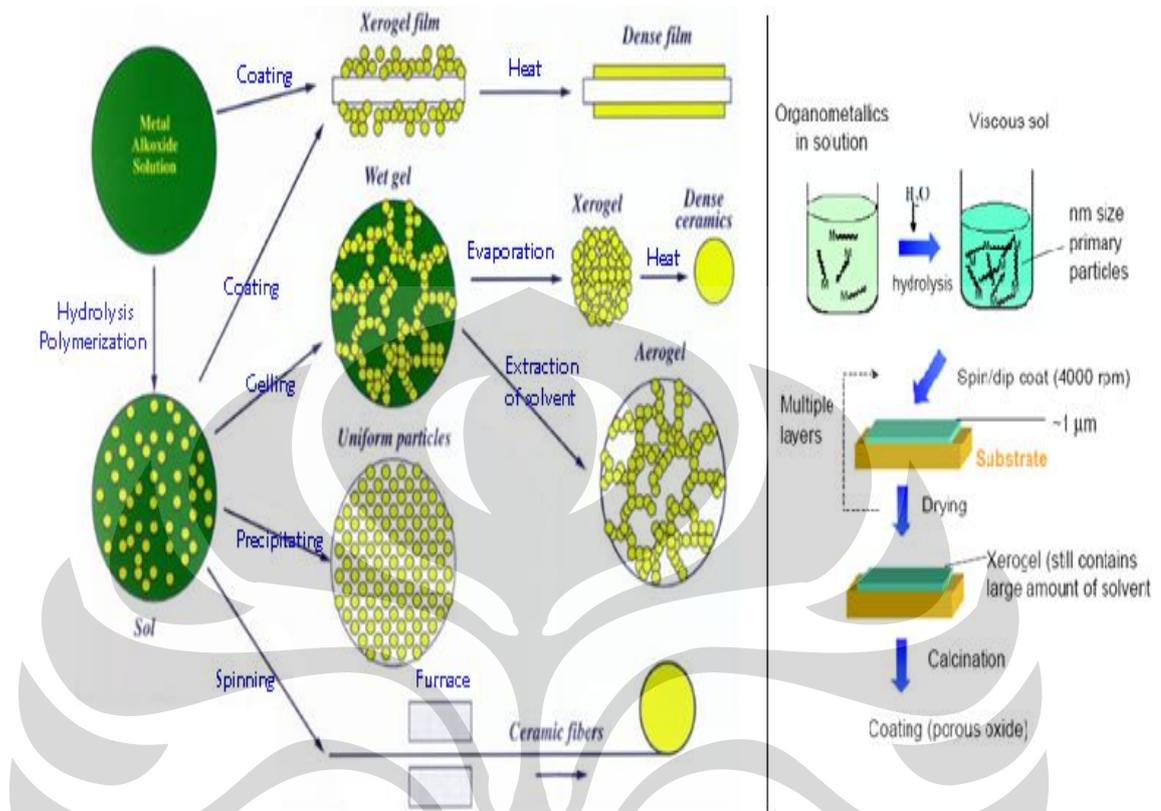
d. Pengerinan

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

Gambar 2. 18. di bawah ini menunjukkan tahapan preparasi nanomaterial TiO₂ dengan metode sol-gel. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa pembentukan katalis dalam bentuk film dimungkinkan dengan menggunakan metode sol-gel ini. Dengan menggunakan teknik pelapisan *spin coating* atau *dip coating*, sol yang terbentuk pada proses hidrolisis dapat membentuk lapisan pada permukaan *support* yang digunakan. Melalui proses pengeringan atau *aging*, *support* dengan lapisan katalis tersebut akan membentuk *xerogel* yang masih mengandung solvent dalam jumlah yang banyak. Untuk mengurangi kadar solvent, maka tahapan terakhir yang dilakukan adalah proses pengeringan dengan proses kalsinasi.



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2. 18. Tahapan preparasi dengan metode sol-gel (http://edu.chem.tue.nl/6km10/sheets/SET-slides_lecture9.pdf)

2.7. METODE KRISTALISASI DINGIN

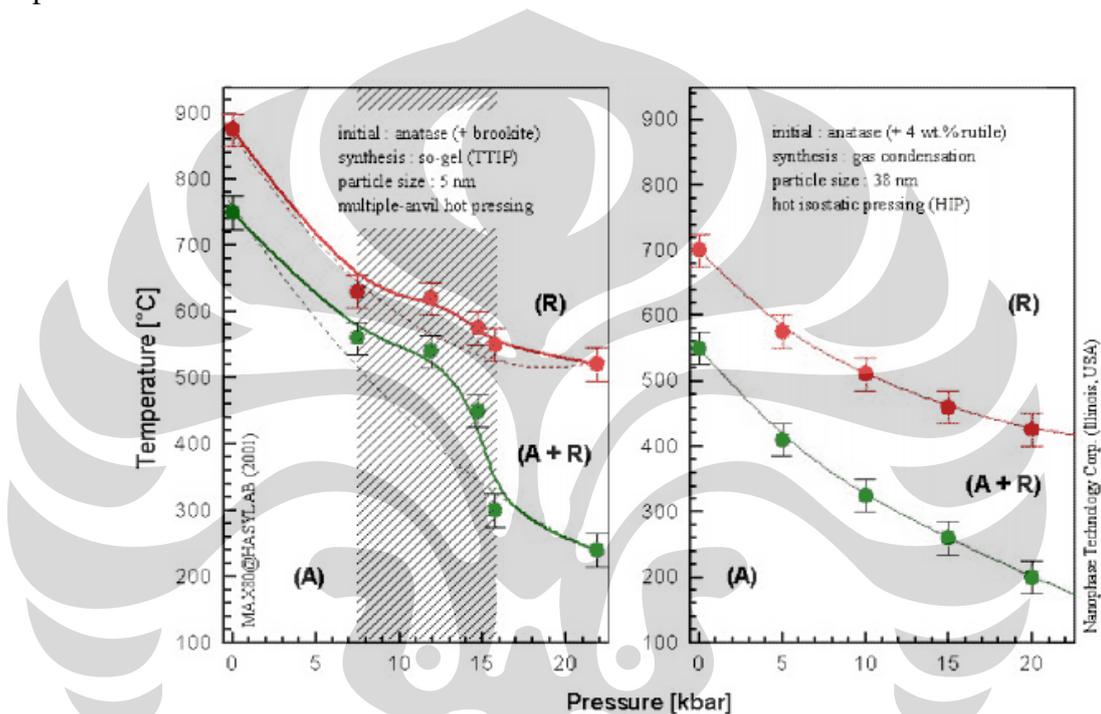
Pada metode preparasi sol-gel yang telah diuraikan di atas terdapat proses pengeringan yang menggunakan temperatur kalsinasi yang cukup tinggi hingga mencapai suhu 400°C . Proses kalsinasi ini mempunyai beberapa kelemahan yakni: (a) membatasi pemakaian *support* terutama yang tidak tahan terhadap perlakuan panas yang tinggi seperti pada plastik, (b) sukar untuk mendapatkan kristal serbuk yang lebih kecil dari 5 nm karena pada temperatur yang tinggi kemungkinan besar akan terjadi penggabungan molekul membentuk kristal *rutile*.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, Liu et al. (2000) mengembangkan metode preparasi sol-gel yang tidak membutuhkan temperatur kalsinasi tinggi,



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

yang lebih dikenal dengan metode kristalisasi dingin. Dalam penelitian yang dilakukan tersebut, kristal anatase TiO₂ berukuran 4 nm diperoleh pada suhu 100⁰ C dengan melakukan penambahan senyawa PEG. Secara teoritis, pembentukan kristal anatase TiO₂ dimungkinkan terjadi pada temperatur yang rendah terutama pada kondisi tekanan yang lebih tinggi seperti yang ditunjukkan oleh grafik P-T pada Gambar 2. 19. :



Gambar 2. 19. Diagram P-T struktur nano TiO₂ (http://www.swt/informatik/uni-rostock/de-englisch-projekte-NM/Uni-Reports-Nicula-fig1/tioag_gif.htm)

PEG yang ditambahkan pada percobaan merupakan aditif yang mempunyai banyak fungsi yaitu untuk membentuk gel, menyebabkan peristiwa dispersi dan sebagai senyawa yang dapat memungkinkan pembentukan *film* (Liu et al., 2000). Hasil penelitian menunjukkan bahwa PEG yang ditambahkan mampu membentuk ikatan hidrogen dengan TiO(NO₃)₂.H₂O yang diperoleh dari penambahan prekursor Ti(SO₄)₂ dengan air serta HNO₃. Ikatan hidrogen yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 2. 20. berikut:



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Penambahan PEG ke dalam sol TiO₂ terbukti dapat meningkatkan performa katalis TiO₂ (Miki et al., 2004). Secara umum, penambahan PEG pada katalis TiO₂ akan berpengaruh pada:

a. Luas permukaan katalis

PEG memiliki kemampuan untuk meningkatkan luas permukaan katalis dengan adanya pembentukan struktur pori pada permukaan katalis (Miki et al., 2004). Proses terbentuknya pori ini diawali dengan terjadinya ikatan antara beberapa molekul air dengan PEG (*associated water*) melalui ikatan hidrogen, sehingga ikatan murni PEG akan hilang dan berubah menjadi ikatan kompleks antara air dengan PEG. Pada tahap selanjutnya ikatan PEG kompleks akan mengalami penggumpalan dan membentuk larutan inorganik atau komposit polimer. Proses ini akan diikuti dengan proses hidrolisis pada *associated water* dan *non-associated water* sehingga seluruh kandungan air pada larutan katalis akan hilang. Proses kalsinasi pada temperatur tinggi akan menyebabkan komposit polimer dari PEG tersebut berubah menjadi gas dan meninggalkan permukaan katalis dengan membentuk struktur pori pada permukaan katalis (Guo et al., 2005). Ukuran dan jumlah pori yang terbentuk pada permukaan katalis ditentukan oleh banyaknya penambahan PEG serta berat molekul PEG yang ditambahkan ke dalam katalis TiO₂ (Guo et al., 2005). Semakin banyak penambahan PEG serta semakin besar berat molekul PEG yang ditambahkan ke dalam katalis film TiO₂, maka ukuran dan banyaknya pori yang terbentuk akan semakin banyak.

b. Aktivitas Katalis

Aktivitas suatu katalis sangat dipengaruhi oleh keberadaan radikal-radikal pada katalis. Penambahan PEG mampu meningkatkan aktivitas katalis film TiO₂ dengan meningkatkan jumlah *active site* pada katalis. Dengan meningkatnya jumlah *active site*, maka jumlah gugus OH yang terbentuk akan semakin banyak sejalan dengan semakin banyaknya penambahan PEG atau berat molekul yang ditambahkan ke dalam larutan katalis. TiO₂ (Guo et al., 2005). Gugus hidroksil diperoleh dari luasan pori yang semakin besar sehingga makin mudah diserang



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

oleh air. Dengan meningkatnya jumlah gugus hidroksil, maka permukaan katalis akan semakin bersifat *hidrofilik* atau suka air.

Efek penambahan PEG dari jumlah dan berat molekul sangat besar. Dengan penambahan jumlah dan berat dari PEG maka pada saat yang sama dapat terjadi penurunan stabilitas sistem.

c. Proses Peretakan (*Cracking*)

Pada saat kalsinasi pada temperatur tinggi berlangsung, proses peretakan pada permukaan katalis sangat mudah terjadi terutama dengan ketebalan katalis yang semakin tipis. Penambahan PEG ke dalam katalis film TiO₂ dapat mengurangi kemungkinan terjadinya *cracking* pada permukaan katalis ini. Hal ini disebabkan karena PEG mampu meningkatkan sifat elastis pada struktur katalis film sehingga tidak akan mudah retak saat terjadinya perubahan volume katalis saat proses kalsinasi berlangsung (Miki et al., 2004).

d. Interaksi antar partikel katalis

PEG memiliki keefektifan untuk mencegah terjadinya proses penggumpalan antar partikel katalis TiO₂ atau *sintering*. Hal ini terjadi karena PEG telah teradsorpsi pada partikel TiO₂ sehingga interaksi antar partikel TiO₂ akan berkurang. Berkurangnya interaksi antar partikel TiO₂ ini terjadi karena terdapatnya penghalang PEG yang menyebabkan partikel TiO₂ menjadi tidak menggumpal (Miki et al., 2004).

e. Viskositas larutan

Penambahan PEG ke dalam katalis TiO₂ dapat meningkatkan viskositas dari larutan katalis. Sejalan dengan meningkatnya viskositas dari larutan, ketebalan lapisan katalis yang terbentuk akan semakin bertambah. Kombinasi penggunaan katalis TiO₂ dan penambahan PEG dapat digunakan untuk menghasilkan katalis dengan porositas tinggi dengan ketebalan lapisan yang tipis. Ketebalan lapisan yang terbentuk sangat dipengaruhi oleh jumlah penambahan PEG (Miki et al., 2004)



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

f. Daya transmittan cahaya

Morfologi dari katalis yang meliputi ukuran pori, distribusi pori, dan struktur kristal dari *coating* sangat mempengaruhi aktivitas dari katalis. Semakin banyak dan semakin besar berat molekul PEG yang ditambahkan maka semakin banyak dan luas pori yang dihasilkan pada permukaan katalis yang berasal dari dekomposisi PEG selama kalsinasi. Akan tetapi harus diperhatikan bahwa daya transmittan katalis akan menurun seiring dengan adanya penyebaran cahaya dan pori yang semakin luas dan banyak. Hal ini disebabkan oleh terjadinya penghamburan atau penyebaran cahaya oleh pori yang semakin luas dan semakin banyak. Dari alasan itu, perlu ada dicari kondisi optimum dari PEG yang ditambahkan (Farida, 2001).

g. Daya absorpsi air

Penambahan PEG ke dalam katalis film akan menyebabkan peningkatan jumlah gugus hidroksil pada permukaan katalis. Dengan meningkatnya jumlah gugus hidroksil, maka permukaan katalis akan semakin bersifat *hidrofilik* atau suka air. Ini berarti bahwa daya absorpsi air dari katalis film akan semakin meningkat. Dengan meningkatnya daya absorpsi air dari katalis film, air yang berada pada permukaan katalis akan segera diabsorb sehingga memungkinkan penyebaran merata pada permukaan kaca dan tidak membentuk *droplet* (butiran). Akibat dari fenomena ini adalah sudut kontak yang dibentuk oleh permukaan air dengan permukaan yang dilapisi katalis menjadi semakin kecil sehingga menunjukkan efek *anti fogging*.

2.9. TEKNOLOGI PELAPISAN SPIN COATING

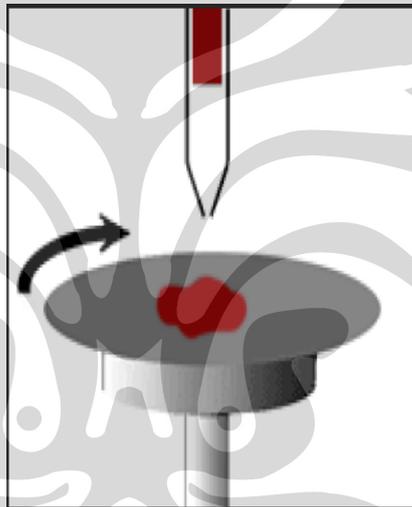
Proses pelapisan (*coating*) TiO_2 pada permukaan *support* dikenal dengan istilah *imobilisasi*. Hal ini disebabkan karena proses *coating* ini akan menghasilkan katalis yang tidak dapat bergerak bebas sebagaimana halnya pada katalis bentuk serbuk tetapi cenderung statis pada permukaan *support* yang digunakan. Teknik pelapisan yang paling umum digunakan adalah teknik



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

pelapisan dengan cara pemusingan yang lebih dikenal dengan sebutan *spin coating*.

Spin coating merupakan metode yang umum digunakan untuk menghasilkan lapisan tipis yang seragam pada substrat yang datar. Pada pelapisan ini, sejumlah larutan berlebih ditempatkan pada *support* kemudian *support* tersebut diputar dengan kecepatan tinggi (umumnya 3000 rpm) sehingga cairan tersebut tersebar melalui gaya sentrifugal seperti yang terlihat pada Gambar 2. 21. Akselerasi sentripetal akan menyebabkan cairan menyebar dan terhenti serta menempel pada permukaan *support*.



Gambar 2. 21. Proses spin coating pada support
(<http://www.cise.columbia.edu/clean/process/spintheory.pdf>)

Larutan yang diteteskan pada permukaan *support* harus mempunyai volatilitas yang tinggi sehingga akan menguap ketika dilakukan proses pemutaran (<http://www.cise.columbia.edu/clean/process/spintheory.pdf>).

Seperti yang telah disinggung sebelumnya bahwa ketebalan lapisan yang terbentuk pada permukaan *support* akan mempengaruhi sifat fotokatalitik serta *hidrofilik*-nya. Tebal atau tipisnya lapisan yang terbentuk pada permukaan *support* sangat bergantung pada beberapa faktor yaitu:

- a. Kecepatan putar
- b. Lama putar



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

- c. Akselerasi
- d. Laju pengeringan uap pelarut
- e. *Repeatability*

2.10. POLYPROPYLENE

Polypropylene (PP) merupakan polimer termoplastik dan digunakan dalam variasi yang beragam, seperti pada pengemasan makanan, tekstil, plastik, dan kontainer yang dapat digunakan kembali, pakaian termal yang digunakan dalam militer, peralatan laboratorium, dan komponen automotif. PP disintesis dari reaksi polimerisasi monomernya, yaitu *propylene*, yang bersifat kuat dan tidak tahan terhadap berbagai pelarut kimia baik basa maupun asam.

Sebagian besar PP komersial memiliki kristalinitas pada tingkat menengah antara *low density polyethylene* (LDPE) dan *high density polyethylene* (HDPE). Begitu juga dengan modulus young-nya. Meskipun kurang kuat dibandingkan dengan HDPE dan kurang fleksibel dibandingkan dengan LDPE, namun PP bersifat lebih ulet dibandingkan dengan HDPE. PP bersifat kuat, kadang tidak mudah bengkok dibandingkan dengan plastik yang lain, ekonomis, dapat dilalui oleh cahaya saat tidak berwarna, namun tidak terlalu transparan seperti halnya *polystyrene* dan *acrylic*. PP dapat dibuat berwarna dengan berbagai variasi warna. PP tahan terhadap patah, sehingga banyak digunakan dalam material yang membutuhkan sambungan contohnya tutup *flip-top* pada botol. (British Plastic Federation, 2003)

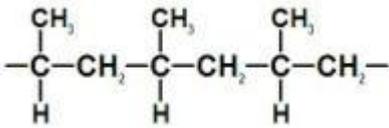
PP memiliki titik leleh pada 320⁰ F (160⁰C). Beberapa peralatan medis atau laboratorium banyak menggunakan material ini karena tahan terhadap panas *autoclave*. Kontainer makanan yang terbuat dari material ini tidak akan meleleh dalam mesin pencuci piring, dan juga tidak akan meleleh selama proses *hot filling* pada proses industri.

Berikut adalah tabel yang menunjukkan karakteristik PP:



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Tabel 2. 1. Karakteristik Polypropylene

<i>Polypropylene</i>	
	
Nama kimia	<i>poly(1-methylethylene)</i>
Sinonim	<i>Polypropylene; Polypropene; Polipropene 25 [USAN]; Propene polymers; Propylene polymers; 1-Propene homopolymer</i>
Rumus kimia	$(C_3H_6)_x$
Monomer	<i>Propylene (Propene)</i>
Nomor CAS	9003-07-0 (ataktik) 25085-53-4 (isotaktik) 26063-22-9 (syndiotaktik)
Densitas	Amorphi: 0.85 g/cm ³ Kristal : 0.95 g/cm ³
Titik leleh	~ 165 °C
Titik degradasi	286 °C (559 K)

Sumber: www.wikipedia.org/wiki/Polypropylene

2.11. PELAPISAN TiO₂ PADA POLYPROPYLENE

Proses pelapisan, pencetakan, pewarnaan dan adhesi pada suatu permukaan substrat dapat dijelaskan berdasarkan teori pembasahan (*wetting*). Pembasahan dapat terjadi jika kesetimbangan sudut kontak antara padatan dan cairan lebih kecil dari 90⁰. Hal ini berdasarkan persamaan Young dan fenomena penyebaran (*spreading*) yang terjadi jika sudut yang terbentuk sekitar 0⁰ (Adamson & Gast, 1997). Hal ini mengindikasikan energi permukaan dari cairan lebih kecil dibandingkan padatan.

Energi permukaan didefinisikan sebagai interaksi antara gaya adhesi dan kohesi. Gaya adhesi yang dimaksudkan adalah gaya tarik antara cairan dengan permukaan padatan, sedangkan kohesi adalah gaya yang bekerja antar molekul-



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

molekul cairan. Kedua gaya inilah yang akan menentukan apakah pembasahan cairan dapat terjadi atau tidak. Energi permukaan ini mengkuantifikasi besarnya gangguan dari ikatan intermolekular yang terjadi ketika suatu permukaan terbentuk. Permukaan zat padat memiliki energi yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan energi dari materi secara meruah. Oleh sebab itu, energi permukaan juga dapat didefinisikan sebagai kelebihan energi pada permukaan material. Young merumuskan suatu persamaan yang menunjukkan hubungan energi permukaan yang dinyatakan dengan (www.firsttenangstrom.com, 2001):

$$\gamma_{SV} - \gamma_{LS} = \gamma_{LV} \cos\theta \dots \dots \dots (2.15)$$

Dengan γ merupakan lambang untuk tegangan permukaan dan θ adalah besar sudut kontak.

Dari sisi termodinamika, bila padatan dan cairan mencapai kesetimbangan, maka peristiwa pembasahan akan terjadi tanpa melihat besar kecilnya energi permukaan keduanya. Dengan kata lain, bila padatan dan cairan tersebut memiliki energi permukaan yang sama besar maka pembasahan dapat terjadi (Adamson & Gast, 1997). Bila kita umpamakan cairannya ialah air dan permukaan padatan yang digunakan ialah PP yang merupakan plastik non polar, maka akan terlihat fenomena *non wetting*, yaitu pembentukan butiran air pada permukaan PP. Hal ini dikarenakan PP memiliki energi permukaan yang jauh lebih kecil dibandingkan air sehingga pembasahan tidak terjadi.

Dengan kondisi yang dijelaskan diatas maka PP tidak bisa dilapisi, dicetak, diberi warna maupun dilem karena tidak terjadi peristiwa pembasahan sehingga fluida tidak bisa menempel pada permukaannya. Oleh karena itu perlu dilakukan rekayasa permukaan (*surface treatment*) agar PP tersebut dapat dilapisi. Permukaan PP dapat dimodifikasi sedemikian rupa sehingga permukaan yang sebelumnya bersifat non polar (bersifat *hidrofobik*) menjadi polar (bersifat *hidrofilik*). Teknologi untuk melakukan rekayasa ini sudah banyak beredar di pasar Indonesia terutama pabrik plastik (film). Umumnya pabrik ini menggunakan *corona treatment* yang diaplikasikan pada permukaan film PP sebelum nantinya



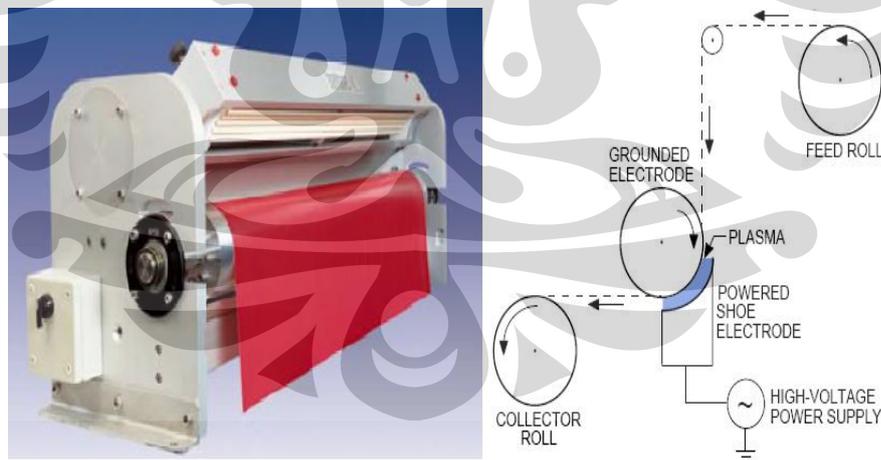
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

dicetak atau dilapisi. Unit *corona treatment* yang biasa digunakan secara komersial beserta skema unitnya dapat dilihat pada Gambar 2. 22.

Corona adalah plasma yang diaplikasikan pada tekanan atmosfer. Plasma adalah gas terionisasi yang dihasilkan dari gas inlet baik berupa gas mulia atau campuran gas mulia dengan oksigen atau gas lain yang kemudian diekspos pada suhu tinggi sehingga gas tersebut menjadi ion positif dan negatif yang reaktif.

Gas yang terionisasi ini mempunyai energi yang cukup tinggi sehingga dapat memotong radikal pada permukaan PP. Lalu radikal ini akan berikatan dengan OH atau gas yang terionkan lainnya untuk membentuk permukaan yang bersifat polar. Umumnya *corona treatment* untuk film PP memiliki gugus fungsi polar seperti:

- Karbonil (-C=O)
- Peroksil (-C-O-O)
- Alkohol (C-OH) dan
- Asam ((OH)C=O)

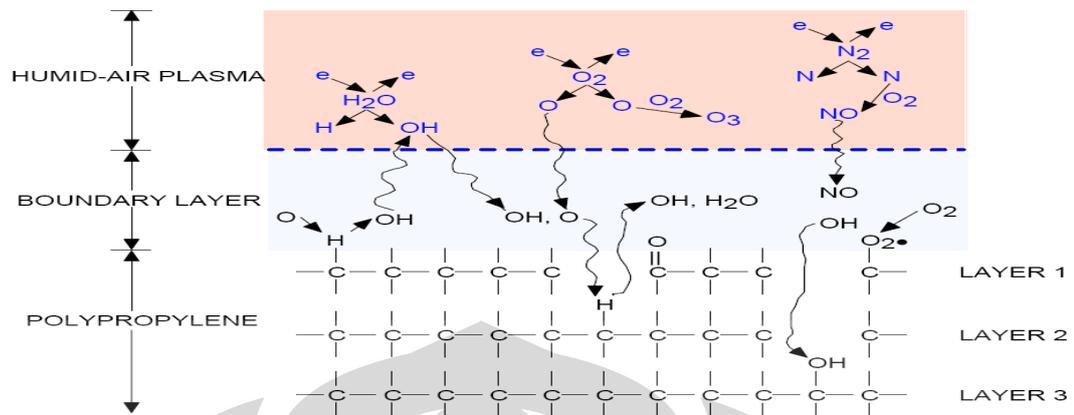


Gambar 2. 22. Unit corona treatment komersial beserta skemanya (Dorai & Kushner, 2002)

Adapun mekanisme terbentuknya gugus fungsi polar diatas dengan proses *corona* ialah sebagai berikut:



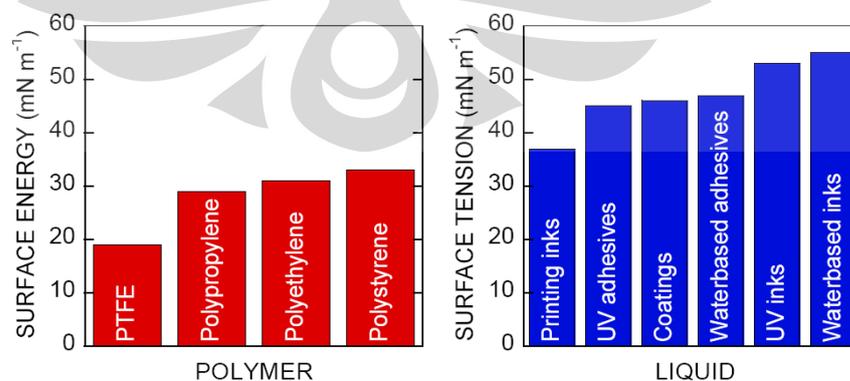
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2. 23. Mekanisme terbentuknya gugus polar melalui corona treatment (Dorai & Kushner, 2002)

Ketika permukaan PP sudah menjadi polar maka energi permukaan yang dimilikinya menjadi lebih tinggi dari sebelumnya sehingga TiO_2 yang juga bersifat polar dan memiliki energi permukaan yang tinggi dapat dilapisi pada permukaan PP dan dapat menempel dengan baik.

Seberapa tinggi energi permukaan dari permukaan PP yang harus dibuat inilah yang menjadi salah satu tujuan dari teknik pelapisan TiO_2 kepada film PP. Seperti telah dikemukakan sebelumnya, pembasahan dapat terjadi jika PP dan TiO_2 memiliki energi permukaan yang sama atau mendekati. Menurut Dorai & Kushner (2002), energi permukaan dari permukaan PP yang terbentuk walaupun lebih besar tetapi tidak boleh melebihi 2 -10 mN/m^2 dari energi permukaan TiO_2 .



Gambar 2. 24. Energi permukaan sebelum dan sesudah corona treatment (Dorai & Kushner, 2002)



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Parameter-parameter yang dapat mempengaruhi kualitas pembentukan gugus fungsi polar pada permukaan PP ialah:

- a. Daya *corona treatment* (dalam Watt)
- b. Jenis dan konsentrasi gas inlet
- c. Waktu paparan (*eksposure*) dari film PP saat diproses

Selain *corona treatment*, abstraksi hidrogen pada permukaan PP dapat dilakukan dengan menggunakan sinar UV-C dengan panjang gelombang terpendek (~256 nm) sehingga memiliki energi yang cukup besar untuk memotong hidrogen tersier pada PP untuk membentuk radikal PP. Selanjutnya dengan pemaparan pada uap air, oksigen, dan udara maka terbentuklah gugus fungsi polar pada permukaan PP. Kontrol dari besarnya energi permukaan yang terbentuk juga berdasarkan tiga parameter di atas.

2.12. KARAKTERISASI KATALIS

Karakterisasi katalis dilakukan untuk mengetahui data spesifik dari katalis TiO₂ yang terbentuk. Karakterisasi katalis yang dilakukan pada penelitian ini adalah TEM untuk ,FT-IR untuk menganalisa keadaan ikatan kimia antar molekul katalis, dan DRS untuk mengetahui daya absorpsi katalis terhadap sinar dan menghitung energi pita fotokatalis.

2.12.1. Karakterisasi TEM (Transmission Electron Microscopy)

TEM merupakan salah satu teknik karakterisasi untuk mengamati morfologi dari katalis yang telah dipreparasi. Pada TEM, elektron 100 kV atau lebih ditransmisikan melalui spektrum tipis dan elektron yang dihamburkan tersebut diperkuat dengan optik elektromagnetik. Gambar akan diproyeksikan pada layar yang bersifat fluoresen atau detektor video dengan perbesaran satu juta kali yang mampu menampilkan hingga resolusi 0,5 nm pada kondisi yang ideal.



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.12.2. Karakterisasi UV-Vis DRS

Karakterisasi *diffuse reflectance spectroscopy* (DRS) dilakukan untuk mengetahui spektrum absorbansi sinar UV-visibel pada katalis yang telah dibuat. Katalis TiO₂ yang dipreparasi pada eksperimen ini merupakan semikonduktor yang memiliki dua pita utama yaitu pita valensi dan pita konduksi. Pita yang lebih rendah, yaitu pita valensi, memiliki tingkat energi yang diisi oleh elektron yang dipisahkan oleh energi E_R dengan pita kedua yang ada di atasnya. Sedangkan pita kedua kosong dan berada pada tingkat energi yang lebih tinggi yang disebut pita konduksi. Tingkat energi pada pita kedua ini lebih tinggi karena elektron dari pita ini cukup bebas untuk berpindah dengan bantuan elektrik yaitu konduksi. Diantara keduanya terdapat celah energi kosong (*void energy region*) yang disebut celah pita atau *band gap*, dimana tidak tersedia level-level energi untuk mempromosikan rekombinasi elektron dan *hole* yang diproduksi oleh suatu fotoaktivasi dalam bahan semikonduktor. Besarnya *energy band gap* inilah yang akan ditentukan dengan menggunakan karakterisasi UV-Vis DRS.

Penentuan nilai energi celah pita dari fokokatalis ini dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer tipe 2450 UV/VIS Probe Shimadzu yang dilengkapi dengan *sphere* dan terintegrasi dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut:

$$F(R) = K/S = (1-R)^2/2R.....(2.16)$$

dengan:

- F (R) : Faktor Kubelka-Munk
- K : Koefisien absorpsi
- S : Koefisien Scattering
- R : Nilai reflektan yang diukur

Nilai F memiliki hubungan dengan energi foton melalui persamaan berikut:

$$F(R) = A(h\nu - E_g)^{m/2}(2.17)$$



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

dengan :

- A : Konstanta proposional
- E_g : Energi celah (*band gap*)
- M : 1 untuk transisi langsung yang diperoleh

Dengan memplot $F(R)$ terhadap $h\nu$ dan melakukan ekstrapolasi terhadap daerah liniernya, maka dapat ditentukan nilai $h\nu$ pada $F(R)=0$, yang tidak lain adalah nilai energi *bandgap* dari sampel yang akan diukur.

2.12.3. Karakterisasi FT-IR

Spektroskopi inframerah adalah salah satu metode karakterisasi struktur yang memberikan informasi berdasarkan ikatan yang terdapat pada suatu sampel. Berdasarkan pada 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 infra merah, pada daerah panjang gelombang 2,5 sampai 15 μm . Prinsip kerja FT-IR adalah energi sinar infra merah yang diemisikan dari sumber dan berjalan melalui bagian optik dari spektrofotometer.

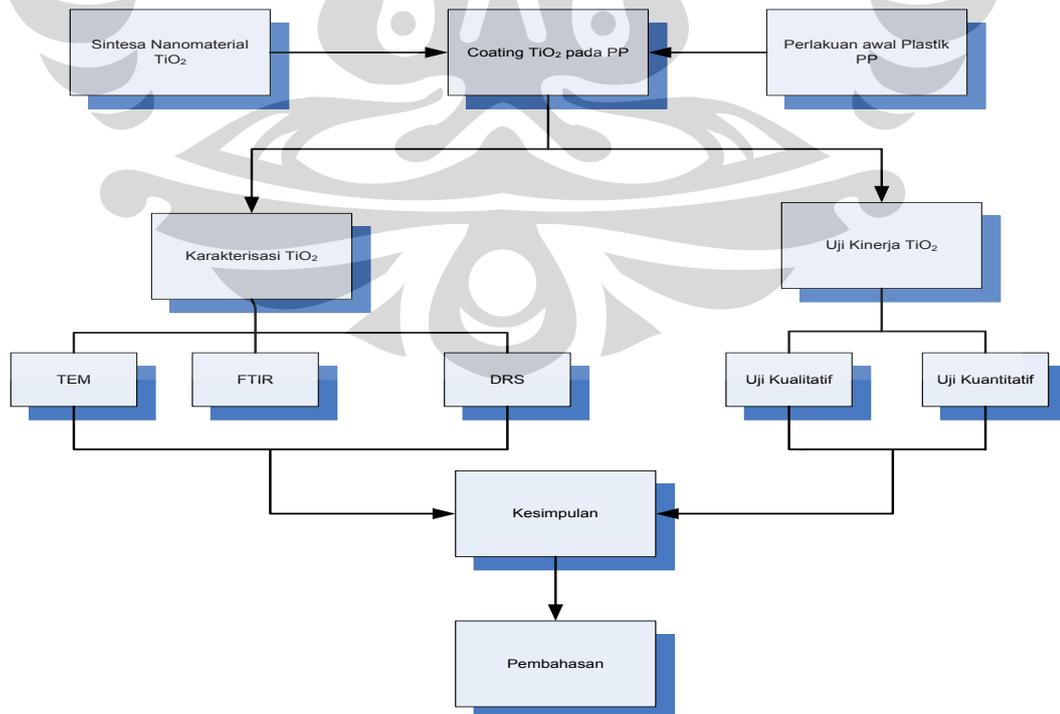
Gelombang sinar kemudian melewati *interferometer* dimana sinar dipisahkan oleh *beamsplitter*. Limapuluh persen (50%) dari intensitas sinar akan dipantulkan menuju cermin dengan posisi tetap dan sisanya menuju cermin bergerak. Kemudian sinar yang dikembalikan dari tiap cermin berbalik ke *beamsplitter* dimana sebagian sinarnya dikembalikan ke sumber inframerah dan sebagian lagi diarahkan ke ruang sampel. Setelah itu panjang gelombang tersebut akan diproses hingga menghasilkan suatu *interferogram* yaitu suatu daerah waktu yang menggambarkan pola interferensi. Kemudian *Analog Digital Converter* (ADC) mengubah pengukuran tersebut menjadi suatu format digital yang dapat digunakan oleh komputer. Pada uji FT-IR ini, pembuatan sampel dilakukan melalui teknik pembuatan *pellet* KBr.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1. DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Penelitian terdiri dari preparasi nanomaterial TiO_2 yang dilakukan dengan menggunakan metode sol-gel dan kristalisasi dingin. Pelapisan akan dilakukan dengan *spin coating* pada plastik PP yang sebelumnya telah dilakukan *surface treatment* dengan menggunakan UV-C. Metode pelapisan sendiri akan dibagi menjadi dua yaitu pelapisan sol TiO_2 ke *support* plastik PP dan pelapisan serbuk TiO_2 yang dilarutkan pada *solvent* pada *support* yang sama. Fotokatalis TiO_2 yang telah dipreparasi tersebut akan dikarakterisasi dengan beberapa metode karakterisasi yang ada. Selain itu akan dilakukan uji kinerja sifat *hidrofilik* fotokatalis film yang meliputi uji kuantitatif dan kualitatif.



Gambar 3. 1. Diagram alir penelitian



BAB III. METODE PENELITIAN

3.2. LOKASI PENELITIAN

Aktivitas utama riset ini yang berupa preparasi fotokatalis TiO₂ dan *surface treatment* plastik PP dilakukan di Laboratorium Rekayasa Produk Kimia dan Konversi Gas Alam (RPKA), Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia, Depok. Beberapa pengujian dilakukan ditempat lain, seperti UV-Vis Spectrofotometer di Laboratorium Dasar Kimia Departemen Teknik Kimia FT UI, TEM di Lembaga Eijkman Salemba, karakterisasi UV-Vis DRS di Departemen Kimia MIPA UI, dan pengukuran sudut kontak akan dilakukan di Lab BATAN Pasar Jum'at.

3.3. PERALATAN

3.3.1. Peralatan Sintesis Nanomaterial TiO₂

- Beaker glass 250 ml, 500 ml dan 100 ml
- Gelas ukur
- Corong
- Spatula
- Pipet tetes
- Alat pemusing (*spin coating*)
- Stop watch
- Cawan porselin
- Hot plate magnetic stirrer
- Autosorb degasser
- Furnace

3.3.2. Peralatan Perlakuan Awal PP

- Reaktor UV-C
- Stop Watch



BAB III. METODE PENELITIAN

3.3.3. Peralatan Karakterisasi Katalis

- TEM
- FT-IR
- UV-Vis DRS

3.3.4. Peralatan Uji Aktivitas dan Analisa Produk

- Lampu UV-A
- Pengukur sudut kontak (*contact angle meter*)
- UV-Vis spectofotometer

3.4. BAHAN

3.4.1. Bahan Sintesis dan Uji Kinerja Nanomaterial TiO₂

- Titanium tetrachlorida (TiCl₄)
- PEG 1000, 2000, dan 6000
- Air demineralisasi
- Na₂CO₃
- Etanol
- HNO₃ 65%
- Methylene blue
- Plastik transparansi / plastik polipropilena/PP

3.4.2. Bahan Perlakuan Awal PP

- Plastik polypropylene

3.5. PROSEDUR PENELITIAN

Langkah-langkah yang dilakukan selama penelitian ini adalah sebagai berikut:

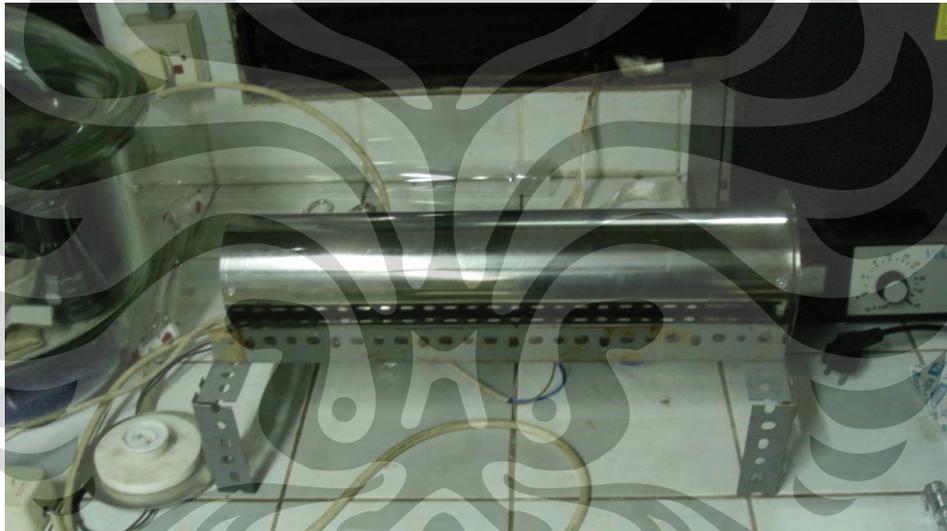


BAB III. METODE PENELITIAN

3.5.1. Rekayasa Plastik PP

Rekayasa plastik PP ini bertujuan untuk menjadikan permukaannya yang pada awalnya non polar menjadi polar sehingga dapat dilapisi oleh nanomaterial TiO_2 . Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Plastik PP (Yashica) dibersihkan dari debu dan kotoran lainnya.
- b. Plastik PP diekspos dengan menggunakan sinar UV-C dengan variasi waktu.
- c. Plastik PP yang telah polar dilapisi dengan TiO_2 baik dengan sol TiO_2 maupun serbuk TiO_2 yang dilarutkan pada *solvent*.



Gambar 3. 2. Alat UV-C treatment

Adapun variabel bebas pada rekayasa plastik PP ini meliputi:

- Waktu pemaparan plastik oleh sinar UV-C (0,5 jam, 1 jam, 2 jam, 3 jam, dan 4,5 jam).
- Interval waktu rekayasa plastik PP ke pengujian sudut kontak.

3.5.2. Preparasi Nanomaterial TiO_2

Prekursor yang digunakan untuk preparasi ini yaitu TiCl_4 . TiO_2 yang dihasilkan dapat berupa serbuk dan lapisan film pada *support*. Variabel bebas dari tahapan preparasi ini meliputi:



BAB III. METODE PENELITIAN

- Berat molekul PEG yang ditambahkan (1000,2000 dan 6000).
- Kondisi pemanasan 100⁰ C selama 12 jam yakni pemanasan vakum dan non vakum.

V ariabel terikatnya meliputi:

- Aktivitas fotokatalitik yang dihasilkan.

3.5.2.1. Preparasi Fotokatalis Serbuk TiO₂

Adapun prosedur untuk preparasi serbuk TiO₂ adalah sebagai berikut:

- a. 10 ml TiCl₄ (Aldrich) dalam *beaker glass*/erlemeyer yang diletakkan dalam ember kecil yang telah berisi es batu. Es batu berfungsi untuk menyerap kalor yang dilepaskan oleh reaksi:



- b. Larutan Na₂CO₃ (Merck) 0.5 M sebanyak 1 ml ditambahkan tetes demi tetes ke dalam larutan TiCl₄ sambil diaduk secara manual sampai terbentuk sol Ti(OH)₄.
- c. HNO₃ (Aldrich) 1 M ditambahkan sebanyak 5 ml tetes demi tetes ke dalam campuran.
- d. Ti(OH)₄ yang didapatkan kemudian dicampur dengan HNO₃ 40% sebanyak 40,23 ml sehingga terbentuk Ti(NO₃)₄.
- e. Selanjutnya dilakukan penambahan PEG (Merck) dengan berat molekul 1000, 2000 atau 6000 dengan perbandingan TiO₂/PEG dari 25% (Massa PEG 4 kali TiO₂) yaitu sebanyak 25,6 gram.
- f. Larutan dipanaskan hingga suhu 60⁰ C selama 15 menit sampai terbentuk sol.
- g. Sol yang telah didapatkan akan didinginkan pada suhu ruang selama 16 jam (semalaman) kemudian dilakukan presipitasi sehingga terjadi pengendapan dari TiO₂ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. 3.



BAB III. METODE PENELITIAN

- h. Endapan yang telah terbentuk dipisahkan dengan cara dekantasi dan dilakukan pemanasan pada suhu 50°C selama 5 jam dengan menggunakan *hot plate*.
- i. Gel yang didapatkan kemudian dipanaskan pada suhu 100°C dan kondisi vakum/non vakum selama 12 jam sehingga didapatkan serbuk TiO_2 .



Gambar 3. 3. Endapan dan pemisahan endapan pada preparasi katalis serbuk

3.5.2.2. Preparasi Fotokatalis Film TiO_2

Prosedur untuk preparasi fotokatalis film TiO_2 adalah sebagai berikut:

- a. Setelah penambahan PEG sebanyak 25,6 gram, dilakukan diagitasi sehingga PEG terlarut dengan sempurna. Sol yang dihasilkan tidak dilanjutkan dengan proses pemanasan seperti pada prosedur preparasi katalis serbuk.
- b. Sol lalu diencerkan dengan penambahan air demineralisasi hingga konsentrasinya menjadi 0,1 M.
- c. Sol TiO_2 ini selanjutnya di-*coating* pada permukaan *support*.
- d. Setelah proses pelapisan selesai, maka plastik PP dipanaskan pada suhu 60°C pada *furnace* selama 15 menit.
- e. Plastik lalu didinginkan pada suhu ruang selama 16 jam dan dilakukan pemanasan non-vakum pada suhu 50°C selama 5 jam dan pemanasan vakum/non vakum pada suhu 100°C selama 12 jam.



BAB III. METODE PENELITIAN

3.5.3. Pelapisan Katalis pada *Support*

Proses pelapisan pada permukaan *support* dilakukan dengan menggunakan metode *spin coating* yang mempunyai kecepatan putar sebesar 380 rpm. Untuk setiap *support*, dilakukan 3 kali pelapisan dengan waktu pelapisannya masing-masing selama tiga menit.

Proses pelapisan dibagi menjadi dua untuk membandingkan sifat *hidrofilik* yang dihasilkan yaitu dengan metode pelapisan sol TiO₂ dan metode pelapisan dari serbuk TiO₂ yang dihasilkan.

3.5.3.1. Pelapisan Sol TiO₂ pada *Support*

Prosedur untuk pelapisan larutan sol pada *support* adalah sebagai berikut:

- a. Sol TiO₂ dengan konsentrasi 0,1 M dilapiskan pada permukaan *support*. *Support* yang digunakan adalah plastik PP yang telah disinari selama 4,5 jam dengan sinar UV-C. Sebagai pembanding, juga digunakan *support* yang berupa kaca preparat (*soda lime glass*).
- b. Setelah proses pelapisan selesai, maka *support* dipanaskan pada suhu 60⁰C pada *furnace* selama 15 menit.
- c. *Support* lalu didinginkan pada suhu ruang selama 16 jam dan dilakukan pemanasan non-vakum pada suhu 50⁰ C selama 5 jam dan pemanasan vakum/non vakum pada suhu 100⁰ C selama 12 jam.



Gambar 3. 4. Alat *spin coating*



BAB III. METODE PENELITIAN

3.5.3.2. Pelapisan Serbuk TiO₂ pada *Support*

Pada pelapisan dengan menggunakan serbuk TiO₂ ini, digunakan dua jenis katalis serbuk yaitu: P25 atau degussa komersial dan serbuk TiO₂ yang dipreparasi sendiri dengan menggunakan metode sol-gel dan kristalisasi dingin. Degussa komersial yang digunakan mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

- Luas permukaan : 50m²/gr
- Diameter : 30 nm
- Kristal : 70-85% anatase, rutile:30-15%
- Berat jenis : 3,8

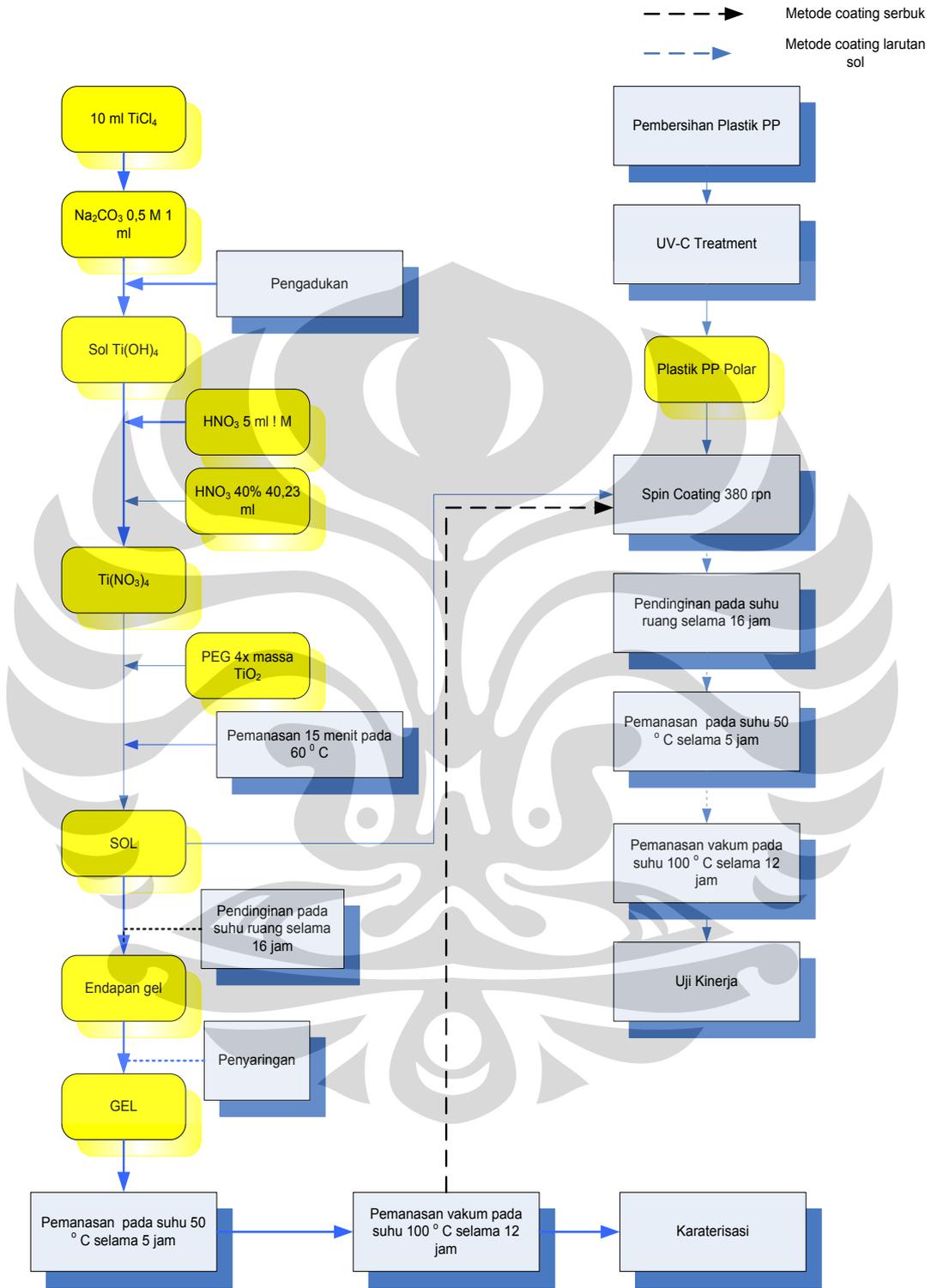
Kedua katalis serbuk dilapisi pada *support* plastik PP 4,5 jam dan kaca sebagai pembanding. Adapun prosedurnya adalah sebagai berikut:

- a. Menimbang katalis serbuk sebanyak 0,401 gram dan dilarutkan pada etanol sebanyak 50 ml.
- b. Larutan lalu diultrasonik selama 20 menit sehingga larutan menjadi homogen.
- c. Melakukan *spin coating* larutan tersebut pada *support* yang akan dilakukan. Sebagai variasi konsentrasi, larutan diencerkan sampai 0,0125 M dan kembali dilapiskan pada *support* yang berbeda.
- d. *Support* yang telah dilapisi dengan serbuk TiO₂ dimasukkan di dalam desikator selama semalaman untuk dikeringkan sehingga pelarut etanol yang digunakan dapat teruapkan.

Adapun diagram alir untuk preparasi fotokatalis film TiO₂ dari prekursor TiCl₄ pada *support* dapat dilihat pada gambar berikut:



BAB III. METODE PENELITIAN



Gambar 3. 5. Diagram alir preparasi fotokatalis film pada *support*



3.5.4. Karakterisasi Fotokatalis

Tahapan ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan kimia dari material yang telah dipreparasi. Data hasil karakterisasi katalis dapat digunakan sebagai parameter keberhasilan preparasi fotokatalis dan sebagai bahan optimasi fotokatalis. Karakterisasi yang dilakukan terdiri dari:

- FT-IR untuk menganalisa keadaan ikatan kimia antar molekul katalis. Karakterisasi ini digunakan untuk menyelidiki pengaruh penambahan aditif PEG dengan berat molekul terhadap sifat *hidrofilisitas* fotokatalis film yang dihasilkan.
- TEM untuk melihat ukuran partikel sampai skala nanometer.
- UV-Vis DRS untuk mengetahui daya absorpsi katalis terhadap sinar dan menghitung energi band fotokatalis. Karakterisasi ini digunakan untuk menyelidiki pengaruh pemanasan vakum atau non vakum terhadap *energy band gap* yang dihasilkan.

3.5.4.1. Variabel utama:

- Berat molekul PEG (1000, 2000, 6000)
- Jenis pemanasan (vakum atau non-vakum) selama 12 jam

3.5.4.2. Data yang diambil

- Absorbansi atau transmitansi sampel sebagai fungsi bilangan gelombang (FT-IR).
- Ukuran partikel TiO₂ (nanometer)
- Absorbansi/ reflektansi material sebagai fungsi panjang gelombang

3.5.4.3. Pengolahan data

- Energi bandgap TiO₂



BAB III. METODE PENELITIAN

3.5.5. Uji Kinerja Nanomaterial TiO₂

Pengujian ini bertujuan untuk melihat aktivitas fotokatalis TiO₂ yang telah dilapisi pada *support* PP. Pengujian akan dilakukan baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Kinerja utama yang ditinjau adalah *hidrofilisitas* dan anti *fogging* dari fotokatalis film yang dihasilkan.

3.5.5.1. Uji Kuantitatif

Pengujian kuantitatif *hidrofilisitas* ini dilakukan dengan mengukur sudut kontak tetesan air pada permukaan film TiO₂ dengan menggunakan alat *contact angle meter* (Face). Sudut kontak yang akan diukur adalah sudut yang terbentuk antara permukaan padatan dan garis tangensial jari-jari embun dari titik kontak dengan padatan. Alat yang digunakan untuk mengukur sudut kontak dapat dilihat pada Gambar 3. 6. di bawah ini:



Gambar 3. 6. Alat *contact angle meter*

Prosedur dari pengukuran sudut kontak adalah sebagai berikut:

- Meneteskan air pada permukaan *support* yang akan diukur sudut kontakannya. Ukuran tetesan air dibuat konstan dengan diameter 20 mm.



BAB III. METODE PENELITIAN

- b. Pencatatan sudut kontak dilakukan setiap menitnya sampai tercapai sudut kontak nol atau dengan kata lain air yang diteteskan telah menyebar seluruhnya pada permukaan *support*.
- c. Sudut kontak yang terukur adalah $\frac{1}{2} \theta$ sehingga sudut kontak sebenarnya yang terbentuk harus dikalikan dengan dua.
- d. Pengukuran sudut kontak diulang dengan cara yang sama tetapi disertai dengan penyinaran sinar UV-A untuk melihat pengaruh penyinaran sinar tersebut terhadap *hidrofilisitas* yang dihasilkan.

3.5.5.2. Uji Kualitatif

Uji kualitatif bertujuan untuk melihat secara langsung kinerja sifat *hidrofilik* dan *anti fogging* dari berbagai *support* (kaca, cermin, plastik PP) yang telah dilapisi dengan TiO₂ baik melalui metode *coating* dari sol TiO₂ maupun dari serbuk TiO₂ yang dihasilkan. Kinerja *anti fogging* ekuivalen dengan sudut kontak yang dihasilkan. Semakin kecil sudut kontak, pembentukan *fog* atau kabut dapat semakin dihindari.

Pengujian kualitatif ini dilakukan dengan cara membuat *steam* pada permukaan *support* dengan menggunakan alat *steamer*. *Support* yang diuji secara kualitatif diletakkan di atas kertas yang berisikan tulisan. Pengamatan dilakukan secara visual dengan membandingkan antara hasil pembacaan tulisan pada kertas yang di atasnya terdapat plastik berlapis TiO₂ dengan yang tidak berlapis TiO₂. Jika tulisan terlihat jelas pada kaca berlapis TiO₂, maka dapat disimpulkan TiO₂ dapat meningkatkan sifat *hidrofilik* pada permukaan kaca sehingga air yang melekat pada kaca tidak membentuk butiran tetapi membentuk lapisan.

3.5.5.3. Pengujian Transparansi *Support*

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat UV-Vis Spectrofotometer, dimana variabel yang diukur adalah transmitansi dari cahaya



BAB III. METODE PENELITIAN

yang melewati *support* yang telah dilapisi dengan fotokatalis TiO_2 dengan berbagai metode yang ada.

Support yang diukur transmitansinya dimasukkan ke dalam cuvet yang kemudian dilewatkan dengan cahaya dimana panjang gelombang yang digunakan berada pada interval panjang gelombang sinar tampak yaitu 550 nm.

3.6. PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA

Pengolahan dan analisis data dilakukan dengan cara membandingkan antara uji sampel (plastik PP berlapis TiO_2) dengan uji blanko (plastik PP tanpa film TiO_2). Dari analisis data pada setiap variable tersebut dan didukung oleh hasil karakterisasi material (DRS, TEM, FTIR serta UV-Vis Spectrofotometer), maka dapat dioptimasi metode preparasi katalis film yang sesuai sehingga menghasilkan plastik berlapis nano TiO_2 yang baik sifat *hidrofilik*-nya dan transparan.



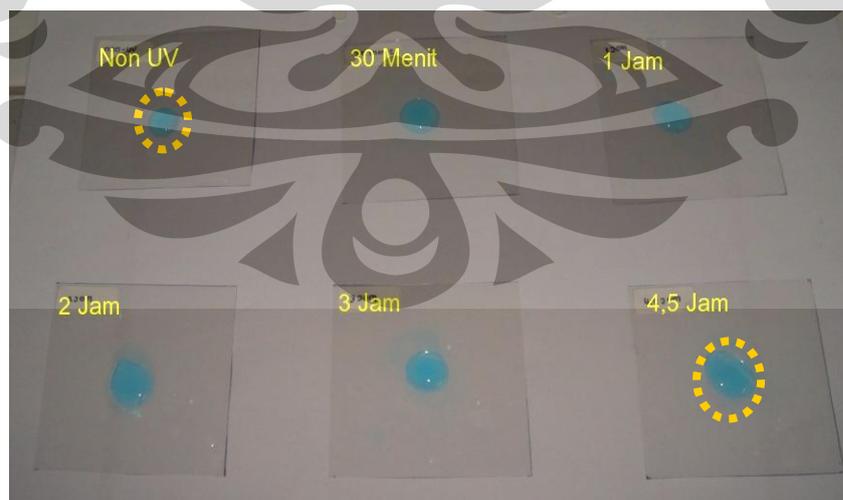
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. REKAYASA PLASTIK PP DENGAN UV-C

4.1.1. Pengaruh Lama Pemaparan terhadap Kepolaran Plastik

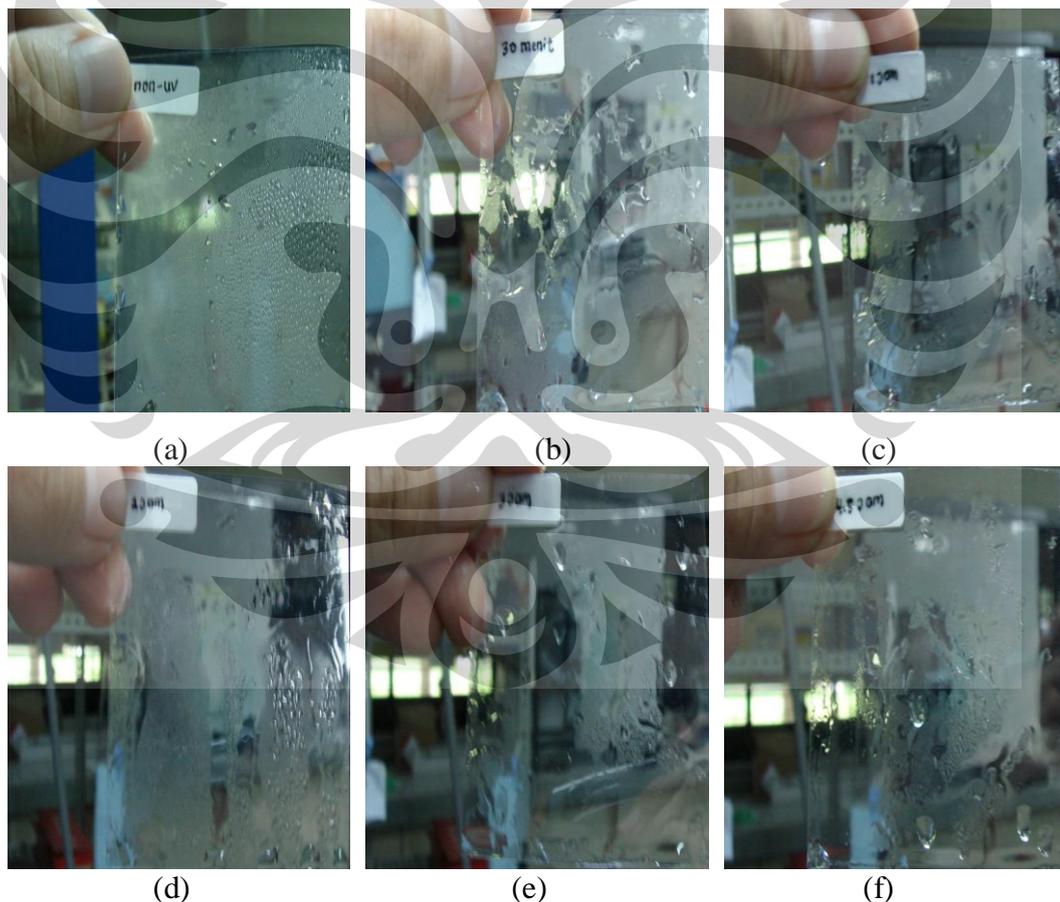
Pada proses rekayasa plastik dengan menggunakan metode UV-C ini dilakukan variasi waktu penyinaran yaitu: 0,5 jam, 1 jam, 2 jam, 3 jam dan 4,5 jam. Pengujian awal terhadap kepolaran plastik dilakukan dengan cara meneteskan zat yang berwarna yaitu *methylene blue* dalam jumlah yang sama pada masing-masing plastik yang telah dipaparkan pada sinar UV-C dengan variasi waktu yang berbeda-beda. Tujuan dari penetesan zat *methylene blue* adalah untuk melihat proses pembentukan butiran cairan dengan warna yang jelas pada permukaan plastik. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 4. 1. di bawah ini:



Gambar 4. 1. Hasil pengujian kepolaran plastik

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari Gambar 4. 1. di atas dapat dilihat bahwa dengan semakin bertambahnya waktu pemaparan, butiran cairan yang diteteskan pada permukaan plastik semakin melebar atau dengan kata lain semakin menunjukkan gejala *wetting* atau pembasahan pada permukaan plastik. Pada plastik yang tidak dilakukan penyinaran sinar UV-C, butiran yang terbentuk tampak lebih kecil dan cenderung mengkerut pada permukaan plastik. Pengujian kepolaran lainnya dilakukan dengan cara membuat kabut pada permukaan tiap plastik. Dari hasil pengamatan seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah, butiran-butiran air yang terbentuk pada plastik yang tidak dipaparkan dengan sinar UV-C terlihat lebih kecil dan rapat sehingga menyebabkan permukaan plastik menjadi lebih buram. Dengan bertambahnya variabel waktu pemaparan, butiran-butiran air yang terbentuk menjadi lebih besar sehingga plastik menjadi lebih bening (transparan)



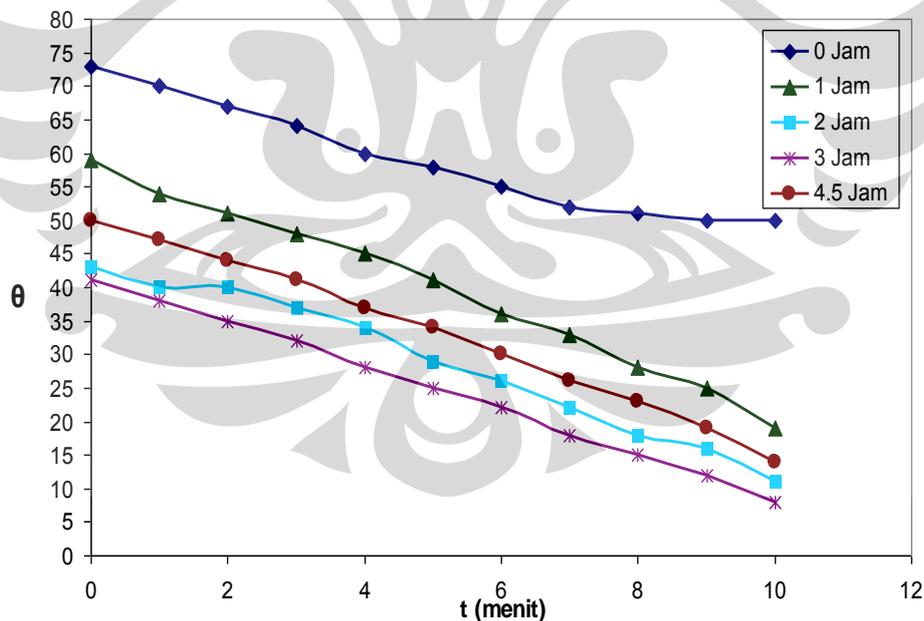
Gambar 4. 2. Hasil pengujian pembentukan kabut pada plastik (a) 0 Jam, (b) 0.5 Jam, (c) 1Jam , (d) 2 Jam, (e) 3 Jam, (f) 4,5 Jam



BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari kedua pengujian awal yang dilakukan tersebut, membuktikan bahwa terjadi perubahan tingkat kepolaran plastik dari plastik yang tidak disinari sampai dengan plastik yang dilakukan penyinaran sinar UV-C dengan berbagai variabel waktu pemaparan. Meningkatnya sifat kepolaran plastik ini disebabkan karena ketika permukaan plastik mendapat energi dari sinar UV-C, energi tersebut menyebabkan terjadinya pembentukan radikal. Pembentukan radikal ini secara cepat diikuti dengan proses pengikatan gugus yang bersifat polar misalnya gugus hidroksil (-OH) dari udara bebas, sehingga menjadikan permukaan plastik yang awalnya tidak polar menjadi lebih polar. Ketika permukaan plastik yang telah bersifat lebih polar ini “bertemu” dengan senyawa lain yang bersifat polar juga misalnya air, akan terjadi kecenderungan untuk membentuk suatu lapisan tipis pada permukaan plastik sehingga mengurangi efek pembentukan kabut pada permukaan seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4. 2. di atas.

Untuk mengetahui secara kuantitatif sifat kepolaran plastik, dilakukan pengukuran sudut kontak yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4. 3. berikut:



Gambar 4. 3. Pengaruh lama pemaparan sinar UV-C terhadap sudut kontak plastik yang dihasilkan

Hasil pengukuran sampai pada menit ke-10 menunjukkan bahwa pemaparan terhadap sinar UV-C menyebabkan terjadinya penurunan sudut kontak



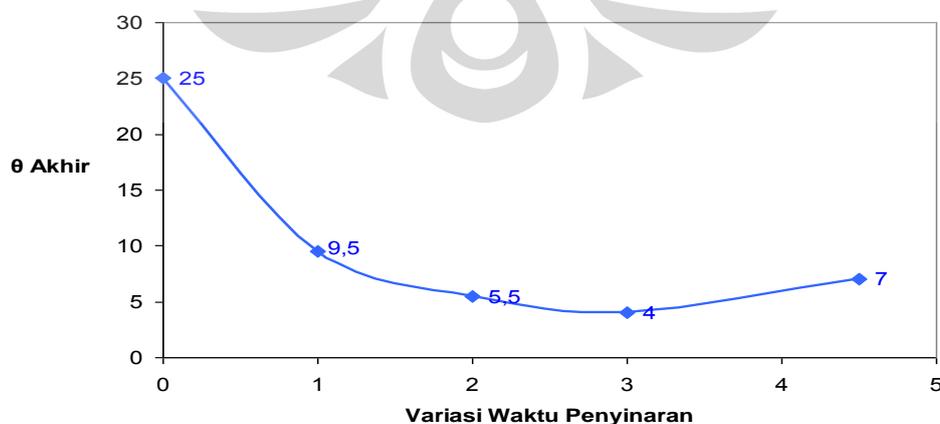
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

(θ) yang merupakan sudut yang terbentuk antara permukaan padatan dan garis tangensial jari-jari embun dari titik kontak dengan padatan. Sudut kontak yang terukur pada semua sampel berkisar pada angka 0° hingga 90° , sehingga menghasilkan bentuk tetesan yang menyebar (Licciulli, 2002).

Fenomena penyebaran air pada permukaan plastik yang disinari UV-C dapat juga dijelaskan melalui energi permukaan. Energi yang diperoleh dari penyinaran UV-C akan meningkatkan energi permukaan plastik. Dengan semakin bertambahnya energi permukaan material tersebut, terdapat suatu kecenderungan untuk membentuk suatu “permukaan” baru yang dalam hal ini adalah air. Hal ini menjelaskan kenapa air dapat menyebar dengan lebih baik pada plastik yang disinari.

Diduga bahwa sudut kontak akan menjadi nol dengan bertambahnya variabel waktu. Hal ini disebabkan karena radikal yang dihasilkan cenderung tidak stabil sehingga akan menyebabkan terjadinya pembentukan radikal baru yang tentu saja akan diikuti dengan pengikatan ion $-OH$ dari udara. Proses yang berlangsung secara kontinu ini akan menyebabkan terjadinya penyebaran air secara lebih baik pada permukaan plastik.

Pada plastik yang tidak disinari dengan sinar UV-C, sudut kontak yang terbentuk sangat besar yaitu berkisar pada angka 73° , dan cenderung stabil pada angka 50° . Sedangkan pada plastik yang telah diberi perlakuan *surface treatment*, terjadi penurunan sudut kontak dengan variabel waktu yang menunjukkan sifat polaritas yang paling bagus adalah 3 jam seperti yang terlihat pada Gambar 4. 4 di bawah ini.



Gambar 4. 4. Hubungan waktu penyinaran dengan sudut kontak akhir yang dihasilkan



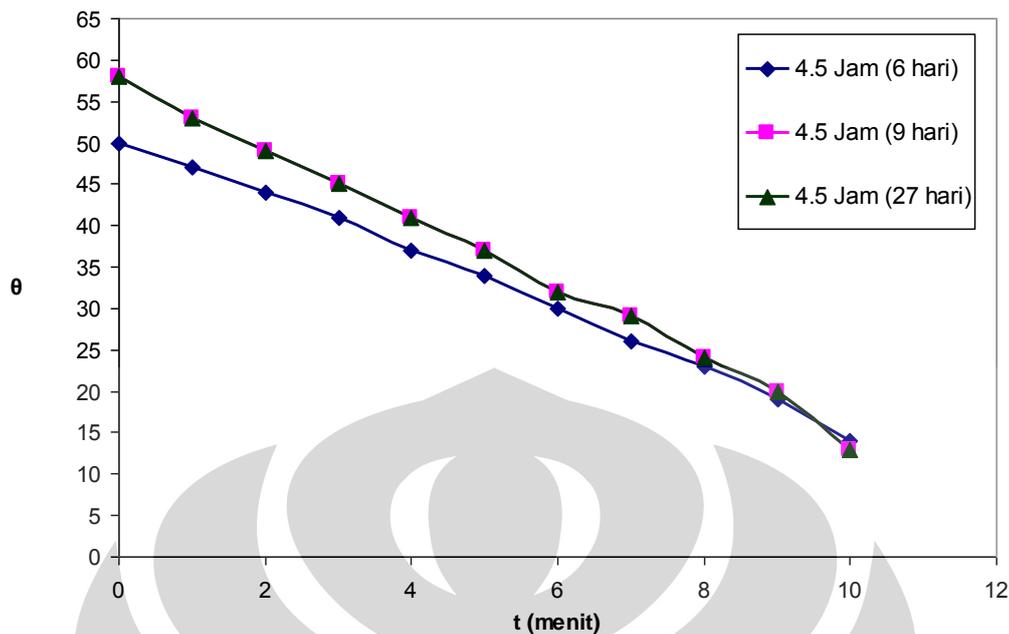
Dapat dilihat pada grafik di atas bahwa setelah melewati variabel waktu penyinaran 3 jam, tingkat kepolaran plastik mengalami penurunan. Hal ini dapat dilihat dari nilai sudut kontak akhir plastik yang mengalami peningkatan. Diperkirakan hal ini terjadi karena dengan bertambahnya variabel waktu penyinaran yang melewati waktu optimal 3 jam, kestabilan pembentukan radikal mulai terganggu dengan terbentuknya kembali radikal-radikal baru. Adanya ketidakstabilan radikal ini menjadikan energi pada permukaan plastik menjadi lebih besar lagi. Akibatnya gejala *wetting* yang dapat baik terjadi jika energi permukaan antara permukaan plastik dengan cairan sama, akan mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya energi permukaan plastik yang disinari dengan sinar UV-C.

4.1.2. Pengaruh Perbedaan Waktu Penyinaran terhadap Kepolaran Plastik

Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui stabilitas dari plastik yang telah disinari dengan sinar UV-C. Ketiga plastik yang akan diuji adalah plastik yang telah disinari dengan sinar UV-C selama 4,5 jam tetapi proses penyinaran ketiganya tidak dilakukan pada hari yang sama.

Grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4. 5. berikut memperlihatkan bahwa terjadi pengurangan sifat kepolaran plastik yang ditandai dengan peningkatan nilai sudut kontak tetapi tidak dalam porsi yang terlalu signifikan. Sifat kepolaran yang paling baik ditunjukkan oleh plastik yang rentang waktu penyinaran sampai dilakukannya pengujian sudut kontak paling singkat (6 hari). Hal ini disebabkan karena dengan semakin bertambahnya waktu, radikal-radikal yang baru dapat terbentuk dimana hal tersebut akan mengganggu kestabilan energi permukaan sehingga akan mengganggu proses pembasahan cairan pada permukaan plastik.





Gambar 4. 5. Pengujian stabilitas kepolaran plastik

Walaupun sudut kontak awal yang ditunjukkan oleh ketiga plastik tidak sama, pada akhir menit ke-10 sudut kontak yang dihasilkan adalah sangat mendekati satu sama lain seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 5. sehingga bisa dikatakan tingkat kestabilan plastik yang diberikan oleh UV-C *treatment* baik.

4.2. PREPARASI FOTOKATALIS FILM DENGAN PELAPISAN SOL TiO₂ PADA SUPPORT

Pada metode preparasi fotokatalis film ini, sol TiO₂ yang telah dihasilkan dilapiskan pada *support* yang digunakan baik itu kaca preparat (*soda lime glass*) maupun plastik PP yang telah disinari dengan sinar UV-C. *Support* yang telah dilapisi akan dipanaskan di *furnace* pada suhu 60⁰C selama 15 menit dan diikuti dengan pemanasan berturut-turut pada suhu 50⁰C selama 5 jam dan 12 jam pada suhu 100⁰C . Selain digunakan *support* yang berbeda, variasi lain yang juga dilakukan pada metode pelapisan ini yaitu kondisi pemanasan 12 jam yang berupa pemanasan vakum maupun non vakum.



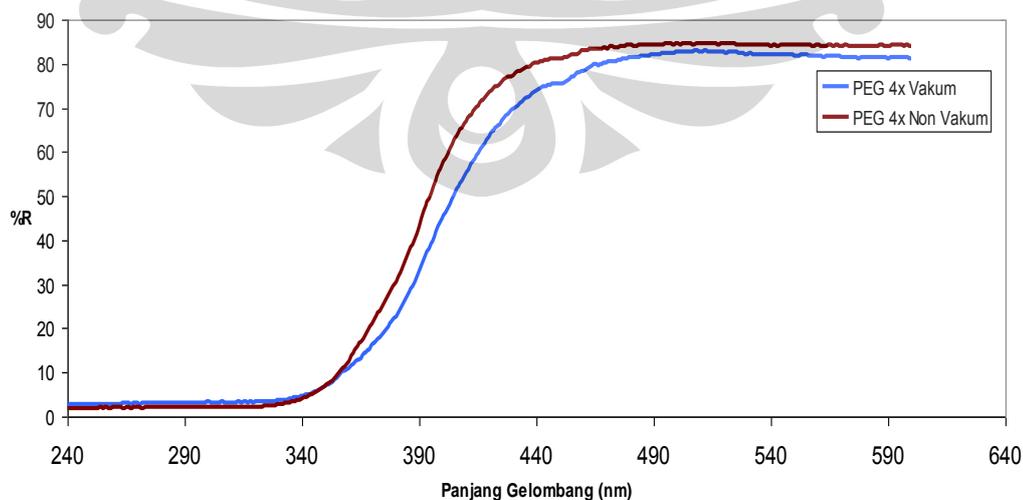
4.2.1. Pengaruh Kondisi Pemanasan 12 Jam terhadap Kinerja Katalis

Hasil penelitian dari Cut Halleyan (Halleyan D.A., 2008) menunjukkan terjadinya perbedaan ukuran kristal yang terbentuk pada perlakuan kondisi pemanasan yang berbeda yaitu pemanasan vakum dan non-vakum yang masing-masing dilakukan selama 12 jam. Ukuran kristal yang terbentuk pada pemanasan vakum lebih kecil yaitu 6,6 nm dibandingkan dengan 9,8 nm pada pemanasan non vakum. Perbedaan ukuran kristal yang terbentuk akan mempengaruhi kinerja katalis. Dalam hal ini kinerja katalis akibat variasi kondisi pemanasan akan ditinjau dari segi sudut kontak yang terbentuk dan didukung dengan data hasil pengukuran *band gap* dengan menggunakan karakterisasi UV-Vis DRS serta hasil pengukuran ukuran partikel dengan TEM.

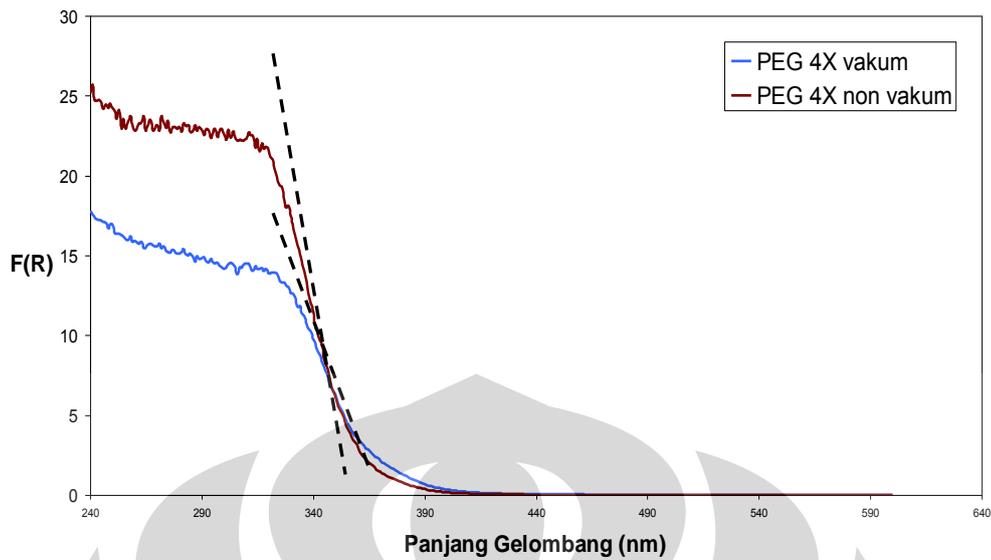
4.2.1.1. Hasil Karakterisasi UV-Vis DRS

Hasil analisa UV-Vis DRS terhadap kedua katalis dengan variasi kondisi pemanasan 12 jam dapat dilihat pada Gambar 4. 6. Spektra absorbansi dari katalis didapatkan dengan menganalisa terhadap hasil pengukuran reflektan katalis menggunakan fungsi emisi Kubelka-Munk seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.16.

Hasil perhitungan fungsi Kubelka-Munk untuk kedua katalis yang dipreparasi yaitu vakum dan non-vakum dapat dilihat pada Gambar 4. 7.



Gambar 4. 6. Hasil pengukuran UV-Vis DR



Gambar 4. 7. Fungsi Kubelka-Munk

Dengan cara mengekstrapolasi daerah linear pada grafik yang ditunjukkan di atas, maka akan diperoleh nilai panjang gelombang untuk pemanasan vakum dan non vakum yang berturut-turut adalah sebesar 370 nm dan 362 nm. Dengan menggunakan persamaan:

$$E = hc/\lambda \dots \dots \dots (4.1)$$

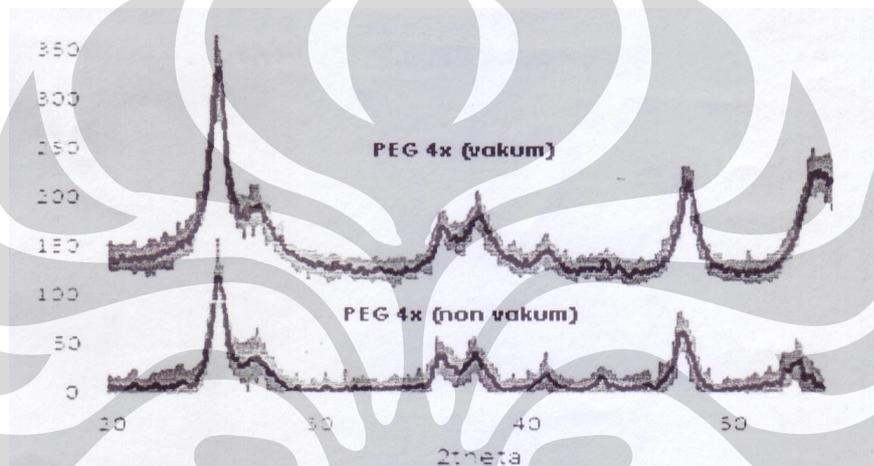
dengan h adalah tetapan *plack* yang bernilai $6,626 \times 10^{-34}$ dan c adalah kecepatan cahaya yaitu sebesar 3×10^8 m/s, maka akan didapatkan *band gap* untuk keduanya yaitu 3,3 eV untuk pemanasan vakum dan 3,4 eV untuk pemanasan non-vakum.

Dengan berkurangnya nilai *band gap*, maka semakin mudah suatu elektron dapat tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi TiO_2 sehingga energi foton yang dibutuhkan lebih sedikit. Atau dengan kata lain, semakin mudah fotokatalis tersebut membentuk pasangan *hole* dan elektron. Seperti yang telah diketahui, *hole* yang terbentuk akan mengoksidasi oksigen sehingga akan lebih mudah terjadi *oxygen vacancies* yang kemudian akan diikuti dengan pengikatan ion hidroksil secara kimia. Sehingga demikian, dengan berkurangnya nilai *band gap*, sifat *hidrofilik* yang dihasilkan juga akan semakin baik



4.2.1.2. Hasil Karakterisasi XRD

Hasil karakterisasi XRD dilakukan pada penelitian yang dilakukan oleh Halleyan D.A. (2008). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 8. di bawah ini, peak-peak kristal anatase terlihat telah terbentuk pada kondisi pemanasan 100°C baik pada pemanasan vakum maupun non vakum. Dari hasil perhitungan diperoleh ukuran kristal yang terbentuk pada pemanasan vakum adalah 6,6 nm dengan fraksi rutile 0,34. Sedangkan pada pemanasan non vakum, terbentuk ukuran kristal yang lebih besar yaitu 9,8 nm dengan fraksi rutile sebesar 0,31.



Gambar 4. 8. Hasil karakterisasi XRD (Halleyan D. A., 2008)

4.2.1.3. Hasil Karakterisasi TEM

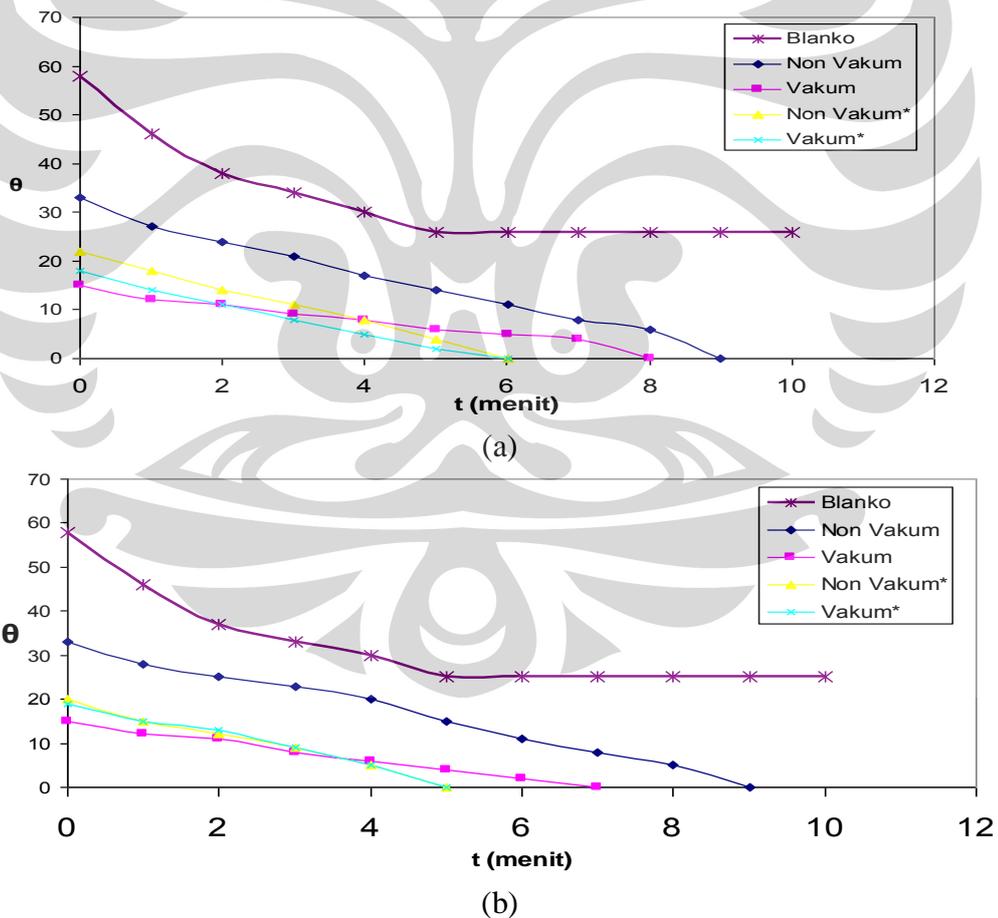
Untuk sampel yang dipreparasi dengan pemanasan vakum, dilakukan karakterisasi TEM seperti yang dapat dilihat pada Lampiran 4 untuk melihat ukuran partikel yang terbentuk. Ukuran rata-rata partikel TiO_2 yang terbentuk adalah sebesar 35 nm. Hal ini menunjukkan bahwa kristal yang terbentuk bukan merupakan *single crystal* karena hasil XRD menunjukkan ukuran kristal adalah sebesar 6,6 nm. Walaupun tidak dilakukan TEM untuk sampel yang dipreparasi dengan pemanasan non vakum, diduga ukuran partikel yang terbentuk akan lebih besar akibat keberadaan pengotor dan ukuran kristal yang lebih besar. Oleh sebab itu, pemanasan vakum akan memberikan *hidrofilisitas* yang lebih baik karena dengan ukuran partikel yang lebih kecil, semakin banyak *active site* yang mungkin terbentuk. Dengan demikian akan semakin banyak pula peluang untuk

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

terjadinya *oxygen vacancies* yang akan mendorong terjadinya mekanisme *hidrofilisitas*.

4.2.1.4. Hasil Pengukuran Sudut Kontak

Dari hasil pengukuran sudut kontak untuk mengetahui kinerja dari katalis film yang telah terlapis pada *support* kaca seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4. 9 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan *hidrofilisitas* yang ditimbulkan dari kedua jenis pemanasan tersebut. Pemanasan vakum mengakibatkan *hidrofilisitas* yang lebih baik. Hal ini terlihat dari perbedaan besar sudut kontak yang terbentuk pada kedua jenis pemanasan tersebut, dimana sudut kontak yang terbentuk pada kaca yang dipanaskan secara vakum lebih kecil.



Gambar 4. 9. Pengaruh kondisi pemanasan 12 jam terhadap sudut kontak (a) tanpa sinar UV dan (b) dengan UV

* Interval waktu dari preparasi fotokatalis film ke pengujian lebih singkat



BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kecenderungan yang dihasilkan dari hasil pengujian sudut kontak ini berbeda dengan hasil karakterisasi FTIR yang dilakukan dalam penelitian Cut Halleyan (Halleyan D. A., 2008). Dari hasil karakterisasi FTIR yang dilakukan pada penelitian tersebut, dinyatakan bahwa pada pemanasan secara non-vakum 12 jam terjadi intensitas gelombang yang lebih besar pada kisaran 1600 cm^{-1} yang menandakan adanya ikatan H-O-H (Guan, Lu, Yin, 2003). Dengan intensitas gelombang yang lebih tinggi pada daerah tersebut, menandakan bahwa semakin banyak jumlah ikatan antara H-O-H. Seharusnya dengan adanya peningkatan jumlah ikatan H-O-H, *hidrofilisitas* dari kaca yang dipreparasi dengan pemanasan non-vakum lebih baik daripada kaca yang dipreparasi dengan pemanasan vakum. Tetapi hasil pengukuran sudut kontak menunjukkan hal yang sebaliknya. *Hidrofilisitas* yang lebih baik pada kaca yang dipreparasi dengan pemanasan vakum dapat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu: (a) Aktivitas fotokatalitik yang lebih baik pada pemanasan vakum dengan lebih kecilnya *band gap* yang diperoleh dari hasil pengukuran UV-Vis DRS, (b) Pengotor yang ada pada proses pemanasan vakum lebih sedikit.

Dengan adanya *band gap* yang lebih kecil, akan semakin mudah untuk membentuk *elektron* dan *hole*. Dengan demikian, akan semakin mudah terjadinya proses reduksi kation Ti(IV) menjadi Ti(III) dan oksidasi anion O_2^- (Guan, Lu, Yin, 2003). Dalam prosesnya, atom oksigen akan didesak sehingga mengakibatkan kekosongan oksigen yang kemudian akan ditempati oleh molekul air sehingga menghasilkan gugus -OH yang teradsorp pada permukaan (Guan et al., 2003). Akibatnya, permukaan kaca akan bersifat lebih *hidrofil*, dimana hal ini ditandai dengan penurunan sudut kontak yang terukur dari waktu ke waktu.

Faktor yang kedua adalah keberadaan pengotor. Dari hasil FTIR yang dilakukan dalam penelitian Halleyan D A. (2008) kembali mengungkapkan bahwa pada pemanasan vakum, jumlah pengotor yang ada pada katalis yang dipreparasi dengan pemanasan vakum jauh lebih sedikit dibandingkan dengan katalis yang dipreparasi dengan pemanasan non-vakum. Keberadaan pengotor-pengotor yang bersifat *hidrofobik* ini merupakan komponen pengganggu untuk mencapai sifat *hidrofilik* yang lebih baik. Dengan demikian, katalis yang dipreparasi dengan pemanasan vakum tentunya akan mempunyai *hidrofilisitas* yang lebih baik.



Gambar 4. 9. di atas selain menunjukkan perbedaan sifat *hidrofilik* yang berbeda dari kedua jenis pemanasan yang ditandai dengan besar sudut kontak yang dihasilkan, juga menunjukkan tingkat kestabilan *hidrofilik* yang dihasilkan. Dapat dilihat bahwa sampel yang baru dipreparasi mempunyai *hidrofilisitas* yang lebih baik, baik itu pada pemanasan vakum maupun non vakum. Hal ini diperkirakan karena dua faktor. Pertama, dengan bertambahnya waktu pasca operasi, *support* semakin terekspos dengan udara luar yang mengandung pengotor. Keberadaan pengotor ini diduga kuat akan mengurangi sisi aktif dari katalis sehingga menyebabkan terjadinya penurunan sifat *hidrofilik*. Kedua, diduga bahwa dengan bertambahnya waktu pasca operasi, kadar $-OH$ semakin mengalami pengurangan sehingga akan melemahkan gaya Van der Waals dan ikatan $-H$ antara air dan $-OH$ (Gan et al., 2007).

4.2.2. Plastik PP sebagai Support Fotokatalis

Plastik yang telah dilakukan perlakuan *surface treatment* dapat dilapisi dengan larutan *coating* sehingga memungkinkan dilakukannya preparasi fotokatalis film dengan plastik sebagai *support*-nya. Plastik yang digunakan sebagai *support* adalah plastik yang telah dilakukan *surface treatment* selama 4,5 jam.

4.2.2.1. Variasi Berat Molekul PEG

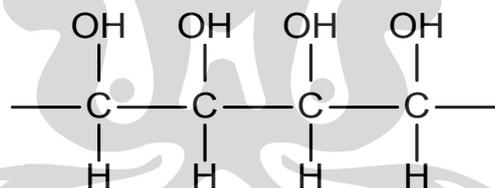
Berat molekul PEG yang digunakan adalah PEG 1000, PEG 2000, dan PEG 6000. Jumlah PEG yang ditambahkan adalah empat kali massa TiO_2 yang terbentuk untuk semua PEG yang digunakan. Ketiga plastik yang telah dilapisi dengan TiO_2 diuji sifat *hidrofilik*-nya dengan menggunakan alat pengukur sudut kontak yang mampu mengukur sudut yang terbentuk antara permukaan padatan dan garis tangensial jari-jari embun dari titik kontak dengan padatan. Konsentrasi TiO_2 yang dilapisi pada *support* plastik diencerkan sampai konsentrasi 0,1 M. Hal ini bertujuan untuk mengurangi viskositas larutan akibat penambahan PEG, sehingga akan mengurangi kesalahan pada saat melakukan pengujian sudut kontak akibat proses pelapisan yang tidak merata karena konsentrasi larutan yang



BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

terlampau besar. Hasil pengujian sudut kontak pada ketiga jenis sampel tersebut menunjukkan terjadinya penurunan sudut kontak dari waktu ke waktu baik ketika dilakukan penyinaran sinar UV maupun tidak.

Penambahan PEG yang strukturnya dapat dilihat pada Gambar 4. 10. di bawah ini, akan mengurangi terjadinya proses sintering antara partikel-partikel TiO_2 sehingga akan membuat porositas lapisan film pada permukaan menjadi lebih besar (Miki et al., 2003). Dengan bertambahnya molekul PEG yang ditambahkan, semakin panjang juga struktur polimer ini sehingga ukuran partikel dari PEG juga akan semakin besar. Dengan demikian, proses sintering dapat lebih dihindari dan porositas yang dihasilkan juga akan lebih besar. Selain itu, kehadiran porositas yang lebih besar ini akan mengurangi hambatan difusi pada struktur film sehingga memungkinkan penetrasi air yang lebih baik ke dalam rongga (Gan et al., 2007). Diduga juga, dengan semakin besar berat molekul PEG yang ditambahkan, semakin banyak terjadinya pembentukan struktur $\text{TiO}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dengan PEG yang akan mendorong transformasi kristal TiO_2 menjadi lebih baik.



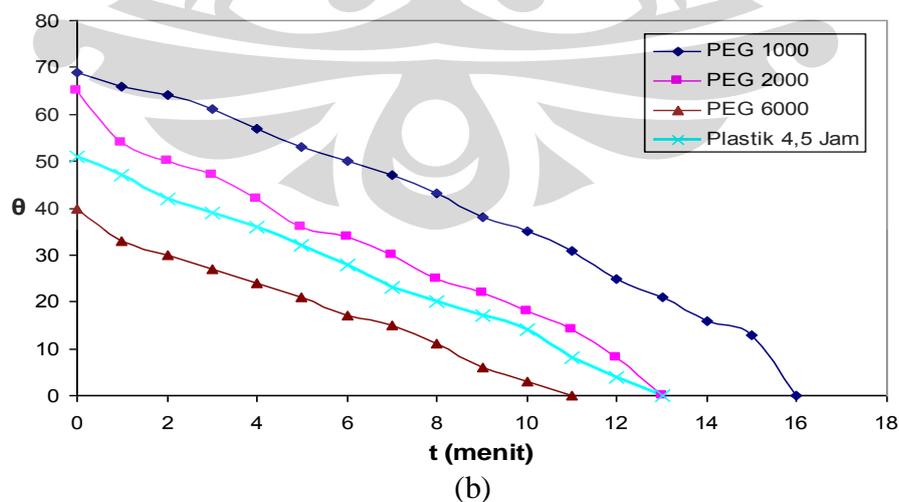
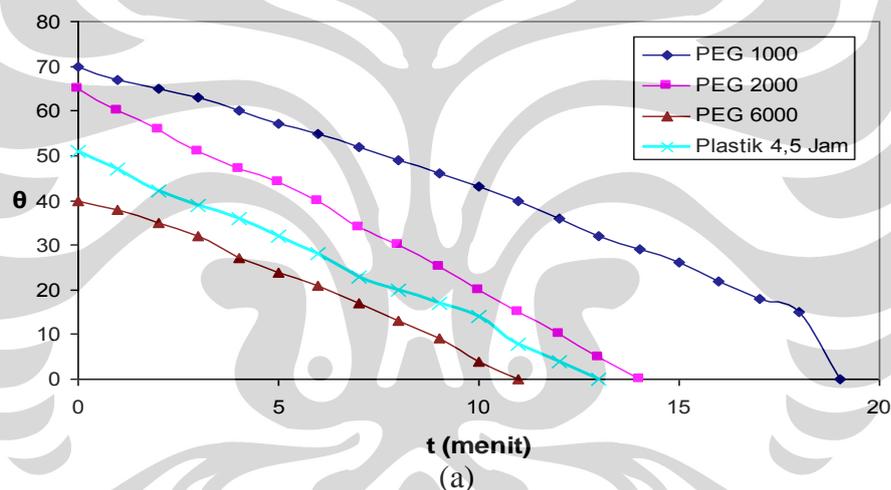
Gambar 4. 10. Struktur PEG

Hasil publikasi sebelumnya menyatakan bahwa penambahan PEG mengakibatkan terbentuknya gugus hidroksil sehingga menjadikan permukaan plastik yang pada awalnya cenderung *hidrofobik* menjadi lebih *hidrofilik*. Selain itu akan terlihat adanya pembentukan kisi-kisi pada struktur permukaan kaca yang ditempati oleh gugus hidroksil dari air pada permukaan *support*, dimana pembentukan gugus hidroksil ini mampu mengurangi tegangan permukaan antara air dengan permukaan *support*. Dari variasi penambahan PEG yang dilakukan, yang memberikan efek *hidrofilisitas* yang paling baik adalah PEG dengan berat molekul 6000 seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4. 11.



BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil karakterisasi FTIR yang dilakukan seperti yang terlihat pada Gambar 4. 12. bertujuan untuk menentukan apakah penambahan PEG dengan berat molekul yang lebih besar akan menunjukkan intensitas yang lebih banyak untuk air yang diikat baik secara kimia maupun fisika. Hasil menunjukkan hal yang berbeda dengan apa yang diduga oleh penulis. Ternyata hasil karakterisasi FT-IR mengungkapkan bahwa dengan semakin bertambahnya berat molekul PEG, intensitas pada daerah 3300 cm^{-1} dan 1600 cm^{-1} yang berturut-turut menunjukkan kehadiran ikatan O-H dan H-O-H, lebih rendah. Daerah pada panjang gelombang 3300 cm^{-1} diperkirakan sebagai air yang teradsorb secara fisika, sedangkan pada panjang gelombang 1600 cm^{-1} diduga karena kehadiran air yang teradsorb secara kimia (*chemisorption*) (Guan et al., 2003).

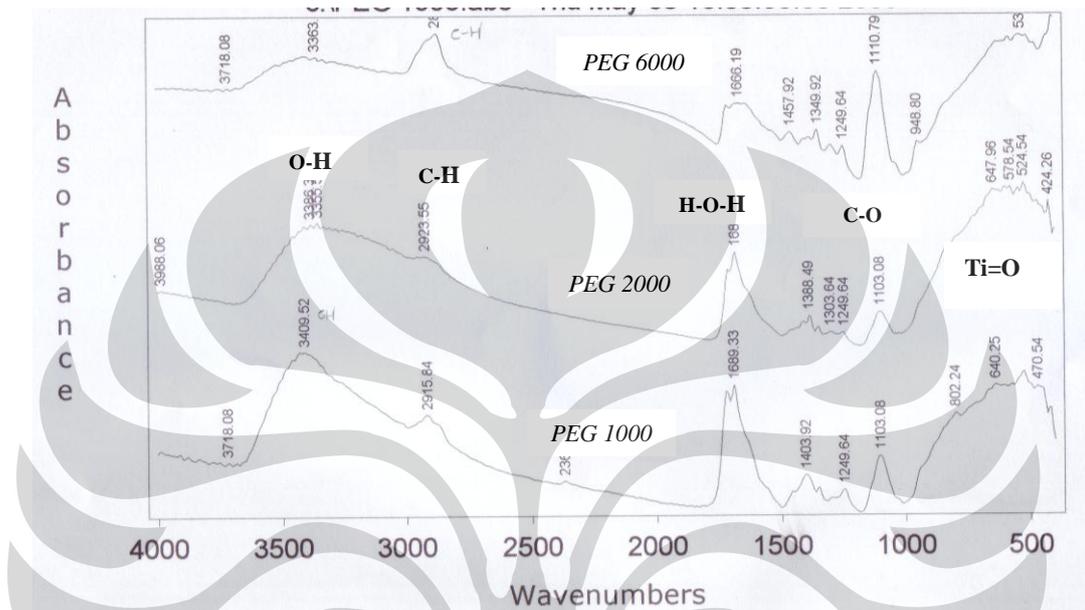


Gambar 4. 11. Pengaruh penambahan aditif PEG dengan berat molekul berbeda terhadap sudut kontak (a) tanpa sinar UV dan (b) dengan sinar UV



BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan hasil karakterisasi yang telah diperoleh tersebut, menandakan bahwa *hidrofilisitas* yang baik pada fotokatalis film yang dipreparasi dengan kristalisasi dingin dan penambahan aditif PEG dengan berat molekul lebih tinggi bukan disebabkan karena adanya peningkatan jumlah –OH ataupun H-O-H tetapi lebih disebabkan adanya faktor lain.



Gambar 4. 12. Hasil FTIR dengan PEG 1000, 2000 dan 6000

Faktor lain yang mempengaruhi *hidrofilisitas* tersebut diduga disebabkan karena dua hal yaitu: (a) Pertama, kehadiran PEG dengan berat molekul yang lebih besar pada proses preparasi, membuat proses transformasi kristal TiO₂ menjadi lebih baik karena semakin banyaknya ikatan TiO(NO₃)₂.H₂O yang terbentuk. Hal ini ditandai dengan semakin banyaknya ikatan C-H yang terdeteksi pada panjang gelombang 3000 cm⁻¹ pada penambahan berat molekul yang lebih besar. Kristal yang terbentuk dengan lebih baik, akan menurunkan laju rekombinasi (Aguado et al., 2006) (b) Kedua, pencegahan sintering yang lebih baik dengan penambahan PEG dengan berat molekul lebih tinggi diduga akan menghasilkan ukuran kristal TiO₂ yang lebih kecil. Hal ini senada dengan hasil penelitian Halleyan D. A. (2008) yang dalam penelitiannya menemukan bahwa penambahan PEG dengan jumlah yang lebih banyak akan menyebabkan terjadinya ukuran kristal TiO₂ yang lebih kecil. Dengan mengecilnya ukuran



BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

kristal, menyebabkan luas permukaan menjadi lebih besar sehingga akan meningkatkan photoadsorpsi O_2 dan memperlambat laju rekombinasi, dimana hal ini akan mendorong sifat *hidrofilik* yang lebih baik (Aguado et al., 2006).

4.2.2.2. Variasi *Support* Plastik dengan Waktu UV-C Treatment Berbeda

Hasil pengukuran sudut kontak pada bagian sebelumnya menunjukkan bahwa terjadi penurunan sudut kontak dari waktu ke waktu hingga terjadi proses penyebaran cairan sepenuhnya. Akan tetapi, sudut kontak awal yang dihasilkan masih cukup besar, dan waktu untuk mencapai sudut kontak nol masih cukup lama. Selain itu, terlihat bahwa untuk fotokatalis yang diberi dopan PEG 1000 dan 2000, nilai sudut kontak yang terukur lebih besar dibandingkan plastik yang telah disinari dengan sinar UV-C. Diduga bahwa penurunan sudut kontak lebih disebabkan karena sifat kepolaran dari plastik yang telah dilakukan *surface treatment* dibandingkan karena efek *hidrofilisitas* yang dihasilkan dari TiO_2 .

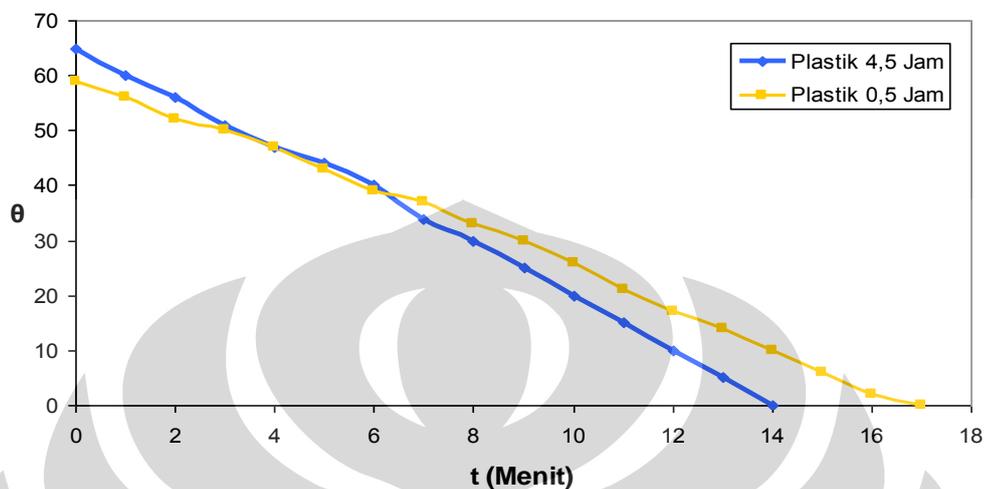
Seperti yang diketahui bahwa tahapan *surface treatment* dengan penyinaran sinar UV-C yang dilakukan untuk membuat permukaan plastik dapat dilapisi menghasilkan radikal. Radikal ini diduga mengakibatkan gangguan pada proses preparasi katalis film dengan metode sol-gel sehingga mengakibatkan transformasi menjadi TiO_2 menjadi tidak sempurna.

Oleh sebab itu, dilakukan variasi *support* plastik yang digunakan untuk media *coating*. *Support* plastik yang digunakan adalah plastik yang telah disinari selama 4,5 jam dan 0,5 jam dan sol TiO_2 yang digunakan untuk *coating* merupakan larutan yang diberi aditif PEG dengan berat molekul 2000. Alasan digunakannya kedua jenis plastik dengan waktu penyinaran sinar UV-C yang berbeda adalah untuk melihat apakah adanya pengaruh antara waktu penyinaran plastik terhadap *hidrofilisitas* yang dihasilkan.

Hasil pengukuran sudut kontak untuk kedua jenis *support* plastik seperti yang terlihat pada Gambar 4. 13. di atas menunjukkan bahwa waktu penyinaran plastik dengan sinar UV-C tidak terlalu mempengaruhi sudut kontak yang dihasilkan karena masih menghasilkan sudut kontak yang masih cukup besar. Hal ini mengungkapkan bahwa baik dengan menggunakan plastik yang diberi *surface treatment* selama 0,5 jam ataupun 4,5 jam, tetap menghasilkan radikal yang



mempengaruhi proses preparasi sol-gel menghasilkan TiO_2 pada permukaan plastik.



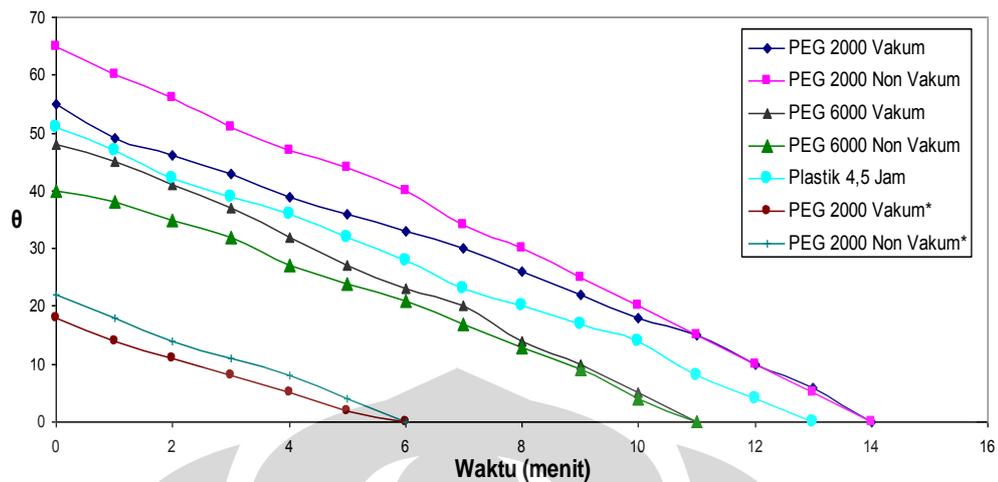
Gambar 4. 13. Pengaruh variasi *support* plastik yang digunakan terhadap sudut kontak yang dihasilkan

4.2.2.3. Variasi Kondisi Pemanasan

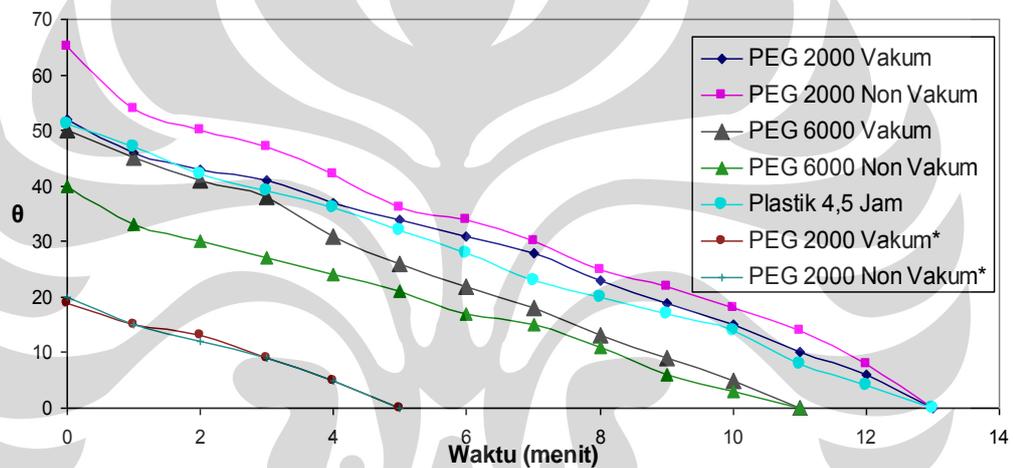
Jika pada *support* kaca, pemanasan vakum dan pemanasan non vakum memberikan sifat *hidrofilisitas* yang berbeda, ternyata dari hasil pengukuran sudut kontak pada *support* plastik seperti yang terlihat pada Gambar 4. 14. tidak menunjukkan hubungan yang serupa. Bahkan nilai sudut kontak yang terbentuk pada *support* kaca jauh lebih kecil dibandingkan pada *support* plastik, yang menandakan sifat *hidrofilik* yang lebih baik.

Hasil pengukuran ini menunjukkan bahwa baik untuk pemanasan vakum maupun non vakum dalam preparasi fotokatalis film pada *support* plastik melalui pelapisan sol TiO_2 tidak dapat memberikan hasil yang signifikan terhadap perbaikan *hidrofilisitas*. Hal ini kemungkinan besar disebabkan karena masih terdapatnya pengaruh radikal pada saat proses preparasi katalis film pada *support* plastik.

Karena alasan inilah, maka perlu dilakukan variasi metode pelapisan pada *support* plastik yang akan dibahas lebih lanjut pada subbab selanjutnya.



(a)



(b)

Gambar 4. 14. Pengaruh kondisi pemanasan terhadap sudut kontak pada *support* plastik (a) tanpa sinar UV, (b) dengan sinar UV

* Dilapiskan pada *support* kaca preparat

4.3. PREPARASI FOTOKATALIS FILM DENGAN PELAPISAN SERBUK TiO_2 PADA *SUPPORT*

Dari preparasi fotokatalis film pada *support* plastik yang telah dilakukan walaupun menunjukkan kecenderungan terjadinya penyebaran air pada permukaan, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai sudut kontak nol masih cukup lama, dan sudut kontak awal yang dihasilkan masih besar. Oleh sebab itu,



dilakukan metode pelapisan yang berbeda dengan sebelumnya, dimana katalis film tidak langsung dipreparasi pada permukaan *support*, tetapi katalis TiO₂ yang sudah berada dalam bentuk serbuk dilarutkan dalam *solvent* etanol lalu dilapiskan pada permukaan *support* yang akan digunakan.

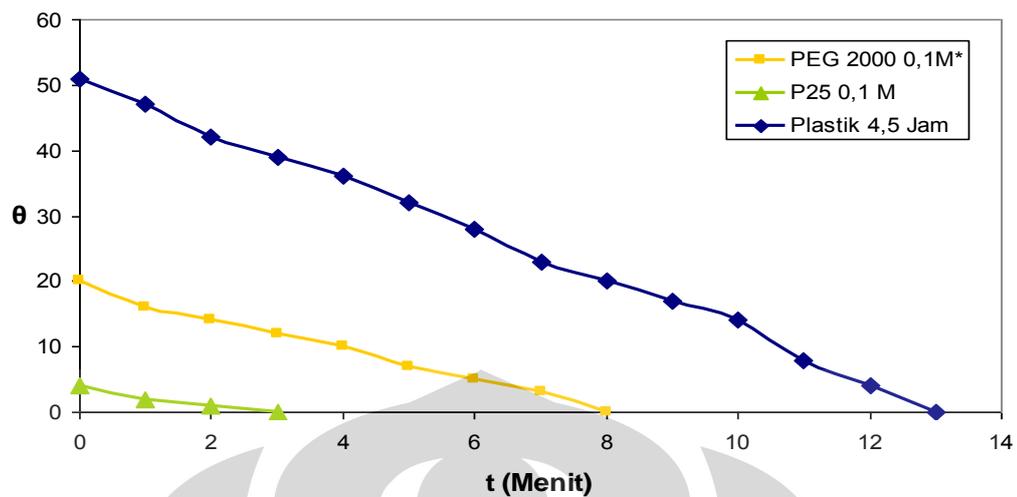
4.3.1. Variasi Katalis

Katalis serbuk yang digunakan adalah katalis serbuk yang diberi aditif PEG dengan berat molekul 2000, dan sebagai pembanding akan digunakan katalis degussa komersial (P25). Adapun hasil pengukuran sudut kontak dapat dilihat pada Gambar 4. 15.

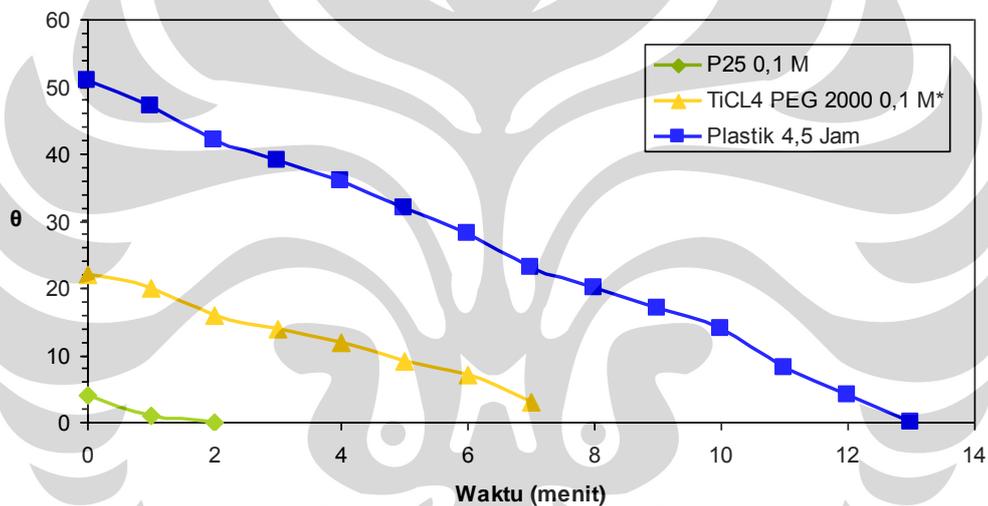
Pada grafik tersebut ditunjukkan hasil pengukuran sudut kontak yang diperoleh. Dapat dilihat bahwa plastik yang di-*coating* dari serbuk dengan konsentrasi 0,1 M memberikan *hidrofilisitas* yang jauh lebih baik dibandingkan dengan plastik yang tidak dilapisi dengan katalis. Bahkan plastik yang dilapisi dengan degussa mencapai sifat super *hidrofilisitas* dengan cepat dimana sudut kontak awal yang dihasilkan lebih kecil dari 5⁰ dan dalam waktu 3 menit, air sudah tersebar secara menyeluruh pada permukaan plastik.

Penurunan sudut kontak yang terjadi diyakini lebih disebabkan karena mekanisme *hidrofilisitas* yang ditimbulkan oleh katalis TiO₂ yang terdapat pada permukaan plastik. Aktivitas oksidasi terhadap anion O₂⁻ akan menyebabkan terjadinya kekosongan oksigen (*oxgen vacancies*). Kekosongan oksigen ini akan mempermudah molekul air untuk masuk dan menghasikan gugus hidroksil teradsorp yang menyebabkan permukaan plastik menjadi lebih *hidrofil*.





(a)



(b)

Gambar 4. 15. Hasil pengukuran sudut kontak dengan pelapisan fotokatalis serbuk (a)tanpa sinar UV dan (b) dengan sinar UV

* Dipreparasi dari serbuk TiO_2 yang dilarutkan pada etanol

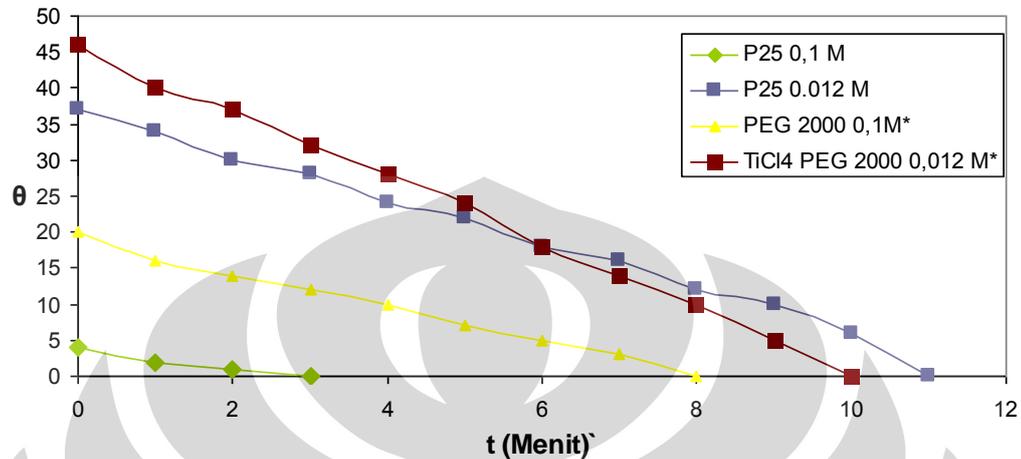
4.3.2. Variasi Konsentrasi

Pada bagian sebelumnya telah diungkapkan bahwa metode pelapisan dari fotokatalis serbuk memberikan *hidrofilisitas* yang lebih baik. Akan tetapi salah satu permasalahan baru yang timbul adalah, plastik yang dilapisi tersebut tidak memberikan transparansi yang terlalu baik terutama pada konsentrasi yang cukup tinggi misalnya pada 0,1 M. Oleh sebab itu dilakukan variasi konsentrasi larutan yang dilapisi pada permukaan plastik baik untuk P25 maupun untuk $TiCl_4$ yang

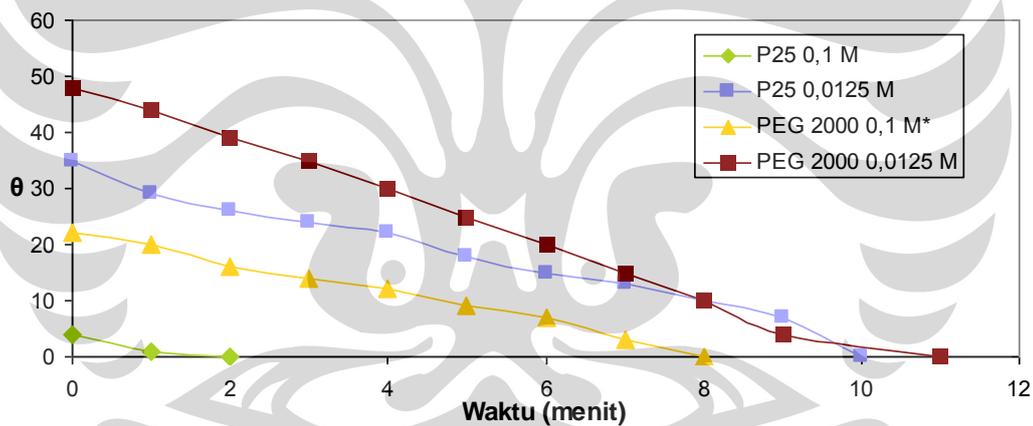


BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

diberi dopan PEG 2000. Hasil pengukuran sudut kontak dapat dilihat pada Gambar 4. 16. berikut:



(a)



(b)

Gambar 4. 16. Pengaruh variasi konsentrasi pada pelapisan katalis serbuk terhadap sudut kontak (a) tanpa sinar UV, (b) dengan sinar UV

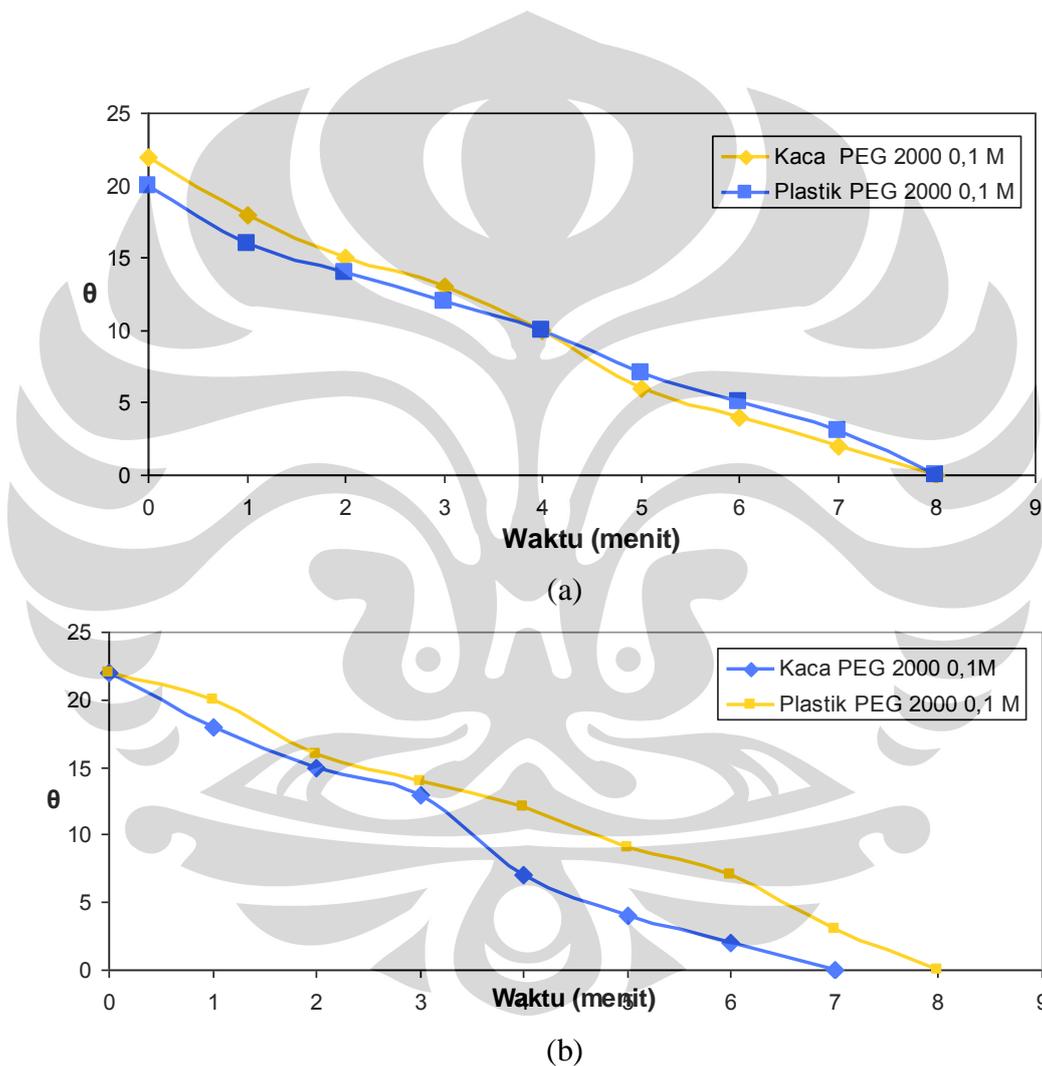
* Dipreparasi dari serbuk TiO_2 yang dilarutkan pada etanol

Hasil pengukuran menunjukkan hal yang telah penulis duga bahwa dengan berkurangnya konsentrasi larutan yang di-coating, sudut kontak yang dihasilkan juga akan semakin besar. Hal ini disebabkan karena dengan berkurangnya konsentrasi, kadar *solvent* menjadi lebih banyak sedangkan kadar TiO_2 yang terkandung menjadi lebih sedikit.



4.3.3. Variasi Support

Dalam beberapa publikasi ilmiah, Fernandez et al. (1995) melaporkan bahwa adanya pengaruh *support* terhadap sifat *hidrofilik* yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena pada beberapa *support*, senyawa yang terkandung dalamnya, ternyata mempengaruhi *hidrofilisitas*. Gambar 4. 17. di bawah ini menunjukkan hasil pengukuran sudut kontak untuk plastik dan kaca yang telah dilapisi dengan katalis serbuk dengan konsentrasi yang sama.



Gambar 4. 17. Pengaruh *support* yang berbeda terhadap hasil pengukuran sudut kontak (a) tanpa sinar UV, (b) dengan sinar UV

Hasil pengukuran menunjukkan walaupun pada *support* kaca, menunjukkan *hidrofilisitas* yang lebih baik, sifat yang ditunjukkan tidak jauh berbeda, sehingga bisa disimpulkan bahwa ke-2 *support* baik plastik maupun kaca



tidak mengandung komponen pengganggu yang dapat mempengaruhi sifat *hidrofilik* yang ditimbulkan. Di samping itu, hasil pengukuran sudut kontak juga menegaskan bahwa preparasi fotokatalis film pada plastik dapat memberikan *hidrofilitas* yang baik jika dilakukan dengan metode yang tepat.

4.4. PENGARUH PELAPISAN SOL ATAU SERBUK TiO₂ PADA PLASTIK TERHADAP HIDROFILISITAS

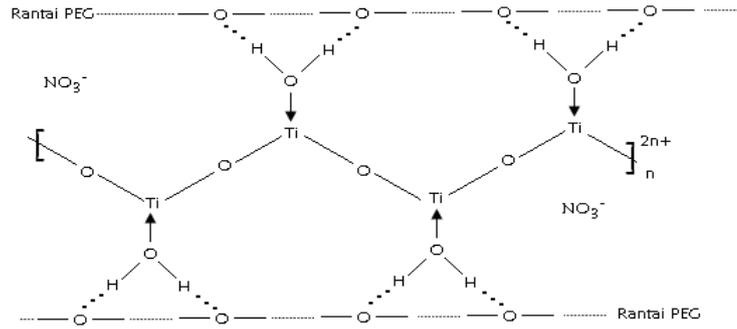
Hasil pengukuran sudut kontak yang telah ditampilkan pada bagian-bagian sebelumnya menunjukkan bahwa metode pelapisan pada *support* plastik memberikan pengaruh yang sangat besar pada *hidrofilisitas* yang dihasilkan. Pada preparasi fotokatalis film dengan pelapisan serbuk TiO₂ pada *support*, metode preparasi sol-gel diikuti dengan kristalisasi dingin menghasilkan kristal anatase TiO₂ yang baik. Ketika serbuk TiO₂ yang sudah dihasilkan ini dilarutkan dalam *solvent* dan dilapisi pada permukaan plastik, plastik tersebut tentu akan menunjukkan *hidrofilisitas* yang baik.

Akan tetapi pada preparasi fotokatalis film dengan pelapisan sol TiO₂ pada *support* plastik, diduga terjadi gangguan selama proses preparasi melalui metode sol-gel tersebut. Gangguan tersebut diduga terjadi karena adanya distorsi oleh radikal-radikal seperti karbonil (-C=O), peroksil (-C-O-O) terhadap ikatan H-O-H yang terbentuk antara TiO(NO₃)₂.H₂O dengan PEG. Radikal itu timbul karena proses pemaparan plastik terhadap sinar UV-C. Kestabilan struktur ikatan yang terbentuk seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 18. sangatlah penting karena kestabilan struktur tersebut akan sangat menentukan proses transformasi kristal TiO₂ (Liu et al., 2000). Ketika dilakukan pemanasan pada suhu 100⁰C, kestabilan ikatan yang terbentuk akan mendorong proses hidrolisis dan pirolisis yang akan mengakibatkan transformasi kristal TiO₂ yang lebih baik (Liu et al., 2000).

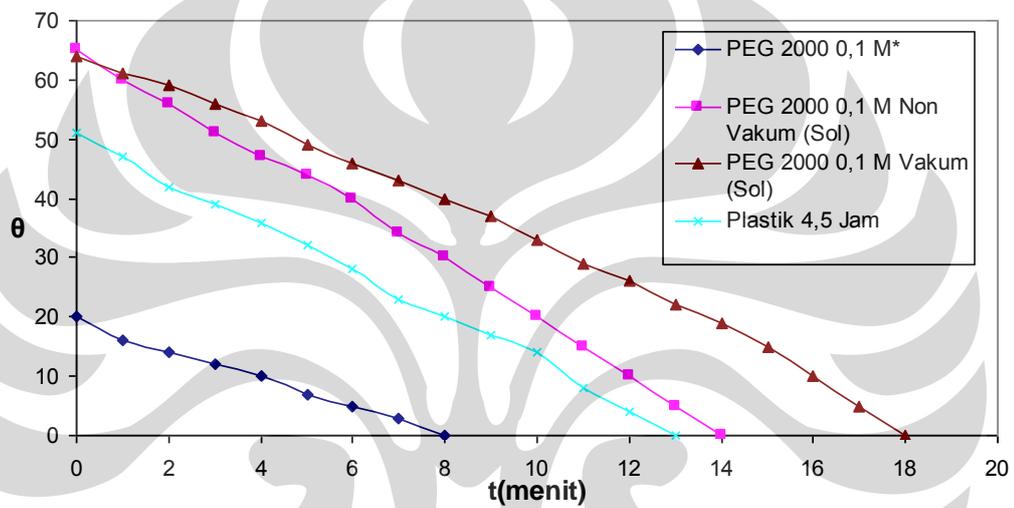
Radikal yang terbentuk selama proses penyinaran dengan sinar UV-C diduga akan menyerang ikatan H-O-H yang ada sehingga menimbulkan terjadinya radikal baru. Timbulnya radikal baru inilah yang diduga akan merusak kestabilan ikatan, yang mengarah pada pembentukan TiO₂ yang *hidrofilisitas*-nya tidak baik.



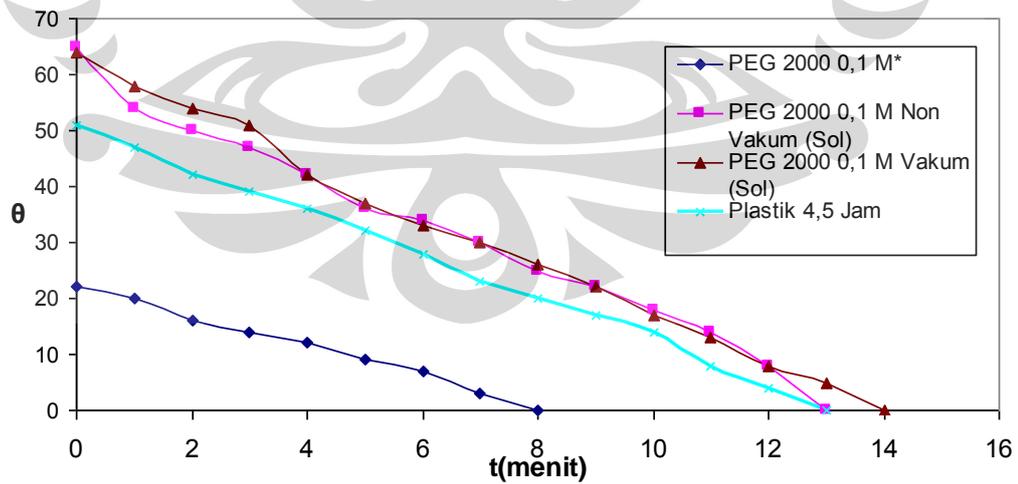
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 4. 18. Struktur ikatan antara PEG dan TiO(NO₃)₂·H₂O (Liu, et.al, 2000)



(a)



(b)

Gambar 4. 19. Pengaruh metode pelapisan yang berbeda terhadap hidrofilisitas (a) tanpa sinar UV, (b) dengan sinar UV

* Dipreparasi dari serbuk TiO₂ yang dilarutkan pada etanol

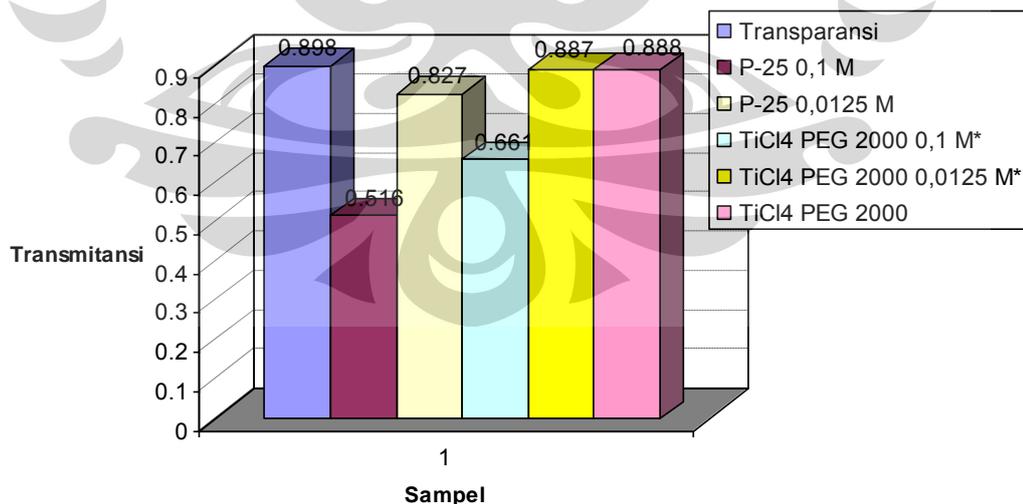


4.5. PENGUJIAN HASIL TRANSPARANSI SUPPORT PLASTIK

Salah satu karakteristik yang diinginkan dari *support* yang telah dilapisi dengan nano TiO₂ selain sifat hidrofilik yang bagus adalah sifat transparansinya. Transparansi dari film ini akan ditentukan secara kuantitatif dengan menggunakan alat UV-Vis Spectrofotometer yaitu dengan mengukur nilai transmitansinya,

Hasil pengukuran transmitansi pada beberapa *support* plastik menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang berbanding terbalik antara transmitansi dengan konsentrasi larutan *coating*. Terdapat dua *support* yang menunjukkan transparansi yang baik dengan nilai yang hampir mendekati kertas transparansi yang tidak dilapisi dengan nano TiO₂. Kedua *support* tersebut adalah (a) *support* yang dilapisi dengan sol TiO₂ 0,1 M, (b) *support* yang dilapisi dengan serbuk TiO₂ dengan konsentrasi 0,0125 M .

Pada P25 dan serbuk TiO₂ yang dipreparasi dengan metode sol-gel dan kristalisasi dingin, dengan metode pelapisan yang sama, transparansi yang diberikan oleh serbuk TiO₂ yang dipreparasi sendiri menghasilkan nilai transparansi yang lebih baik. Hal ini disebabkan karena ukuran partikel serbuk yang dihasilkan juga lebih kecil dibandingkan dengan katalis komersial degussa.



Gambar 4. 20. Efek metode pelapisan dan konsentrasi terhadap transmitansi *support* plastik

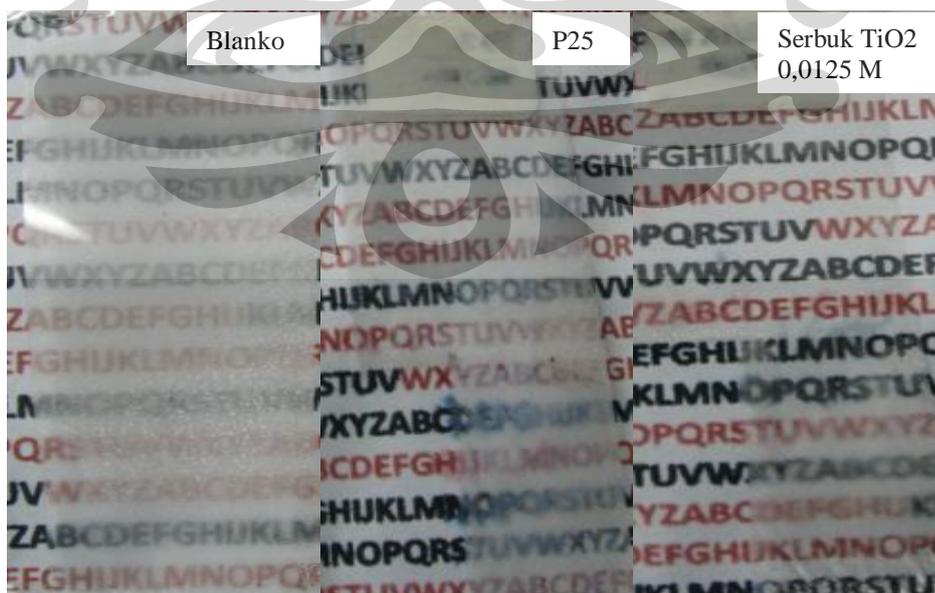
* Dipreparasi dari serbuk TiO₂ yang dilarutkan pada etanol



4.6. PENGUJIAN SIFAT ANTI FOGGING

Gambar 4. 21. dan Gambar 4. 22. menunjukkan hasil pengujian *anti fogging* dengan cara membuat *steam* pada permukaan support plastik dan cermin. *Support* yang akan dibandingkan adalah antara plastik yang tidak dilapisi dengan TiO_2 , plastik yang dilapisi dengan P25 dan plastik yang dilapisi dengan serbuk TiO_2 . Sedangkan pada cermin membandingkan antara sampel yang dipanaskan secara vakum dan non vakum.

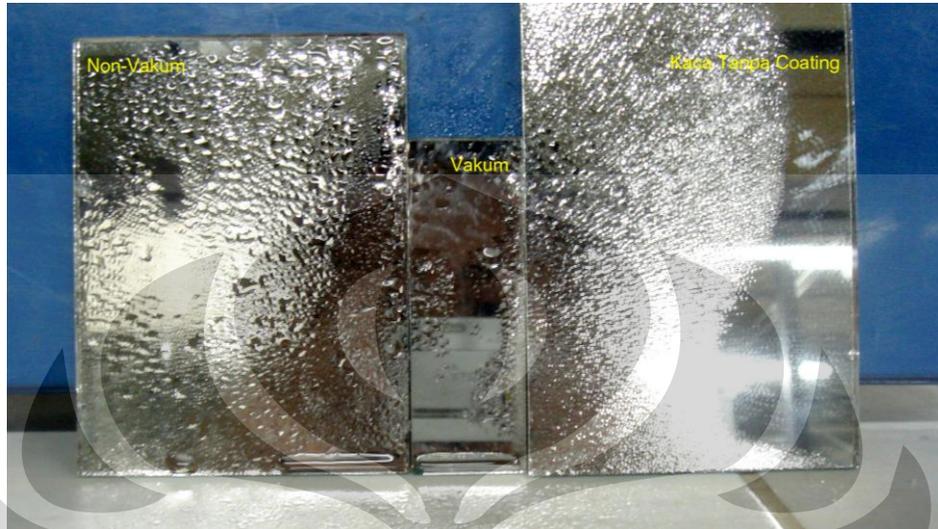
Hasil pengujian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang cukup signifikan dalam pembentukan kabut antara plastik yang dilapisi dengan TiO_2 dan tidak. Pada plastik yang tidak dilapisi dengan TiO_2 , terlihat adanya pembentukan butiran-butiran kecil yang menyebabkan tulisan menjadi buram. Pada plastik yang dilapisi dengan P25, menunjukkan sifat *hidrofilik* yang baik. Akan tetapi, pelapisan P25 pada permukaan *support* itu sendiri membuat plastik menjadi kurang transparan sehingga walaupun *fog* yang terbentuk lebih sedikit, tulisan yang terbaca juga tidak jelas karena efek transparansi dari plastik itu sendiri. Untuk plastik yang dilapisi dengan serbuk TiCl_4 dengan konsentrasi 0,0125 M, transparansi yang ditunjukkan cukup bagus dan dengan sifat *anti fogging* yang bagus juga sehingga tulisan dapat terbaca dengan jelas.



Gambar 4. 21. Pengujian sifat anti fogging pada plastik

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sedangkan pada *support* cermin seperti yang terlihat di bawah ini, pemanasan vakum menghasilkan sifat anti fogging yang lebih baik karena objek dapat terlihat dengan lebih jelas dibandingkan kedua sampel lainnya.



Gambar 4. 22. Pengujian sifat anti fogging pada cermin



BAB V

KESIMPULAN

1. Metode penyinaran dengan sinar UV-C dapat membuat plastik menjadi polar sehingga plastik tersebut dapat dilapisi dan menjadi *support* bagi nano material TiO₂. Variabel waktu penyinaran yang terbaik berada pada rentang waktu 2-4,5 jam yang ditandai dengan sudut kontak akhir yang terkecil.
2. Tingkat kestabilan sifat polar plastik yang disinari dengan UV-C cukup baik, dimana hal ini dilihat dari nilai sudut kontak yang hampir sama untuk sampel yang dipreparasi pada waktu yang berbeda.
3. Penambahan dopan PEG dengan berat molekul yang lebih besar dapat meningkatkan *hidrofilisitas*. Hal ini diduga karena semakin sempurnanya kristal TiO₂ yang terbentuk.
4. Sifat *hidrofilik* dari *support* plastik yang dilapisi sol TiO₂ tidak baik karena kehadiran radikal dari plastik yang disinari dengan sinar UV-C, dimana radikal tersebut mengganggu stabilisasi ikatan TiO(NO₃)₂.H₂O dengan PEG.
5. Sifat *hidrofilik* dan transparansi suatu *support* berlapis nano TiO₂ yang dihasilkan dengan melapiskan serbuk TiO₂ yang dilarutkan pada etanol sangat bergantung pada konsentrasi dan jenis katalis yang digunakan. Katalis serbuk yang mempunyai ukuran kristal lebih kecil dan konsentrasi lebih rendah akan menghasilkan *support* yang lebih transparan.
6. Plastik berlapis nano TiO₂ yang mempunyai sifat *hidrofilik* yang baik dan transparan, didapatkan dengan melapisi serbuk TiO₂ yang dilarutkan pada *solvent* etanol dengan konsentrasi 0,0125 M.



DAFTAR PUSTAKA

- Adamson, A., & Gast, A. (1997). *Physical Chemistry of Surface* (6th Edition ed.). USA: Wiley Interscience Publication.
- Aguado, J. et al. (2006). A Comprehensive Study of the Synthesis, Characterization, and Activity of TiO₂ Mixed TiO₂/SiO₂ Photocatalysts. *Appl Catal. A: General* 312, 202-212.
- Amemiya, S. (2004). Titanium-Oxide Photocatalyst. *Three Bond Technical News*, 1-8.
- Aryanie, A. (2007). *Rekayasa Fotokatalis Film TiO₂ Degussa P25 Untuk Reduksi Limbah Cr (VI)*, Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik UI, Depok.
- Brinker, C. J., & Scherer, G. W. (1989). *Sol-Gel Science The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*. New York: Academic Press.
- “British Plastic Federation”. (2003). Diakses 17 Maret 2007 dari www.bpf.co.uk/directory
- Dorai, R., & Kushner, M. J. (2002). Atmospheric Pressure Plasma Processing. Urbana. Diakses 7 April 2007 dari <http://uigelz.ece.uiuc.edu>.
- Farida. (2001). *Pengaruh Penambahan Polyethylene Glycol Pada Fotokatalis TiO₂ Untuk Reduksi CO₂ Secara Fotokatalitik*, Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik UI, Depok.
- Fernandez et al. (1995). Preparation and Characterization of TiO₂ Photocatalysts Supported on Various Rigid Supports (Glass, Quartz, and Stainless Steel). Comparative Studies of Photocatalytic Activity in Water Purification. *Appl Catal. B: Environmental* 7, 49-63.
- Fogler, H. S. (1999). *Elements of Chemical Reaction Engineering 3th Edition*. New Jersey: Prentice Hall.
- Gan, W. Y., et al. (2007). Novel TiO₂ Thin Film with non-UV Activated Superwetting and Antifogging Behaviours. *J. of Mater. Chem* 17, 952-954.
- “Green Millenium Photo-Catalyst”. (2003). Diakses tanggal 7 April 2007, dari www.greenmillennium.com/tio2eff1.htm



- Guan, K., Lu, B., Yin, Y. (2003). Enhanced Effect and Mechanism of SiO₂ Addition in Super-Hydrophilic Property of TiO₂ Films. *Surf. Coat. Technol.* 173 , 219-223.
- Guo et al. (2004). Photocatalytic Effect of the Sol-Gel Derived Nanoporous TiO₂ Transparent Thin Films. *Thin Solid Films*, 479, 310-315.
- Halleyan D. A., C. (2008). *Sintesis Nano TiO₂ dengan Prekursor TiCl₄ Menggunakan Metode Sol-Gel dan Kristalisasi Dingin Untuk Aplikasi Anti Kabut*, Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik UI, Depok
- Hermann, J. (1999). Water Treatment By Heterogeneous Photocatalysis. In F. a. Jassen, *Environmental Catalysis* (pp. 171-191). Singapore: Imperial College Press.
- “Introducing Solarclean Protective Coating for Self-Cleaning Buildings”. (2004). Diakses tanggal 7 April 2007, dari www.greentitan.com.
- Lee, K., et al. (2006). Hydrothermal Synthesis and Photocatalytic Characterizations of Transition Metals Doped Nano TiO₂ Sols. *J. Catal* , B, 109-115.
- Liu, X. et al.(2000). An Improvement on Sol-gel Method for Preparing Ultrafine and Crystallized Titania Powder. *J. Catal* , A 289, 241-245.
- Licciulli, D. A. (2002). *Self Cleaning Glass*. Universa Degli Studi di Lecce.
- Miki, T. et al. (2004). Preparation of Thick Film with Large Surface Area Using Aqueous Sol with Polyethylene Glycol. *Mater. Sci.* , 699-701.
- Nicula, R. et al. (n.d.). *Pressure-Assisted Sintering of Nanostructured Titanium Dioxide Sol-Gel Derived Powders* . Diakses 19 Mei 2007 dari http://www.swt_informatik_uni-rostock_de-englisch-projekte-NM_Uni-Reports-Nicula-fig1_tioag_gif.htm.
- “Preparation of Catalyst Supports and Supported Catalyst (3 hours)”. (n.d.). Diakses tanggal 14 April 2007, dari http://edu.chem.tue.nl/6km10/sheets/SET-slides_lecture9.pdf.
- Polypropylene*. (n.d.). Diakses 17 Maret , 2007, dari <http://www.wikipedia.org/wiki/Polypropylene>
- Richardson, James T.(1982). *Principles of Catalyst Development*. New York: Plenum Press.



- Slamet, Arbianti, R., & Farida. (Juli 2003). Pengaruh Penambahan PEG pada Fotokatalis TiO₂. *Prosiding Seminar Nasional RKP 2003* (pp. G-11.1-G-11.6). Semarang: Teknik Kimia UNDIP.
- Sopyan et al. (1994). Highly Efficient TiO₂ Film Photocatalyst. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 723-726.
- “Spin Coating Theory”. (n.d.). Diakses 14 Januari 2008 dari <http://www.cise.columbia.edu/clean/process/spintheory.pdf>
- Su, C., Hong, B-Y, & Tseng, C.M.. (2004). Sol-gel Preparation and Photocatalysis of Titanium Dioxide. *Catalysis Today*, 96, 119-126.
- Sun, R.-D., Nakajima, A., & Toshiya Watabe, K. H. (2003). Decomposition of Gas-Phase Octamethyltrisiloxane on TiO₂ Thin Film Photocatalyst-Catalytic Activity, Deactivation, and Regeneration. *Thin Solid Film*, A, 203-209.
- “Super Hydrophilic Photocatalyst and Its Application”. (2007). Diakses tanggal 7 April 2007, dari www.toto.com/super-hydrophilic-photocatalyst
- “Surface Energy Calculations”. (2001). Diakses tanggal 9 Juli 2008, dari www.firsttenangstrom.com.
- Wikoxoa, J. P. (2000). *Photooxidation of Organic Wastes Using Semiconductor Nanoclusters*. US. Department of Energy..
- Yu, J. et al. (2001). Preparation and Characterization of Super-Hydrophilic Porous TiO₂ Coating Film. *Material Chemistry and Physics*, 68, 253-259.



LAMPIRAN 1

HASIL PENGUKURAN SUDUT KONTAK

1.1. Plastik PP dengan Variasi Waktu Penyinaran Sinar UV-C

Waktu (menit)	0 Jam	0,5 Jam	1 Jam	2 Jam	3 Jam	4,5 Jam
0	73	53	59	43	41	50
1	70	48	54	40	38	47
2	67	45	51	40	35	44
3	64	41	48	37	32	41
4	60	39	45	34	28	37
5	58	35	41	29	25	34
6	55	31	36	26	22	30
7	52	27	33	22	18	26
8	51	24	28	18	15	23
9	50	18	25	16	12	19
10	50	14	19	11	8	14

1.2. Plastik PP 4,5 Jam dengan Variasi Waktu Preparasi

Waktu (menit)	16-Apr	9-Apr	26-Mar
0	73	58	59
1	70	53	56
2	67	49	52
3	64	45	47
4	60	41	43
5	58	37	40
6	55	32	34
7	52	29	30
8	51	24	26
9	50	20	18
10	50	13	16

1.3. Variasi Kondisi Pemanasan 12 Jam dengan Pelapisan Larutan Sol dan Aditif PEG 2000 pada Kaca Preparat

Waktu (menit)	Soda Lime Glass			
	Vakum		Non Vakum	
	Tanpa UV	Dengan UV	Tanpa UV	Dengan UV
0	15	15	33	33
1	12	12	27	28
2	11	11	24	25
3	9	8	21	23
4	8	6	17	20
5	6	4	14	15
6	5	2	11	11
7	4	0	8	8
8	0		6	5
9			0	0
10				
11				
12				
13				
14				

1.4. Variasi Penambahan PEG pada Plastik dengan Pemanasan Non Vakum 12 Jam

Waktu	PEG 1000		PEG 2000		PEG 6000	
	Tanpa UV	Dengan UV	Tanpa UV	Dengan UV	Tanpa UV	Dengan UV
0	70	69	65	65	40	40
1	67	66	60	54	38	33
2	65	64	56	50	35	30
3	63	61	51	47	32	27
4	60	57	47	42	27	24
5	57	53	44	36	24	21
6	55	50	40	34	21	17
7	52	47	34	30	17	15

LAMPIRAN 1

8	49	43	30	25	13	11
9	46	38	25	22	9	6
10	43	35	20	18	4	3
11	40	31	15	14	0	0
12	36	25	10	8		
13	32	21	5	0		
14	29	16	0	0		
15	26	13				
16	22	0				
17	18					
18	15					
19	0					

1.5. Variasi Kondisi Pemanasan 12 Jam dengan Metode Pelapisan Larutan Sol pada Plastik PP

Waktu (menit)	PEG 2000				PEG 6000			
	Vakum		Non Vakum		Vakum		Non Vakum	
	Tanpa UV	Dengan UV	Tanpa UV	Dengan UV	Tanpa UV	Dengan UV	Tanpa UV	Dengan UV
0	55	52	65	65	48	50	40	40
1	49	46	60	54	45	45	38	33
2	46	43	56	50	41	41	35	30
3	43	41	51	47	37	38	32	27
4	39	37	47	42	32	31	27	24
5	36	34	44	36	27	26	24	21
6	33	31	40	34	23	22	21	17
7	30	28	34	30	20	18	17	15
8	26	23	30	25	14	13	13	11
9	22	19	25	22	10	9	9	6
10	18	15	20	18	5	5	4	3
11	15	10	15	14	0	0	0	0
12	10	6	10	8				
13	6	0	5	0				
14	0		0	0				

LAMPIRAN 1

1.6. Variasi Pelapisan Serbuk Katalis pada Support Plastik dengan Konsentrasi Berbeda

Waktu (menit)	P25				TiO ₂ dari Prekursor TiCl ₄			
	0,1 M		0,0125 M		0,1 M		0,0125 M	
	Tanpa UV	Dengan UV	Tanpa UV	Dengan UV	Tanpa UV	Dengan UV	Tanpa UV	Dengan UV
0	4	4	37	35	20	22	46	48
1	2	1	34	29	16	20	40	44
2	1	0	30	26	14	16	37	39
3	0		28	24	12	14	32	35
4			24	22	10	12	28	30
5			22	18	7	9	24	25
6			18	15	5	7	18	20
7			16	13	3	3	14	15
8			12	10	0	0	10	10
9			10	7			5	4
10			6	0			0	0
11			0	0				

1.7. Variasi Support Plastik pada Metode Pelapisan Larutan Sol dengan Aditif PEG 2000 dan Pemanasan Non Vakum

Waktu (menit)	Plastik 4,5 Jam		Plastik 0,5 Jam	
	Tanpa UV	Dengan UV	Tanpa UV	Dengan UV
0	65	65	59	50
1	60	54	56	43
2	56	50	52	39
3	51	47	50	37
4	47	42	47	34
5	44	36	43	30
6	40	34	39	27
7	34	30	37	24
8	30	25	33	20
9	25	22	30	17
10	20	18	26	15
11	15	14	21	12

LAMPIRAN 1

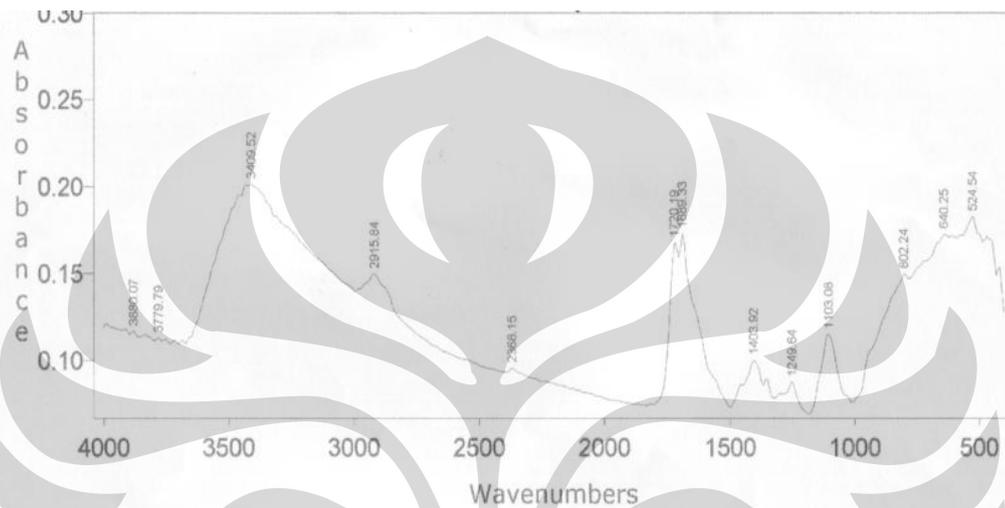
12	10	8	17	7
13	5	0	14	4
14	0		10	0
15			6	
16			2	
17			0	

1.7. Variasi *Support* pada Metode Pelapisan Serbuk TiO₂ dengan Aditif PEG 2000 dan Pemanasan Non Vakum

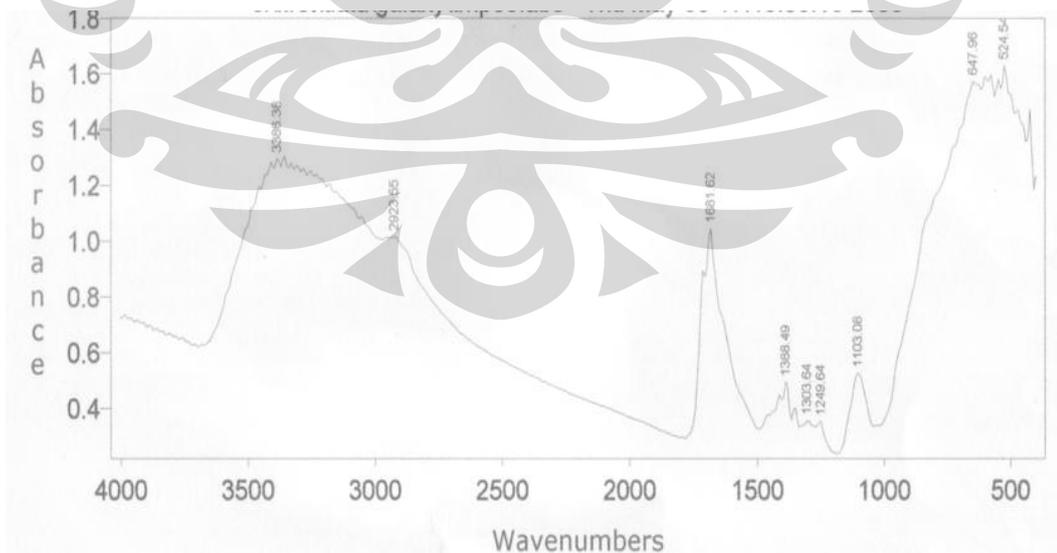
Waktu (menit)	Kaca		Plastik	
	Tanpa UV	Dengan UV	Tanpa UV	Dengan UV
0	22	22	20	22
1	18	18	16	20
2	15	15	14	16
3	13	13	12	14
4	10	7	10	12
5	6	4	7	9
6	4	2	5	7
7	2	0	3	3
	0		0	0

LAMPIRAN 2. HASIL KARAKTERISASI FTIR

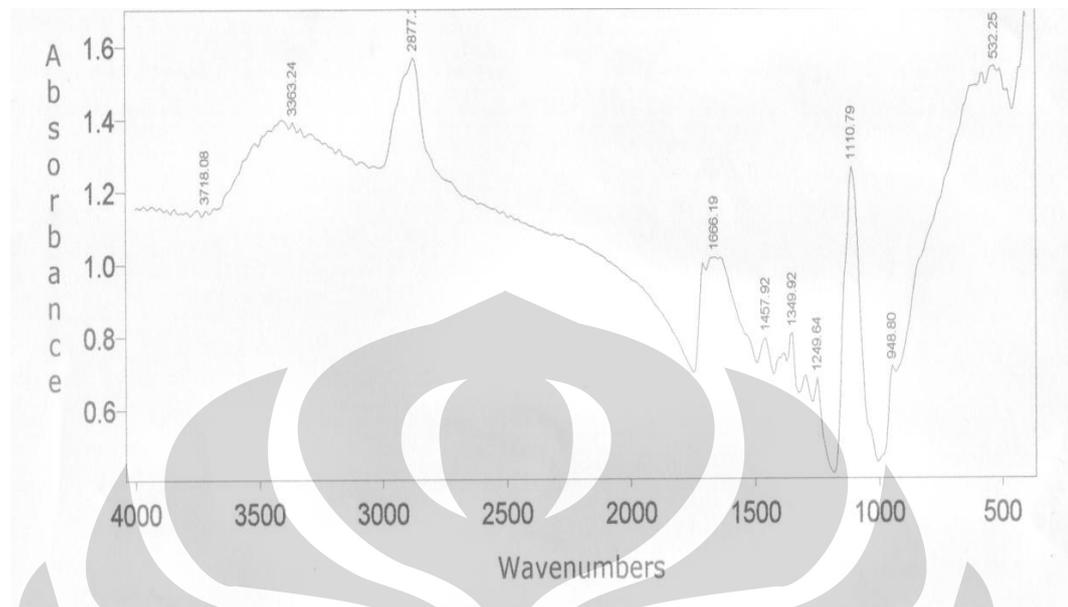
2.1. PEG 1000



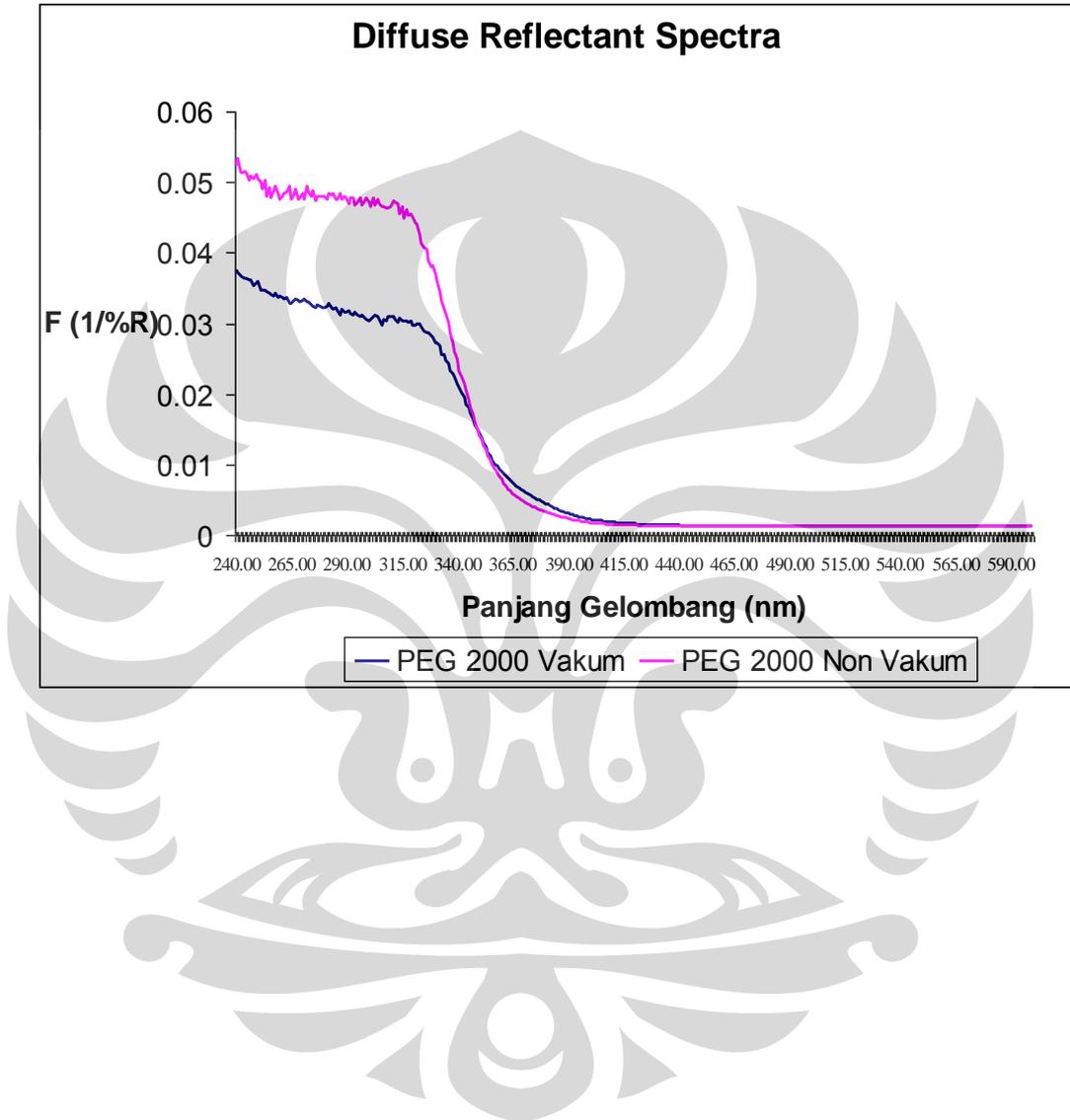
2.2. PEG 2000



2.3. PEG 6000



LAMPIRAN 3.
HASIL KARAKTERISASI DRS



**LAMPIRAN 4.
HASIL KARAKTERISASI TEM**

