



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**DEGRADASI LIMBAH DETERJEN (SENYAWA LINEAR  
ALKILBENZENA SULFONAT) DENGAN FOTOKATALIS  
KOMPOSIT BERBASIS TiO<sub>2</sub> DAN BATU APUNG**

**SKRIPSI**

**CATUR NITYA VINAYA NATAWIDHA  
0806332894**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JULI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**DEGRADASI LIMBAH DETERJEN (SENYAWA LINEAR  
ALKILBENZENA SULFONAT) DENGAN FOTOKATALIS  
KOMPOSIT BERBASIS  $TiO_2$  DAN BATU APUNG**

**SKRIPSI**

**CATUR NITYA VINAYA NATAWIDHA**

**0806332894**

**“Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar”**

**“Sarjana Teknik”**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA**

**DEPOK**

**JULI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Catur Nitya Vinaya Natawidha**

**NPM : 0806332894**

**Tanda Tangan :** 

**Tanggal : 3 Juli 2012**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

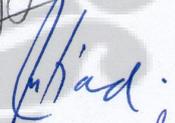
Nama : Catur Nitya Vinaya Natawidha  
NPM : 0806332894  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul Skripsi : Degradasi Limbah Deterjen (Senyawa Linear Alkilbenzena Sulfonat) dengan Fotokatalis Komposit Berbasis TiO<sub>2</sub> dan Batu Apung

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing: Prof. Dr. Ir. Slamet, MT (  )

Penguji: M. Ibadurrohman, ST, MT, MSc. Eng (  )

Penguji: Dr. Ir. Setiadi, M.Eng (  )

Penguji: Dr. Muhamad Sahlan, Ssi., M.Eng (  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 3 Juli 2012

## KATA PENGANTAR

Puji syukur Penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yesus Kristus karena atas rahmat dan bimbingan-Nya Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi yang berjudul **“Degradasi Limbah Deterjen (Senyawa Linear Alkilbenzena Sulfonat) dengan Fotokatalis Komposit Berbasis TiO<sub>2</sub> dan Batu Apung”** dibuat untuk memenuhi tugas mata kuliah skripsi sebagai salah satu syarat kelulusan Sarjana Teknik Kimia.

Pada penyusunan skripsi ini, Penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak. Secara khusus penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Prof. Dr. Ir. Slamet, MT selaku pembimbing yang telah banyak membantu dalam memberikan ilmu, arahan serta hal-hal lain baik dalam penelitian maupun pembuatan skripsi ini. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir Widodo W. Purwanto, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Kimia.
2. Orang tua dan saudara yang selalu memberikan dukungan dalam doa dan materi.
3. Pihak DIKTI dan Pak Agung Sri Hendarsa yang memberikan bantuan dana untuk penelitian ini.
4. Santoso yang selalu menemani dan memberikan semangat setiap saat.
5. Teman-teman Departemen Teknik Kimia yang telah memberikan semangat, bantuan, dan hiburan.
6. Kang Jajat dan semua staff di Badan Teknologi Lingkungan BPPT Serpong serta pihak-pihak yang tidak disebutkan yang telah memberikan pengetahuan dan bantuan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna. Penulis berharap tulisan ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Depok, 3 Juli 2012

Penulis

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

---

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

Nama : Catur Nitya Vinaya Natawidha  
NPM : 0806332894  
Program Studi : Teknik Kimia  
Departemen : Teknik Kimia  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

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

**“Degradasi Limbah Deterjen (Senyawa Linear Alkilbenzena Sulfonat)  
dengan Fotokatalis Komposit Berbasis TiO<sub>2</sub> dan Batu Apung”**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 3 Juli 2012

Yang menyatakan,



(Catur Nitya Vinaya Natawidha)

## ABSTRAK

Nama : Catur Nitya Vinaya Natawidha  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Degradasi Limbah Deterjen (Senyawa Linear Alkilbenzena Sulfonat) dengan Fotokatalis Komposit Berbasis TiO<sub>2</sub> dan Batu Apung

Pengaruh fotokatalis komposit berbasis TiO<sub>2</sub> dan batu apung dalam mendegradasi senyawa Linear Alkilbenzena Sulfonat (LAS) telah diinvestigasi. Prekursor yang digunakan adalah TiO<sub>2</sub> P25 yang diberi dopan C dan CuO serta penggunaan batu apung sebagai penyangga. Penelitian ini mencakup variasi dopan, komposisi CuO, perbedaan sumber foton, dan waktu degradasi agar didapat fotokatalis yang aktif serta bekerja optimal untuk degradasi LAS. Konsentrasi LAS sesudah degradasi dianalisis dengan Spektrofotometer UV-Vis dengan metode MBAS (*Methylene Blue Active Substance*). Hasil analisis menunjukkan fotokatalis 1%CuO-TiO<sub>2</sub> adalah fotokatalis dengan komposisi CuO yang paling optimal dengan tingkat degradasi lebih dari 94% setelah 20 menit reaksi menggunakan sinar UV-A. Dopan C mampu meningkatkan aktivitas TiO<sub>2</sub> di bawah sinar tampak dengan tingkat degradasi lebih dari 85% setelah 20 menit reaksi menggunakan lampu merkuri sebagai sumber foton.

Kata kunci: Limbah, Deterjen, Linear Alkilbenzena Sulfonat, Fotokatalisis, TiO<sub>2</sub>, CuO, karbon, Batu Apung

## ABSTRACT

Name : Catur Nitya Vinaya Natawidha  
Study Programme : Chemical Engineering  
Title : Degradation of Detergent Waste (Linear Alkylbenzene Sulfonate compound) with Composite Photocatalysts Based on TiO<sub>2</sub> and Pumice Stone

Effects of composite photocatalysts based on TiO<sub>2</sub> and pumice stone for degradation of Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) compound had been investigated in this research. The precursor was TiO<sub>2</sub> P25 doped by carbon and CuO and also used pumice stone as support. This research investigated dope variation, CuO composition, different photon source, and degradation time to get photocatalyst which are active and give optimum work for degradation of Linear Alkylbenzene Sulfonate. The concentration of Linear Alkylbenzene Sulfonate after degradation was analyzed by UV-Vis Spectrophotometre with MBAS (Methylene Blue Active Substance) method. The results showed that 1%CuO-TiO<sub>2</sub> photocatalyst is the most optimum CuO doped photocatalyst with degradation degree was more than 94% after 20 minutes reaction with UV-A light. C doped could enhance TiO<sub>2</sub> activity under visible light with degradation degree was more than 85% after 20 minutes reaction with mercury lamp.

Keywords: waste, detergent, Linear Alkylbenzene Sulfonate, photocatalytic, TiO<sub>2</sub>, CuO, carbon, pumice stone

## DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .. <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
HALAMAN PENGESAHAN .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	vi
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMI <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Sistematika Penulisan .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	6
2.1 Senyawa LAS (Linear Alkilbenzena Sulfonat) .....	6
2.2 Batu Apung sebagai Penyangga .....	9
2.3 Semikonduktor TiO <sub>2</sub> .....	11
2.4 Prinsip Dasar Fotokatalisis dalam Proses Degradasi Senyawa LAS .....	13
2.5 Usaha Peningkatan Aktivitas Fotokatalisis .....	15
2.6 Pengujian Konsentrasi LAS dengan Metode MBAS ( <i>Methylene Blue Active Substances</i> ) .....	17

2.6.1 Ruang lingkup .....	18
2.6.2 Istilah dan definisi .....	18
2.6.3 Cara uji.....	19
2.6.4 Persiapan pengujian.....	19
2.6.5 Prosedur uji .....	21
2.7 Karakterisasi Katalis .....	21
2.7.1 Karakterisasi XRD ( <i>X –ray Diffraction</i> ).....	22
2.7.2 Karakterisasi DRS ( <i>Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> ) .....	23
2.7.3 Karakterisasi SEM.....	24
BAB III METODE PENELITIAN .....	25
3.1 Diagram Penelitian Keseluruhan .....	25
3.2 Alat dan Bahan.....	26
3.2.1 Alat .....	26
3.2.2 Bahan .....	26
3.3 Prosedur Penelitian.....	27
3.3.1 Sintesis Fotokatalis .....	27
3.3.1.1 Sintesis Fotokatalis CuO-TiO <sub>2</sub> .....	27
3.3.1.2 Pembuatan Katalis C-TiO <sub>2</sub> .....	28
3.3.1.3 Pembuatan Katalis C-CuO-TiO <sub>2</sub> .....	28
3.3.1.4 Pemberian TEOS .....	29
3.3.2 Perlakuan Awal Penyangga .....	29
3.3.3 Impregnasi Katalis ke Penyangga dengan Metode <i>Dip Coating</i> .....	30
3.3.4 Karakterisasi Katalis.....	30
3.3.5 Uji Kinerja Fotokatalis .....	31
3.3.6 Variabel Penelitian .....	32
3.3.6.1 Variabel bebas .....	32

3.3.6.2 Variabel terikat .....	32
3.3.6.3 Variabel kontrol.....	33
3.3.7 Teknik Pengambilan Data .....	33
3.3.8 Teknik Pengolahan dan Analisis Data.....	33
3.3.8.1. Kadar Surfaktan Anionik (mg/L) .....	33
3.3.8.2 Karakterisasi Fotokatalis.....	33
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>34</b>
4.1 Uji batu apung tanpa katalis .....	34
4.2 Karakterisasi Katalis .....	35
4.2.1 XRD.....	35
4.2.2 SEM-EDS .....	36
4.2.3 UV-Vis DRS .....	38
4.3 Pengaruh variasi komposisi dopan CuO.....	41
4.4 Pengaruh dopan C dan sumber foton .....	43
4.5 Pengaruh variasi konsentrasi awal senyawa LAS.....	46
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>50</b>
5.1 KESIMPULAN.....	49
5.2 SARAN.....	49
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>51</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>55</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Komposisi penggunaan air di rumah (Water Corporation, 2002) .....	1
Gambar 2. 1. Gambar molekul linear alkilbenzena sulfonat (European Chemical Industry Council, 2000) .....	6
Gambar 2. 2. Pembuatan LAS (European Chemical Industry Council, 2000) .....	7
Gambar 2. 3. Pemakaian surfaktan (European Chemical Industry Council, 2000).	7
Gambar 2. 4. Mikrograf dari batu apung berbentuk pellet (perbesaran 250): (a) batu apung biasa; (b) diimpregnasi dengan TiO <sub>2</sub> P25. (Rao, 2003)...	10
Gambar 2. 5. Molekul TEOS (a) Gambar 3D (www.amarketplaceofideas.com), (b) Struktur Molekul TEOS (www.timedomaincvd.com) .....	11
Gambar 2. 6. Struktur kristal anatase TiO <sub>2</sub> (Licciulli, 2002) .....	11
Gambar 2. 7. Struktur kristal rutil TiO <sub>2</sub> (Licciulli, 2002) .....	12
Gambar 2. 8. Posisi energi potensial beberapa semikonduktor (Grätzel, 2001). ..	12
Gambar 2. 9. Skema fotoeksitasi pada semikonduktor (Licciulli, 2002).....	15
Gambar 2. 10 Mekanisme fotokatalisis TiO <sub>2</sub> : hv <sub>1</sub> : TiO <sub>2</sub> murni; hv <sub>2</sub> : TiO <sub>2</sub> berdopan logam, dan hv <sub>3</sub> :TiO <sub>2</sub> berdopan non logam (Zaleska, 2008).....	17
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian keseluruhan.....	25
Gambar 3. 2 Diagram alir sintesis fotokatalis CuO-TiO <sub>2</sub> .....	27
Gambar 3. 3 Diagram alir sintesis fotokatalis C-TiO <sub>2</sub> .....	28
Gambar 3. 4 Diagram alir sintesis fotokatalis C-CuO-TiO <sub>2</sub> .....	28
Gambar 3. 5 Diagram alir pemberian TEOS.....	29
Gambar 3. 6 Diagram alir perlakuan awal penyangga.....	29
Gambar 3. 7 Diagram alir impregnasi katalis ke penyangga .....	30
Gambar 3. 8 Skema Kotak Uji Kinerja Fotokatalis .....	31
Gambar 4. 1 Degradasi LAS dengan batu apung tanpa katalis dan dengan fotokatalis TiO <sub>2</sub> P25 .....	34
Gambar 4. 2 Hasil XRD katalis 3%CuO-TiO <sub>2</sub> .....	35
Gambar 4. 3 Hasil SEM batu apung perbesaran 500: a. tanpa katalis; b. dengan fotokatalis TiO <sub>2</sub> P25; c. dengan fotokatalis C-TiO <sub>2</sub> ; d. dengan fotokatalis C-CuO-TiO <sub>2</sub> .....	37

Gambar 4. 4 Hasil SEM batu apung perbesaran 2500: a. tanpa katalis; b. dengan fotokatalis $\text{TiO}_2$ P25; c. dengan fotokatalis C- $\text{TiO}_2$ ; d. dengan fotokatalis C-CuO- $\text{TiO}_2$ .....	37
Gambar 4. 5 Perbandingan absorbansi katalis C- $\text{TiO}_2$ dengan $\text{TiO}_2$ P25 .....	39
Gambar 4. 6 Perbandingan reflektansi katalis C- $\text{TiO}_2$ dengan $\text{TiO}_2$ P25 .....	40
Gambar 4. 7 Hasil perhitungan <i>bandgap</i> untuk katalis $\text{TiO}_2$ P25 .....	40
Gambar 4. 8 Hasil perhitungan <i>bandgap</i> untuk katalis C- $\text{TiO}_2$ .....	41
Gambar 4. 9 Pengaruh variasi komposisi dopan CuO terhadap degradasi LAS ...	42
Gambar 4. 10 Aktivitas fotokatalis CuO- $\text{TiO}_2$ pada 20 menit pertama .....	43
Gambar 4. 11 Pengaruh dopan C terhadap degradasi LAS dengan sumber foton lampu merkuri .....	44
Gambar 4. 12 Pengaruh dopan C terhadap degradasi LAS dengan sumber foton	44
Gambar 4. 13 Pengaruh perbedaan sumber foton dengan fotokatalis C- $\text{TiO}_2$ .....	45
Gambar 4. 14 Pengaruh perbedaan sumber foton dengan fotokatalis $\text{TiO}_2$ P25 ...	46
Gambar 4. 15 Pengaruh variasi konsentrasi awal LAS terhadap degradasi LAS .	47
Gambar 4. 16 Efek variasi konsentrasi awal LAS terhadap efisiensi degradasi LAS.....	47

## DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Berat dan ukuran kristal katalis.....	36
Tabel 4. 2 Hasil EDS batu apung.....	38



## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A. HASIL PENGUJIAN KONSENTRASI SENYAWA LINEAR ALKILBENZENA SULFONAT DENGAN METODE MBAS.....	55
LAMPIRAN B. DATA KARAKTERISASI UV-VIS DRS .....	56
LAMPIRAN C. FOTO KEGIATAN .....	64

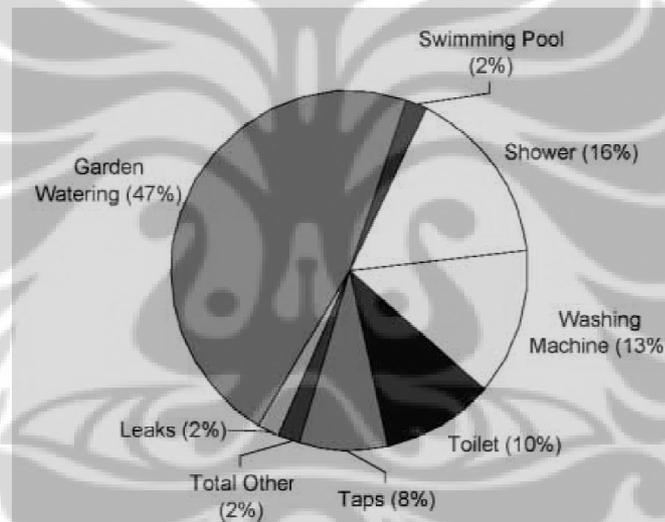


# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Tingkat pencemaran air sungai di berbagai daerah di Indonesia sangat tinggi. Sepanjang tahun 2010 terjadi 79 kasus pencemaran lingkungan yang mencemari 65 sungai di Indonesia (2011). Asian Development Bank (2008) pernah menyebutkan pencemaran air di Indonesia menimbulkan kerugian Rp 45 triliun per tahun. Kelangkaan air bersih sekarang ini menjadi salah satu masalah di dunia. Kenaikan jumlah penduduk membuat kebutuhan air semakin meningkat (Retno, 2009). Rata-rata orang di rumah menggunakan 337 kiloliter air per tahun atau sekitar 1000 liter per hari untuk berbagai kebutuhan.



Gambar 1. 1. Komposisi penggunaan air di rumah (Water Corporation, 2002)

Salah satu sumber pencemar air sungai di Indonesia adalah Linear Alkilbenzena Sulfonat (LAS) yang terkandung dalam limbah deterjen rumah tangga dan beberapa industri, seperti industri tekstil dan fiber, bahan kimia, dan pertanian (Retno, 2009). Berdasarkan penelitian di salah satu sungai di Malang, konsentrasi LAS sebesar 20-30 mg/L dan di air limbah *laundry* sebesar 100,3 mg/L (Retno, 2009). Padahal, menurut Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 907/MENKES/SK/VII/2002, kandungan LAS yang diperbolehkan untuk kualitas air minum sebesar 0,05 mg/L.

LAS yang merupakan surfaktan anionik (Prats, 1997; Maryani, 2010) banyak dipakai karena sifatnya yang unggul dalam membersihkan, memiliki kestabilan kimia, mudah terurai secara alami dan harganya ekonomis. Namun, LAS hanya dapat terurai dalam kondisi aerob (cukup oksigen dan mikroorganisme) dan proses degradasi secara alami membutuhkan waktu yang cukup lama (S. Retno, 2009). Nilai ambang batas tertinggi deterjen dalam air adalah 100 ppm (pada konsentrasi ini ikan mati 100%) (Zahri, 2004).

Terdapat tiga proses pengolahan limbah secara konvensional, yaitu secara kimia, fisika, dan biologi. Pengolahan limbah secara fisika, hanya mengubah bentuk limbah sehingga terbentuk *secondary waste* yang membutuhkan pengolahan limbah lebih lanjut (Stylidi, et al., 2003).

Penggunaan zat kimia untuk mengolah limbah dapat menyebabkan kerusakan limbah dan penggunaan dalam kapasitas besar untuk mengolah jumlah limbah yang besar dapat menyebabkan harga pengolahan limbah menjadi tidak ekonomis (Stylidi, et al., 2003).

Pengolahan limbah secara biologi yang menggunakan katalis mikroba menghasilkan beberapa produk yang tidak dapat diuraikan menjadi molekul sederhana. Walaupun bisa, membutuhkan sistem pengolahan limbah lagi. Hasil pengolahan limbah juga dapat bersifat karsinogenik dan untuk pengolahan limbah yang beracun, limbah tersebut tidak dapat diolah bahkan terkadang malah membunuh mikroba pengolah limbah tersebut (Chen, 1999).

Karena pengolahan limbah secara konvensional mempunyai beberapa kekurangan, maka diperlukan metode pengolahan limbah yang lebih efektif dengan menggunakan teknologi masa depan. Salah satu teknologi tersebut adalah pengolahan limbah dengan metode fotokatalisis.

Beberapa tahun terakhir sudah mulai bermunculan penelitian untuk mendegradasi limbah deterjen dengan menggunakan proses fotokatalisis. Toshiyuki Oyama (2004) meneliti efek dari TiO<sub>2</sub> loading, sirkulasi laju alir, dan pH reaktan dari degradasi deterjen komersial di bawah iradiasi dengan alat pengumpul sinar matahari. Parameter operasi optimal didapatkan pada kondisi TiO<sub>2</sub> loading 6 g/L, sirkulasi laju alir 4,9 l per min, dan pH 4,9. Wooseok Nam (2008) mendegradasi surfaktan anionik, yaitu *sodium lauryl sulfate* menggunakan

fotokatalis  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  dalam sebuah *three-phase fluidized bed reactor*. Surfaktan anionik lain, yaitu *dodecyl-benzenesulfonate* (DBS) dapat didegradasi sebesar 93% oleh fotokatalis 5%  $\text{TiO}_2\text{-Cu}_2\text{O}$  (Han, 2008).

Untuk degradasi senyawa LAS sendiri, Mehrvar (2005) melakukan penelitian menggunakan fotokatalis  $\text{TiO}_2$  Degussa P-25 dan Hombikat UV 100. Hasilnya adalah fotoaktivitas untuk Degussa P-25 lebih tinggi dibandingkan UV 100 dengan menggunakan lampu UV. Degradasi LAS dengan katalis  $\text{TiO}_2$  Degussa P-25 juga menunjukkan penyisihan terbesar, 84,98% dalam waktu 4 jam, dibanding katalis  $\text{TiO}_2$  Merck, *immobilized*  $\text{TiO}_2$  Degussa P-25-silica gel, *immobilized*  $\text{TiO}_2$  Merck-silica gel. Penelitian ini juga menggunakan lampu UV-Hg 300-400 nm (Maryani, 2010).

Fotokatalis berupa  $\text{TiO}_2$  ternyata tidak aktif di bawah sinar tampak. Di bawah sinar matahari, hanya sekitar 4% cahaya yang dapat mengaktifkan  $\text{TiO}_2$ . Selain itu, reaksi rekombinasi antara *electron* dan *hole* juga sering terjadi sehingga menghambat aktivitas fotokatalis.

Penambahan dopan non-logam berfungsi untuk memodifikasi *band gap energy*  $\text{TiO}_2$  sehingga dapat aktif terhadap sinar tampak. Penelitian mengenai pemberian dopan C pada  $\text{TiO}_2$  menunjukkan bahwa aktivitas fotokatalis  $\text{TiO}_2$  meningkat dengan nilai *bandgap* ( $E_g$ ) yang turun menjadi 3,0eV dari 3,2 eV dengan sumber karbon adalah alkohol. (Kusiak-Nejman, 2010).

Dopan logam mampu mengurangi reaksi rekombinasi antara *electron* dan *hole*. Dibandingkan dengan emas, logam Cu lebih banyak mendapatkan perhatian karena aktivitas katalitik yang bagus dan harganya yang murah. Dalam degradasi fotokatalitik dalam oksidasi berbagai molekul organik, Cu- $\text{TiO}_2$  menunjukkan aktivitas fotokatalitik yang bagus. (Manivel, 2010)

Dilaporkan juga bahwa permukaan yang berporous seperti batu apung dapat diimpregnasi dengan  $\text{TiO}_2$  dan digunakan sebagai *immobilized photocatalyst* (Rao, 2002). Batu apung dapat menjaga katalis tetap terapung di atas air sehingga dapat terus mendapat sumber energi foton dari sinar matahari.

Pada penelitian ini senyawa Linear Alkilbenzena Sulfonat akan didegradasi dengan modifikasi fotokatalis  $\text{TiO}_2$  agar mampu teraktivasi di bawah sinar tampak dan mengurangi reaksi rekombinasi. Penelitian ini menggunakan

senyawa LAS sebagai bahan baku, katalis  $\text{TiO}_2$  dengan dopan CuO dan C, dan batu apung sebagai penyangga. Hasil penelitian dianalisis menggunakan spektrofotometer UV/vis dengan sistem MBAS dan parameter yang diukur adalah konsentrasi LAS sebelum dan setelah proses fotokatalisis.

Proses pengolahan air limbah deterjen ini dapat menjadi salah satu solusi masalah nasional tentang pencemaran air sungai. Dengan didapatnya air bersih dari pengolahan ini dapat menjadi solusi bagi beberapa daerah di Indonesia yang mengalami kekurangan air bersih.

## 1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui aktivitas katalis komposit modifikasi  $\text{TiO}_2$  pada degradasi LAS. Komposit katalis tersebut adalah C- $\text{TiO}_2$ , CuO- $\text{TiO}_2$ , dan C-CuO- $\text{TiO}_2$ . Selain itu, juga akan diteliti komposisi optimum fotokatalis CuO- $\text{TiO}_2$  dan pengaruh foton dalam mendegradasi senyawa LAS.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan umum dari penelitian ini ialah meningkatkan degradasi senyawa LAS dengan penggunaan fotokatalis berbasis  $\text{TiO}_2$  yang telah dimodifikasi. Tujuan khusus yang ingin dicapai adalah

- Menyelidiki pengaruh modifikasi  $\text{TiO}_2$ , yakni dengan pemberian dopan CuO dan C pada  $\text{TiO}_2$ , terhadap aktivitasnya dalam mendegradasi LAS.
- Menyelidiki pengaruh variasi komposisi CuO yang dapat memberikan hasil degradasi LAS yang terbaik.
- Menyelidiki pengaruh foton terhadap aktivitas katalis dalam mendegradasi senyawa LAS.

## 1.4 Batasan Masalah

Berikut ini adalah penjabaran ruang lingkup penelitian ini:

- 1) Senyawa LAS yang didegradasi merupakan senyawa murni.
- 2)  $\text{TiO}_2$  yang digunakan adalah  $\text{TiO}_2$  P25.
- 3) Dopan non logam yang ditambahkan adalah C dengan prekursor 1-propanol.
- 4) Dopan logam yang ditambahkan adalah CuO dengan prekursor  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ .

- 5) Hasil degradasi LAS diukur dengan spektrofotometer UV-vis secara MBAS.
- 6) Produk *intermediate* degradasi LAS tidak dibahas.
- 7) Semua katalis dilapiskan ke batu apung.
- 8) Karakterisasi katalis yang akan dilakukan ialah XRD, SEM/EDS, DRS, dan BET.
- 9) Digunakan lampu Hg dan UV *blacklight lamp* untuk mengaktifkan proses fotokatalisis.

### 1.5 Sistematika Penulisan

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

#### BAB I: PENDAHULUAN

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

#### BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi penjelasan tentang senyawa LAS, batu apung sebagai penyangga, prinsip dasar fotokatalisis dalam proses degradasi senyawa LAS, usaha-usaha meningkatkan aktivitas fotokatalisis, pengujian konsentrasi LAS secara MBAS, dan karakterisasi katalis.

#### BAB III: METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang diagram alir penelitian, bahan dan peralatan yang digunakan dalam penelitian, prosedur penelitian, karakterisasi katalis, uji kinerja fotokatalis, variabel penelitian, teknik pengambilan data, serta teknik pengolahan dan analisis data.

#### BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil dan pembahasan dari penelitian yang berupa uraian dan analisa terhadap data penelitian beserta karakterisasi katalis dalam penyelidikan terhadap variabel-variabel yang mempengaruhi.

#### BAB V: PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan atas penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk penelitian yang akan dilakukan selanjutnya.

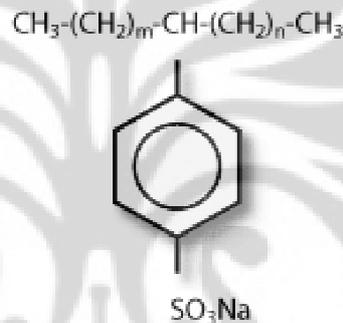
#### DAFTAR PUSTAKA

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Senyawa LAS (Linear Alkilbenzena Sulfonat)

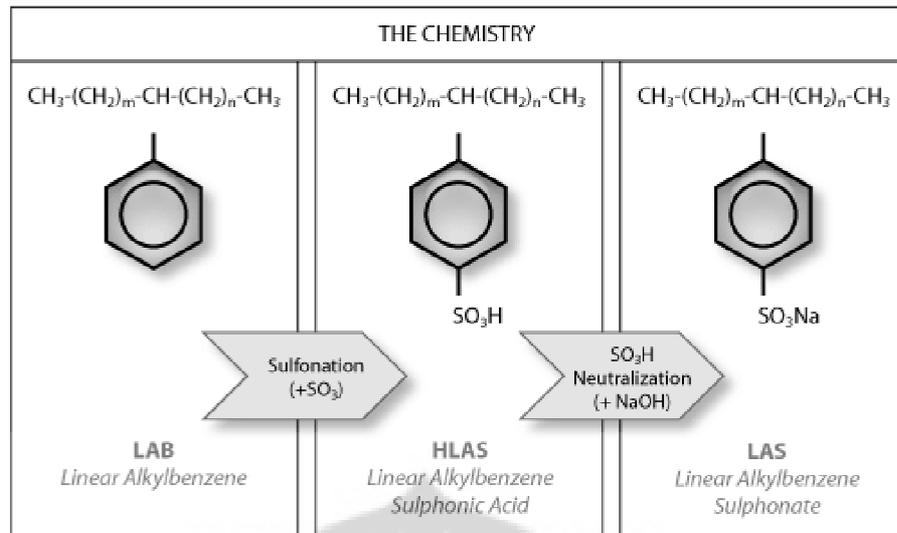
*Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) adalah surfaktan anionik yang merupakan senyawa aktif dalam detergen. Surfaktan mempunyai karakteristik untuk memperkecil tegangan permukaan air. Surfaktan juga berfungsi untuk menjaga kotoran/noda pada kain dalam suspensi selama proses pencucian agar ikut terbuang bersama air limbah proses pencucian. Dalam hal ini, surfaktan membantu dalam beberapa cara untuk mengembangkan kemampuan sabun dan zat pembersih.



**Gambar 2. 1.** Gambar molekul linear alkilbenzena sulfonat (European Chemical Industry Council, 2000)

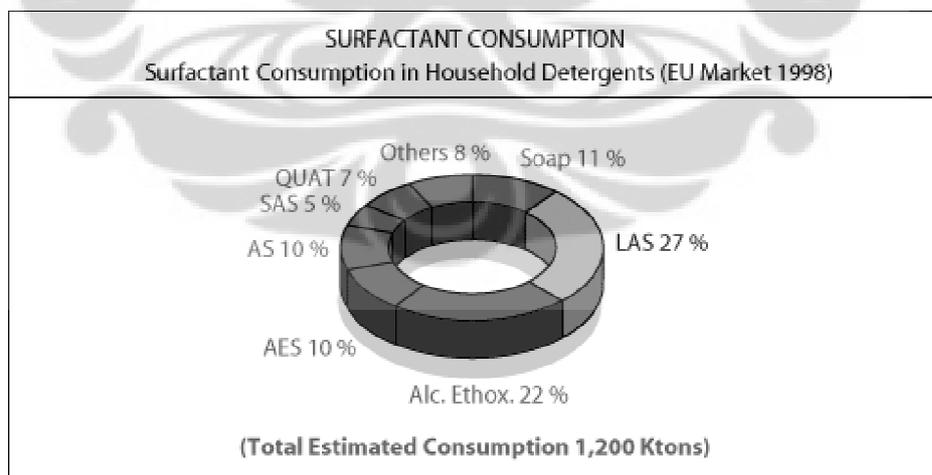
LAS digunakan hampir di semua jenis deterjen dan preparasi pembersihan seperti deterjen bubuk dan deterjen cair baik pada proses pencucian otomatis maupun manual, batang sabun, dan pembersih peralatan rumah.

LAS dikembangkan dari *Linear Alkylbenzene* (LAB). Sekitar 99% produksi LAB di dunia diubah menjadi LAS melalui proses sulfonasi. Dalam banyak kasus LAS digunakan turunan Natrium. LAS dapat digunakan bersama dengan semua tipe deterjen karena kompatibilitasnya yang tinggi.



**Gambar 2. 2.** Pembuatan LAS (European Chemical Industry Council, 2000)

Baik HLAS (Linear Alkylbenzene Sulphonic Acid) sebagai senyawa perantara yang dihasilkan dari pembuatan LAS dan LAS adalah zat kimia yang sangat stabil sehingga dapat disimpan dan ditransportasikan menggunakan material standard dan fasilitas logistik. Dengan kontribusi sekitar 27% dari total konsumsi surfaktan dalam deterjen peralatan rumah tangga, LAS menjadi surfaktan yang paling banyak digunakan dalam deterjen lebih dari 30 tahun.



**Gambar 2. 3.** Pemakaian surfaktan (European Chemical Industry Council, 2000)

LAS merupakan surfaktan anionik yang banyak digunakan karena biaya yang diperlukan relatif rendah, memiliki kinerja yang baik, dan mudah terdegradasi karena memiliki rantai lurus. Rantai lurus ini menyebabkan LAS

bersifat *biodegradable*. Menurut Asosiasi Pengusaha Deterjen Indonesia, 60% surfaktan anionik yang digunakan di Indonesia adalah LAS.

LAS dapat terurai pada kondisi aerob (cukup oksigen dan mikroorganisme). Namun, degradasi secara alami ini membutuhkan waktu yang lama sekitar 9 hari dan hanya mencapai 50% (Sarialam, 2009 dalam S. Retno, 2009). LAS tidak dapat terurai dalam kondisi anaerob (tidak terdapat udara) sehingga LAS tidak dapat terurai dengan kondisi sungai-sungai di Indonesia yang sebagian besar keruh.

Sejak tahun 1990, LAS menjadi perhatian peneliti karena terbukti residu LAS ditemukan pada limbah lumpur yang digunakan untuk lahan pertanian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa LAS terdistribusi predominan dalam air (97,5%), tanah (0,5%) dan sedimen (2%). LAS memasuki tanah pertanian melalui beberapa jalur, yaitu penggunaan limbah padat sebagai pupuk tanah pertanian, penggunaan air limbah untuk irigasi, infiltrasi tanah oleh air limbah atau air sungai yang tercemar tanah, dan penggunaan formulasi pestisida mengandung LAS sebagai zat pengemulsi atau pendispersi. Adanya LAS dalam tanah memiliki dampak merugikan terhadap pertumbuhan bakteri aerobik tertentu, yang dapat mengganggu fungsi tanah pertanian (Budiawan, 2009).

Penggunaan LAS sebagai surfaktan dalam deterjen merupakan penyebab dari penumpukan limbah rumah tangga di sungai dan laut. Busa menumpuk yang dihasilkan LAS ini sulit terurai oleh mikroorganisme sehingga membuat air sungai dan laut menjadi kekurangan oksigen sehingga membahayakan kelangsungan biota yang hidup di dalamnya. Biota sungai dan laut juga bisa cacat akibat mutasi gen (Ariffin, 2007 dalam Maryani, 2010).

Dalam Venhuis (2004) dipaparkan bahwa di Taiwan kurang dari 5% penduduk yang melakukan pengolahan limbah dan limbah di Sungai Lao-Jie mengandung 135  $\mu\text{g}$  LAS/L. Nilai ambang batas tertinggi deterjen dalam air adalah 100 ppm (pada konsentrasi ini ikan mati 100%) (Zahri, 2004). Keputusan Menteri Kesehatan No. PERMENKES R.I. 416/MENKES/PER/IX/1990 menyatakan bahwa kandungan deterjen dalam air bersih tidak boleh lebih dari 0,5 mg/L.

Elsgaard (2001) menyelidiki pengaruh LAS dalam tanah pertanian yang berasal dari limbah. Studi ini menyatakan bahwa LAS memiliki potensi untuk menghambat aktivitas biologi. Holmstrup dan Krough (2001) menemukan bahwa konsentrasi LAS yang lebih tinggi dari 40-60 mg/kg dapat beracun bagi pertumbuhan dan reproduksi hewan invertebrata dalam tanah.

Beberapa penelitian menunjukkan LAS berbahaya untuk proses digesti anaerobik. Penelitian Mosche dan Meyer (2002) menunjukkan 14 mg/L LAS menyebabkan inhibisi sebesar 50% pada degradasi asetat sedangkan 27 mg/L LAS menyebabkan hambatan sebesar 50% pada degradasi propionat.

## 2.2 Batu Apung sebagai Penyangga

Batu apung (pumice) adalah jenis batuan yang berwarna terang, mengandung buih yang terbuat dari gelembung berdinding gelas, dan biasanya disebut juga sebagai batuan gelas vulkanik silikat. Batu apung mengandung  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ , dan  $\text{Cl}$ , dengan pH 5, bobot isi ruah 480 – 960  $\text{kg/cm}^3$ , peresapan air 16,67%, berat jenis 0,8  $\text{gr/cm}^3$ .

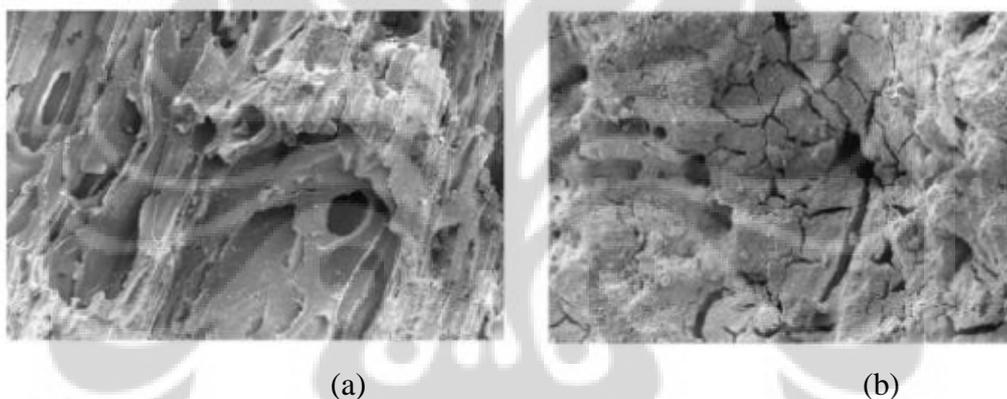
Pumice terbentuk apabila magma asam muncul ke permukaan dan bersentuhan dengan udara luas secara tiba-tiba. Buih gelas alam dengan gas yang terkandung didalamnya mempunyai kesempatan untuk keluar dan magma membeku dengan tiba-tiba. Pumice umumnya terdapat sebagai fragmen yang terlempar pada saat gunung api meletus dengan ukuran dari kerikil sampai bongkah.

Pumice umumnya terdapat sebagai lelehan atau aliran permukaan, bahan lepas, atau fragmen dalam breksi gunung api. Batu apung dapat pula dibuat dengan cara memanaskan obsidian sehingga gasnya keluar. Pemanasan yang dilakukan pada obsidian dari Krakatau memerlukan suhu rata-rata 880°C untuk mengubah obsidian menjadi batu apung. Berat jenis obsidian yang semula 2,36 turun menjadi 0,416 sesudah perlakuan tersebut oleh sebab itu mengapung didalam air.

Pumice berwarna putih abu-abu, kekuningan sampai merah, tekstur vesikuler dengan ukuran lubang yang bervariasi baik berhubungan satu sama lain atau tidak struktur skorious dengan lubang yang terorientasi. Kadang-kadang

lubang tersebut terisi oleh zeolit atau kalsit. Batuan ini tahan terhadap pembekuan embun (frost), tidak begitu higroskopis (mengisap air), mempunyai sifat pengantar panas yang rendah, dan kekuatan tekan antara 30-20 kg/cm<sup>2</sup>.

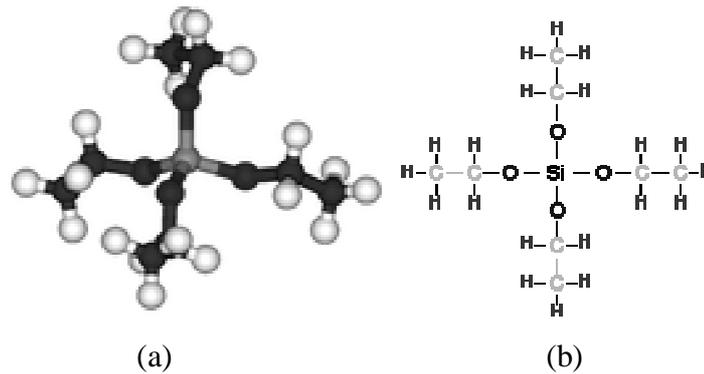
Pengembangan penggunaan TiO<sub>2</sub> sebagai fotokatalis mempunyai hambatan yaitu langkah filtrasi yang susah dan mahal untuk mengeliminasi partikel tipis dan *me-recycle* katalis. Akibatnya, hanya sedikit publikasi evolusi katalis setelah beberapa proses *recycle*. Filtrasi dapat dieliminasi dengan membuat *immobilized photocatalyst* pada penyangga padat (Blake, 1997). Dilaporkan bahwa permukaan yang berporous seperti batu apung dapat diimpregnasi dengan TiO<sub>2</sub> dan digunakan sebagai *immobilized photocatalyst* (Rao, 2003).



**Gambar 2. 4.** Mikrograf dari batu apung berbentuk pellet (perbesaran 250): (a) batu apung biasa; (b) diimpregnasi dengan TiO<sub>2</sub> P25. (Rao, 2003)

Komposisi utama dari pumice ini adalah mineral silikat amorf. Silika sendiri adalah substrat yang potensial untuk struktur kristal anatase (Chuan, 2004). Dengan demikian, efektivitas dan nilai ekonomis fotokatalis TiO<sub>2</sub> berstruktur anatase yang digunakan di bawah sinar tampak menjadi lebih tinggi.

TEOS dapat digunakan sebagai sumber SiO<sub>2</sub> yang berfungsi sebagai perekat antara TiO<sub>2</sub> dengan preparatnya (Slamet, 2009). Dalam penelitian ini TEOS digunakan untuk merekatkan fotokatalis TiO<sub>2</sub> dengan batu apung karena komposisi utama batu apung adalah silika. TEOS (tetraethyl orthosilicate) memiliki rumus molekul Si(OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>4</sub>. Biasanya digunakan sebagai *crosslinking agent* dalam polimer bersilika (Bulla, 1998).

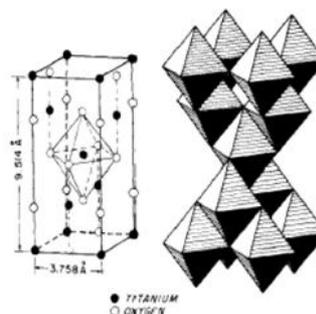


**Gambar 2. 5.** Molekul TEOS (a) Gambar 3D ([www.amarketplaceofideas.com](http://www.amarketplaceofideas.com)), (b) Struktur Molekul TEOS ([www.timedomaincvsd.com](http://www.timedomaincvsd.com))

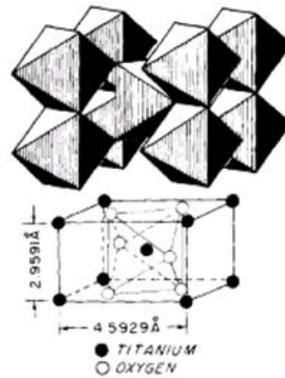
### 2.3 Semikonduktor $\text{TiO}_2$

Semikonduktor  $\text{TiO}_2$  memiliki tiga fasa kristal, yaitu anatase, rutile, dan brookite. Untuk fasa kristal anatase dan rutile telah dipelajari untuk berbagai aplikasi fotokatalisis sedangkan brookite tidak begitu dikenal secara umum. Anatase dan rutile memiliki struktur tetragonal sementara brookite memiliki struktur *orthorhombic*. Semuanya terdiri atas ikatan oktahedral  $\text{TiO}_6^{2-}$  dan pola ikatan dari oktahedral ini berbeda-beda untuk setiap jenis fasa kristal.

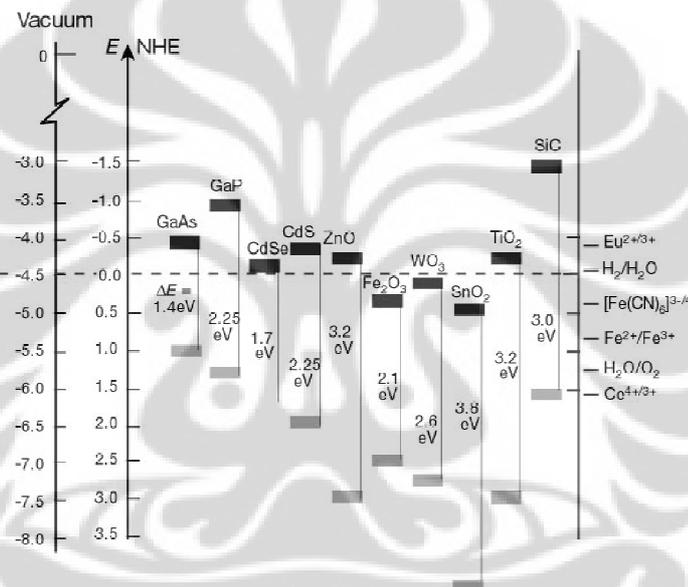
Struktur kristal anatase memiliki empat sudut yang dibagi per oktahedral dan tidak ada sudut oksigen yang dibagi (Gambar 2.6), contohnya adalah semikonduktor  $\text{TiO}_2$  Degussa P25 yang dijual secara komersial. Pada struktur kristal rutile, dua sudut (di luar dari dua belas) saling berbagi untuk membentuk rantai linear. Selanjutnya, rantai linear dari setiap oktahedral akan bergabung satu sama lain dengan jalan berbagi sudut dari atom oksigen (Gambar 2.7). Sementara pada brookite, hubungan antara oktahedral terjadi melalui pembagian tiga sudut per oktahedralnya. Strukturnya dibentuk dari oktahedral-oktahedral  $\text{TiO}_6^{2-}$ .



**Gambar 2. 6.** Struktur kristal anatase  $\text{TiO}_2$  (Licciulli, 2002)



**Gambar 2. 7.** Struktur kristal rutile  $\text{TiO}_2$  (Licciulli, 2002)



**Gambar 2. 8.** Posisi energi potensial beberapa semikonduktor (Grätzel, 2001).

Semikonduktor  $\text{TiO}_2$  merupakan semikonduktor yang paling cocok digunakan dalam berbagai reaksi fotokatalisis (Galin'ska, 2004). Beberapa keunggulan dari  $\text{TiO}_2$  adalah

1. Eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi tidak menyebabkan struktur fotoeksitasi tidak stabil dan mudah rusak. Hal tersebut tidak terjadi pada semikonduktor lain (Amemiya, 2004).
2.  $\text{TiO}_2$  dapat mengakomodasi potensial redoks beberapa oksidator yang paling umum dijumpai dalam reaksi fotokatalisis di antaranya, efisiensi kuantum dan

aktivitas fotokatalisis yang tinggi, dan keekonomisannya. Hal ini tidak terjadi pada semikonduktor yang lain (Fujishima, 2000).

3. Reaksi fotokatalisis dapat berlangsung cepat pada kondisi operasi ambien, memungkinkan banyak kontaminan organik terkonversi menjadi air dan CO<sub>2</sub>, dan tidak menggunakan reaktan kimia tambahan serta tidak terjadi reaksi samping yang tidak diharapkan (Licciuli, 2002).
4. Tidak menimbulkan bahaya keracunan dan harganya yang murah (Rao, 2003).

Kemampuan aktivitas fotokatalitik sebuah semikonduktor bergantung pada posisi *energy band gap* semikonduktor tersebut dan potensial redoks dari adsorbat. Secara termodinamika potensial redoks dari spesi akseptor harus berada di bawah pita konduksi dari semikonduktor yang digunakan (lebih positif). Di sisi lain, potensial redoks dari spesi donor harus berada di atas pita valensi agar terjadi donasi elektron ke lubang kosong yang ditinggalkannya (lebih negatif). Celah energi dari beberapa semikonduktor dapat dilihat pada Gambar 2.8. Celah energi semikonduktor TiO<sub>2</sub> adalah 3,28 eV. Elektron akan tereksitasi dari pita valensi menuju pita konduksi jika material ini diiradiasi dengan foton yang memiliki energi > 3,2 eV atau dengan kata lain dengan panjang gelombang < 388 nm. Pada saat tereksitasi terbentuk muatan elektron dan *holes*.

#### 2.4 Prinsip Dasar Fotokatalisis dalam Proses Degradasi Senyawa LAS

Fotokatalisis merupakan kombinasi dari proses fotokimia dan katalisis. Proses fotokimia sendiri adalah proses transformasi secara kimiawi dengan melibatkan cahaya sebagai pemicunya sedangkan katalisis adalah proses yang melibatkan katalis untuk menurunkan energi aktivasi suatu reaksi sehingga reaksi bisa berjalan lebih cepat. Jadi, fotokatalisis secara umum dapat diartikan sebagai proses transformasi kimia yang dibantu oleh cahaya dan material katalis.

Teknologi fotokatalisis sudah banyak diterapkan untuk berbagai aplikasi seperti purifikasi udara, purifikasi air, swa-bersih, anti kabut, anti bakteri, dan terapi kanker. Untuk purifikasi air sendiri, teknologi fotokatalisis sudah sangat berkembang dan sudah banyak publikasi-publikasi baik nasional maupun internasional yang membahas tentang purifikasi air secara fotokatalisis untuk menggantikan metode-metode konvensional yang sudah ada. Sedangkan

penelitian tentang pengolahan limbah deterjen secara fotokatalisis juga sudah mulai berkembang dan sudah terdapat beberapa publikasi tentang penelitian tersebut.

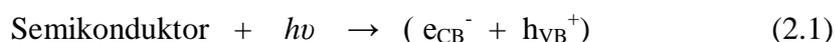
Keuntungan teknologi ini adalah menggunakan energi matahari (gratis dan terus menerus ada), hampir tidak ada *secondary pollution/waste* karena zat organik akan terdekomposisi menjadi karbondioksida dan air, produk sampingannya adalah zat kimia yang aman (karbon dioksida, nitrogen gas, air), dapat mengolah zat kimia organik yang sangat beracun sekalipun, bahkan dapat mengolah zat kimia yang hampir tidak dapat diolah dengan menggunakan cara konvensional karena mengandung gugus ikatan siklik dan aromatik yang kuat (Nandiyanto, 2008).

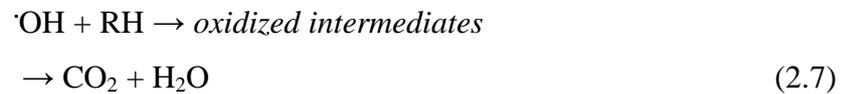
Jika suatu semikonduktor dikenai cahaya ( $h\nu$ ) dengan energi yang sesuai, maka elektron ( $e^-$ ) pada pita valensi akan tereksitasi ke pita konduksi dan meninggalkan *hole* ( $h^+$ ) pada pita valensi. Potensial oksidasi yang dimiliki oleh  $h^+$  pada pita valensi cukup besar untuk mengoksidasi air menjadi radikal hidroksil. Radikal hidroksil ini merupakan pengoksidasi kuat yang dapat mengoksidasi zat organik menjadi air, asam mineral, dan karbon dioksida (Slamet, 2009).

Pasangan elektron dan *hole* yang terbentuk akan menempuh beberapa jalur yaitu berekombinasi dalam partikel (*volume recombination*), berekombinasi pada permukaan partikel (*surface recombination*) atau partikel pada fasa ruah dalam waktu yang sangat singkat (nanosekon) sehingga melepaskan energi dalam bentuk panas.

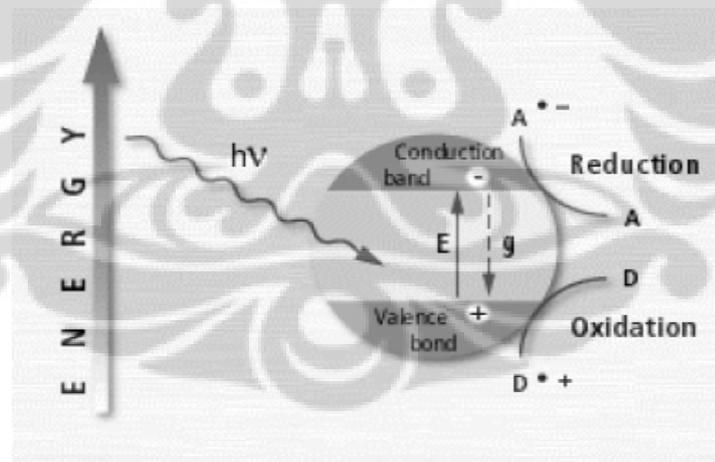
Selain rekombinasi, masing-masing pasangan elektron ( $e^-$ ) dan *hole* ( $h^+$ ) dapat bereaksi dengan spesies donor (D) atau akseptor (A) yang teradsorb di permukaan partikel. Dengan kata lain, elektron pada pita konduksi yang mencapai permukaan mereduksi substrat (A) atau pelarut pada permukaan partikel, sedangkan *hole* pada pita valensi yang mencapai permukaan akan mengoksidasi substrat (D) baik secara langsung maupun tidak langsung (melalui pembentukan radikal hidroksil).

Reaksi yang terjadi adalah





Sifat oksidator kuat yang dimiliki oleh semikonduktor akan memiliki sejumlah besar *hole* ( $\text{h}^+$ ) yang akan menyerang  $\text{H}_2\text{O}$  yang melekat pada permukaan semikonduktor sehingga akan terbentuk radikal hidroksil. Sedangkan  $\text{O}_2$  yang ada di udara akan bertindak sebagai akseptor elektron dan membentuk ion superoksida. Selain itu, *hole* ( $\text{h}^+$ ), radikal hidroksil dan ion superoksida yang dihasilkan juga dapat digunakan untuk mengoksidasi kontaminan organik yang melekat di permukaan. Pada degradasi LAS secara fotokatalitik,  $\cdot\text{OH}$  menyerang atom karbon yang terikat pada sulfonat di cincin aromatik, kemudian diikuti serangan atom karbon lainnya (Hidaka, 2004).



Gambar 2. 9. Skema fotoeksitasi pada semikonduktor (Licciuli, 2002)

## 2.5 Usaha Peningkatan Aktivitas Fotokatalisis

Meskipun  $\text{TiO}_2$  memiliki banyak keunggulan dalam aplikasinya pada proses fotokatalitik,  $\text{TiO}_2$  murni yang banyak beredar di pasaran tidak bisa menyerap cahaya tampak sehingga perlu dimodifikasi. Selain itu, reaksi rekombinasi antara *electron* dan *hole* juga sering terjadi sehingga menghambat aktivitas fotokatalis. Salah satu cara untuk menambah kemampuan  $\text{TiO}_2$  dalam

menyerap sinar tampak dan meningkatkan efisiensi fotokatalitik adalah dengan memodifikasi TiO<sub>2</sub> dengan menambahkan dopan non logam dan dopan logam.

Pemberian dopan non logam yang memperpendek *band gap* sehingga dapat meningkatkan aktivitas fotokatalis di bawah sinar tampak. Dopan non logam, seperti N dan C, telah terbukti berhasil dalam meningkatkan kemampuan TiO<sub>2</sub> untuk mengadsorpsi sinar tampak.

Ketika menyerap foton dengan energi yang sama atau lebih besar dari energi *band gap* ( $E_g$ ) elektron dalam pita valensi teresksitasi ke pita konduksi. Tepi pita valensi maksimum titania terutama berasal dari orbital 2p oksigen dan tepi pita konduksi minimum berasal dari orbital 3d titania. Apabila terjadi transisi elektron dari orbital 2p atau 3p dopan ke orbital 3d titania secara umum maka akan menghasilkan modifikasi dalam properti optik (Chen, et al, 2008).

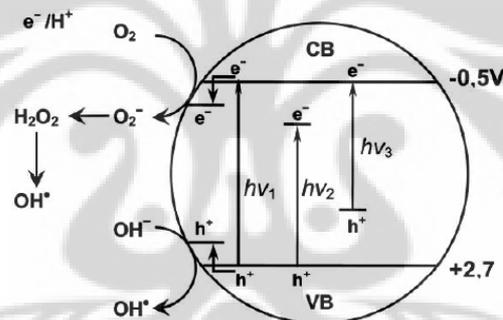
Asahi dan rekan kerjanya (Asahi, et al, 2001) menghitung *densities of states* (DOSs) dari dopan N, C, F, P dan S untuk pengganti O dalam anatase TiO<sub>2</sub>. Hal yang menarik adalah ia menemukan bahwa ketika orbital p dari N bercampur dengan orbital 2p dari O pada dopan N, tepi pita valensi bergeser ke atas sehingga mempersempit *band gap* TiO<sub>2</sub>. Perhitungan DOSs yang dilakukan Asahi menunjukkan bahwa substitusi dopan N terhadap O paling efektif diantara dopan non logam lainnya karena orbital p menempati tepi atas pita valensi maksimum TiO<sub>2</sub> dan berkontribusi dalam mempersempit *band gap* tanpa meningkatkan rekombinasi.

Selain nitrogen, pemberian dopan C pada TiO<sub>2</sub> ternyata juga menunjukkan aktivitas yang baik terhadap sinar tampak (Xu, et al, 2007). Karbon yang digunakan untuk dopan dapat disiapkan dengan cara yang sederhana seperti operasi *mechanochemical* dengan menggiling TiO<sub>2</sub> dengan etanol pada kondisi atmosfer. Karbon adalah salah satu bahan yang praktis untuk pertimbangan ekonomi dan produksi massa. Penelitian mengenai pemberian dopan C pada TiO<sub>2</sub> menunjukkan bahwa aktivitas fotokatalis TiO<sub>2</sub> meningkat dengan nilai *bandgap* ( $E_g$ ) yang turun menjadi 3,0eV dari 3,2eV yang merupakan bandgap TiO<sub>2</sub> P25 dengan sumber karbon adalah alkohol (Kusiak-Nejman, 2010).

Meskipun demikian, fotokatalis TiO<sub>2</sub> berbasis satu komponen yang responsif terhadap sinar tampak tidak memberikan solusi mengenai rekombinasi

yang juga membatasi efisiensi fotokatalis. Partikel logam seperti Pt, Au, Pd, Rh, Ni, Cu, atau Ag, pada permukaan  $\text{TiO}_2$  dapat menghambat rekombinasi. Level Fermi dari logam-logam ini lebih rendah daripada  $\text{TiO}_2$  sehingga elektron yang terfotoeksitasi dari pita konduksi dapat ditransfer ke partikel logam pada permukaan  $\text{TiO}_2$ . Pita konduksi dari  $\text{TiO}_2$  bergeser ke bawah karena nanopartikel logam terdispersi dalam matriks  $\text{TiO}_2$ . Selain itu, dopan logam transisi dapat meningkatkan penangkapan (trapping) elektron untuk menghambat rekombinasi *electron-hole* selama iradiasi. Berkurangnya reaksi rekombinasi tersebut dapat meningkatkan fotoaktivitas.

Dibandingkan dengan emas, logam Cu lebih banyak mendapatkan perhatian karena aktivitas katalitik yang bagus dan harganya yang murah. Dalam degradasi fotokatalitik dalam oksidasi berbagai molekul organik, Cu- $\text{TiO}_2$  menunjukkan aktivitas fotokatalitik yang bagus (Manivel, 2010).



**Gambar 2. 10** Mekanisme fotokatalisis  $\text{TiO}_2$ :  $h\nu_1$ :  $\text{TiO}_2$  murni;  $h\nu_2$ :  $\text{TiO}_2$  berdopan logam, dan  $h\nu_3$ :  $\text{TiO}_2$  berdopan non logam (Zaleska, 2008)

## 2.6 Pengujian Konsentrasi LAS dengan Metode MBAS (*Methylene Blue Active Substances*)

MBAS adalah suatu substansi yang memindahkan metilen biru, zat pewarna kationik, dari larutan ke dalam cairan pelarut organik yang tidak larut dalam air. Surfaktan anionic membentuk pasangan electron dengan metilen blue ini. Warna biru yang intensitasnya diukur dengan spektrofotometer UV/Vis pada panjang gelombang 652 nm menunjukkan besarnya konsentrasi LAS yang terkandung dalam larutan tersebut.

Gangguan positif dapat timbul dalam metode pengukuran ini. Hal ini dikarenakan senyawa yang diukur hanya LAS sehingga senyawa lain yang

terkandung di dalam larutan disebut sebagai gangguan. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan larutan pencuci untuk menghilangkan gangguan positif yang dapat berupa klorida dan nitrat. Gangguan negatif dari surfaktan kationik dan material kationik yang lain, seperti amina, dapat dihilangkan dengan oksidasi menggunakan hidrogen peroksida.

Metode MBAS sangat cocok digunakan untuk menentukan konsentrasi surfaktan anionik di dalam air ataupun limbah cair. Perhitungan yang digunakan adalah

$$\text{Kadar surfaktan anionik (mg/L)} = C \times fp \quad (2.8)$$

Dengan:

C = kadar yang didapat dari hasil pengukuran (mg/L)

fp = faktor pengenceran

Proses pengambilan data dilakukan setiap selang waktu tertentu. Pengujian secara MBAS sesuai dengan SNI 06-6989.51-2005. SNI ini menggunakan referensi dari metode standar internasional yaitu *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th Edition (1998), 5540A and 5540C, editor L. S. Clesceri, A.E. Greenberg, A.D. Eaton, APHA, AWWA and WEF, Washington DC.

### 2.6.1 Ruang lingkup

Cara uji ini digunakan untuk penentuan kadar surfaktan anionik dalam air dan air limbah secara biru metilen dan diukur menggunakan spektrofotometer dengan kisaran kadar 0,025 mg/L sampai 2,0 mg/L pada panjang gelombang 652 nm.

### 2.6.2 Istilah dan definisi

#### 2.6.2.1 Larutan induk

Larutan baku kimia yang dibuat dengan kadar tinggi dan akan digunakan untuk membuat larutan baku dengan kadar yang lebih rendah

#### 2.6.2.2 Larutan baku

Larutan induk yang diencerkan dengan air suling sampai dengan kadar tertentu

#### 2.6.2.3 Larutan kerja

Larutan baku yang diencerkan dan digunakan untuk membuat kurva kalibrasi

#### **2.6.2.4 Kurva kalibrasi**

Grafik yang menyatakan hubungan kadar larutan baku dengan hasil pembacaan absorbansi, yang biasanya merupakan garis lurus.

#### **2.6.2.5 Larutan *blanko***

Air suling yang diperlakukan sama dengan contoh uji

### **2.6.3 Cara uji**

Surfaktan anionik bereaksi dengan biru metilen membentuk pasangan ion berwarna biru yang larut dalam pelarut organik. Intensitas warna biru yang terbentuk diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 652 nm. Serapan yang terukur setara dengan kadar surfaktan anionik.

### **2.6.4 Persiapan pengujian**

#### **2.6.4.1 Pembuatan larutan induk surfaktan anionik**

Melarutkan 1,0 g LAS 100% aktif atau natrium lauril sulfat ( $C_{12}H_{25}OSO_3Na$ ) dengan menambahkan air suling dalam labu ukur 1000 mL hingga tepat tanda tera dan dihomogenkan; 1 mL = 1 mg LAS. Menyimpan larutan induk surfaktan anionik di dalam lemari pendingin untuk mengurangi biodegradasi. Bila terbentuk endapan, larutan ini tidak dapat dipergunakan.

#### **2.6.4.2 Pembuatan larutan baku surfaktan anionik**

Memipet 10 mL larutan induk surfaktan anionik dan memasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL, kemudian menambahkan air suling hingga tepat tanda tera dan dihomogenkan; 1 mL = 10  $\mu$ g LAS.

#### **2.6.4.3 Pembuatan larutan kerja surfaktan anionik**

1. Memipet 1,0 mL; 2,0 mL; 3,0 mL dan 5,0 mL larutan baku surfaktan anionik 100 mg/L dan memasukkan masing-masing ke dalam labu ukur 250 mL;
2. Menambahkan air suling sampai tepat pada tanda tera sehingga diperoleh kadar surfaktan anionik 0,4; 0,8; 1,2 dan 2,0 mg/L MBAS. Larutan kerja dapat dibuat dari larutan baku surfaktan siap pakai yang diperdagangkan.

#### 2.6.4.4 Pembuatan kurva kalibrasi

1. Mengoptimalkan alat spektrofotometer sesuai dengan petunjuk alat untuk pengujian kadar surfaktan anionik;
2. Mengambil masing-masing 100 mL larutan blanko dan larutan kerja dengan kadar surfaktan anionik 0,4 mg/L; 0,8 mg/L; 1,2 mg/L dan 2,0 mg/L kemudian masing-masing dimasukkan ke dalam corong pemisah 250 mL;
3. Menambahkan masing-masing larutan biru metilen sebanyak 25 mL;
4. Menambahkan masing-masing 10 mL kloroform, mengocok kuat-kuat selama 30 detik sekali-kali membuka tutup corong untuk mengeluarkan gas;
5. Membiarkan hingga terjadi pemisahan fasa, menggoyangkan corong pemisah perlahan-lahan, jika terbentuk emulsi menambahkan sedikit isopropil alkohol sampai emulsinya hilang
6. Memisahkan lapisan bawah (fasa kloroform) dan menampung dalam corong pemisah yang lain;
7. Mengekstraksi kembali fasa air dalam corong pisah dengan mengulangi langkah 4 sampai 6 sebanyak 2 kali dan menyatukan semua fasa kloroform;
8. Menambahkan 50 mL larutan pencuci ke dalam fasa kloroform gabungan dan mengocok kuat-kuat selama 30 detik;
9. Membiarkan terjadi pemisahan fasa, menggoyangkan perlahan-lahan;
10. Mengeluarkan lapisan bawah (kloroform) melalui *glass wool*, dan menampung ke dalam labu ukur pada langkah 10;
11. Menambahkan 10 mL kloroform ke dalam fasa air hasil pengerjaan pada langkah 10; mengocok kuat-kuat selama 30 detik
12. Membiarkan terjadi pemisahan fasa, menggoyangkan perlahan-lahan;
13. Mengeluarkan lapisan bawah (kloroform) melalui *glass wool*, dan menampung ke dalam labu pada langkah 10;
14. Mengekstraksi kembali fasa air dalam corong pisah dengan mengulangi langkah 11 sampai 13 dan menyatukan semua fasa kloroform dalam labu ukur pada langkah 10;

15. Mencuci *glass wool* dengan kloroform sebanyak 10 mL dan menggabungkan dengan fasa kloroform dalam labu ukur pada langkah 10;
16. Menetapkan isi labu ukur pada langkah 10 hingga tanda tera dengan kloroform;
17. Mengukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 652 nm dan mencatat serapannya. Pengukuran dilakukan tidak lebih dari 3 jam setelah ekstraksi;
18. Membuat kurva kalibrasi dari langkah 17 di atas dengan memplot data absorbansi vs  $\mu\text{g}$  LAS yang diambil. Menetapkan berat molekul LAS yang digunakan.

### 2.6.5 Prosedur uji

1. Mengukur contoh uji sebanyak 100 mL secara duplo dan memasukkan ke dalam corong pemisah 250 mL;
2. Menambahkan 3 tetes sampai dengan 5 tetes indikator fenoltalin dan larutan NaOH 1N tetes demi tetes ke dalam contoh uji sampai timbul warna merah muda, kemudian menghilangkan dengan menambahkan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1N tetes demi tetes;
3. Selanjutnya melakukan langkah 2.6.4.4 no. 3 sampai 17. Bila kadar surfaktan anionik dalam contoh 0,08 mg/L - 0,4 mg/L, maka volume contoh uji yang diambil 250 mL dan bila kadar surfaktan anionik dalam contoh 0,025 mg/L - 0,08 mg/L, maka volume contoh uji yang diambil 400 mL.

### 2.7 Karakterisasi Katalis

Karakterisasi katalis bertujuan mengetahui data-data spesifik katalis. Data-data ini digunakan untuk menganalisa karakteristik  $\text{TiO}_2$ . Karakterisasi katalis yang digunakan pada penelitian ini adalah XRD, SEM/EDS, DRS, dan BET. Karakterisasi ini dilakukan dengan tujuan untuk menghitung ukuran pori katalis dan luas permukaannya, menentukan struktur, komposisi dan ukuran kristal katalis, analisis morfologi, ukuran partikel, dan mengukur daya absorpsi katalis terhadap sinar terang dan menghitung *band gap* energi fotokatalis.

### 2.7.1 Karakterisasi XRD (*X-ray Diffraction*)

Karakterisasi XRD bertujuan menganalisa struktur kristal, rasio fasa *anatase* dan *rutile* serta ukuran partikel setiap fasa. Prinsip dari *X-ray Diffractometer* (XRD) adalah difraksi gelombang sinar x yang mengalami *scattering* setelah bertumbukan dengan atom kristal. Pola difraksi yang dihasilkan merepresentasikan struktur kristal. Dari analisa pola difraksi dapat ditentukan parameter kisi, ukuran kristal, identifikasi fasa kristalin. Jenis material dapat ditentukan dengan membandingkan hasil XRD dengan katalog hasil difaksi berbagai macam material. (Afrozi, 2010)

Menurut Bragg yang disitasi oleh Afrozi (2010), terdapat atom-atom di dalam kristal yang dapat membentuk susunan bidang datar. Masing-masing bidang datar memiliki jarak karakteristik antara bidang-bidang komponennya yang disebut bidang Bragg. Data yang diperoleh dari karakterisasi XRD adalah harga intensitas dan panjang celah pada sudut  $2\theta$  tertentu.

Menurut Hukum Bragg:

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (2.9)$$

dengan  $\lambda$  = panjang gelombang berkas sinar X yang tergantung dari tabung anoda

dari generator penghasil sinar X yang digunakan (Å)

$n$  = bilangan bulat yang menyatakan fasa pada fraksi menghasilkan terang.

$d$  = jarak antara *atomic layers* pada kristal (Å)

$\theta$  = sudut difraksi (sudut pengukuran dalam derajat)

Setiap senyawa memiliki harga  $d$  dan intensitas yang berbeda dan spesifik. Berdasarkan sifat tersebut, XRD dapat menguji suatu zat secara kualitatif untuk mengetahui struktur dari film katalis  $\text{TiO}_2$  dengan mencocokkan pola intensitas sampel dengan pola intensitas standar yang ada. Komposisi antara kristal *rutile* dan *anatase* dihitung dengan: (Suryanarayana, 1998)

$$X = \left( 1 + \frac{0.8I_A}{I_R} \right)^{-1} \quad (2.10)$$

dengan  $X$  = fraksi berat *rutile* dalam serbuk katalis

$I_A$  dan  $I_R$  = intensitas X-ray dari puncak *anatase* dan *rutile* (a.u.)

Dari lebar puncak pada grafik XRD, ukuran kristal yang terbentuk dapat dihitung menggunakan persamaan Scherrer yang disitasi oleh Afrozi (2010) dapat ditentukan dari persamaan Scherre:

$$L = \frac{0.9\lambda}{(\beta \cos \theta)} \quad (2.11)$$

dengan L = ukuran kristal

$\lambda$  = panjang gelombang radiasi sinar X-ray yang digunakan (Å)

$\beta$  = pelebaran garis saat intensitas setengah maksimum (FWHM dalam radian)

$\theta$  = sudut puncak (dalam satuan derajat)

Persamaan Scherrer diperoleh dengan asumsi puncak kristal memiliki profil Gauss dan merupakan kristal kubus yang ukurannya kecil.

### 2.7.2 Karakterisasi DRS (*Diffuse Reflectance Spectroscopy*)

Penentuan nilai energi celah fotokatalis dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer yang dilengkapi dengan sphere yang terintegrasi dengan menggunakan persamaan : (Tauc et al, 1966)

$$F(R) = \frac{(1-R)^2}{2R} = \frac{k}{s} \quad (2.12)$$

dengan F(R) = faktor kubelka-Munk

K = koefisien absorpsi molar

S = koefisien *scattering*

R = nilai reflektan yang diukur

Hubungan F dengan energi foton diketahui melalui persamaan:

$$F(R) = A(h\nu - E_g)^{m/2} \quad (2.13)$$

dengan A = konstanta proporsional

$E_g$  = energi celah

m = 1 (untuk transisi langsung yang diperbolehkan)

Dengan membuat plot antara F(R) terhadap  $h\nu$  dan ekstrapolasi daerah liniernya, maka dapat ditentukan nilai  $h\nu$  pada  $F(R) = 0$  yang merupakan nilai energi celah dari spasi pengabsorpsi.

### 2.7.3 Karakterisasi SEM

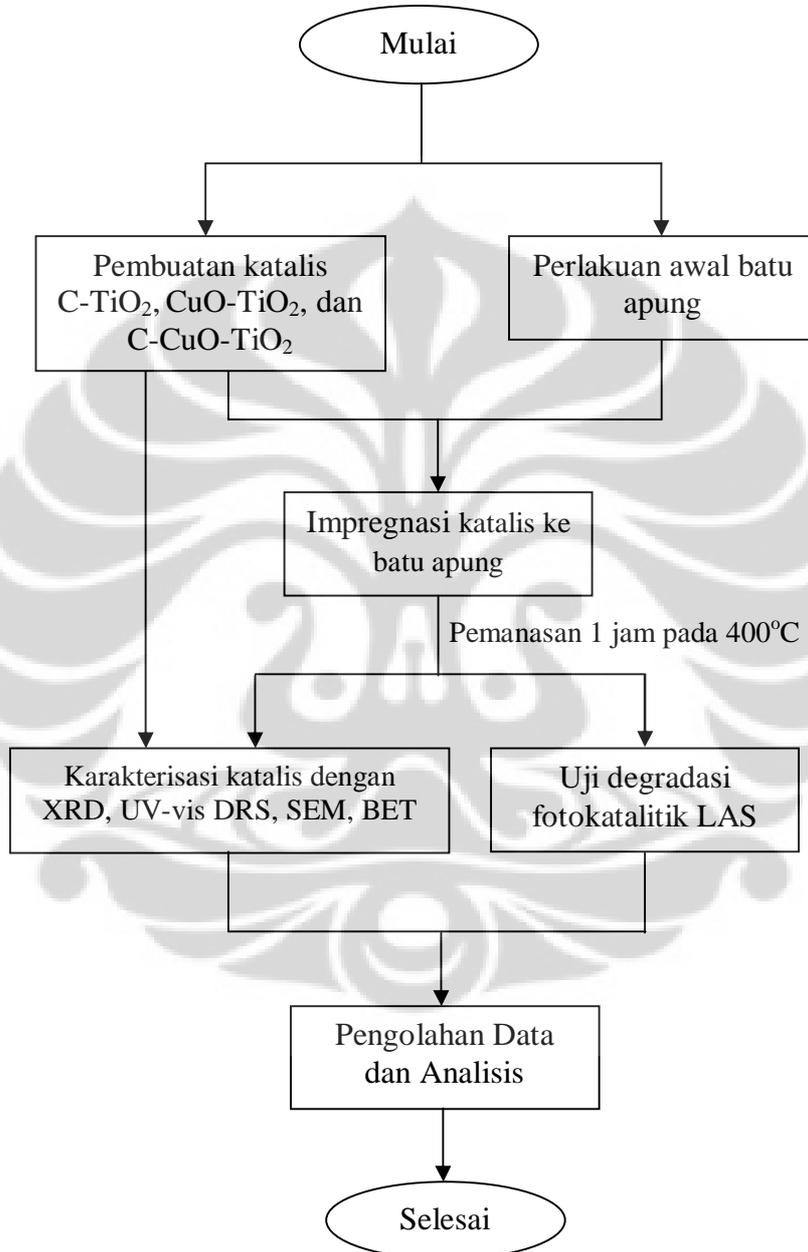
SEM berguna untuk mengetahui morfologi, porositas serta ketebalan suatu spesimen. Prinsip dasar proses ini adalah dengan menembakkan elektron ke permukaan spesimen yang ingin dianalisis. Penembakan elektron tersebut menghasilkan sinyal berupa transmisi elektron yang akan memberikan kondisi gambar dari daerah spesimen yang ditembakkan. (Afrozi, 2010)

Afrozi (2010) menyebutkan bentuk transmisi elektron tersebut ada yang menyebar sehingga mampu menampilkan gambar yang terang. Ada juga transmisi elektron yang penyebarannya tidak elastis (elektron difraksi) sehingga menghasilkan gambar yang gelap. Untuk transmisi elektron yang penyebarannya tidak elastis masih dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan gambar dengan menggunakan alat tambahan berupa *electron spectrometer* yang digunakan untuk membuat gambaran energi dan spektra elektron. Prinsip kerja dari TEM/SEM hingga menghasilkan gambar dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Elektron ditembakkan dengan kecepatan dibawah 100 kV difokuskan pada spesimen dengan menggunakan dua lensa kondensasi dan lensa objektif.
2. Hasil tembakan tersebut kemudian dipindai dengan menggunakan dua kawat *scanning* dan transmisi elektron, lalu kemudian direkam dengan menggunakan dua rekorder yang terpisah dengan masing-masing rekorder memiliki fungsi:
  - Rekorder utama mengumpulkan transmittan yang menyebar dan transmittan yang penyebarannya tidak elastis pada sudut rendah.
  - Rekorder kedua merupakan rekorder *annular* untuk melewatkan elektron yang tidak menyebar dan mengumpulkan elektron difraksi.
3. Gambar secara simultan akan terbentuk dari masing-masing posisi penembakan pada spesimen berdasarkan transmittan elektron yang direkam masing-masing rekorder sesuai dengan kawat *scanning* pada kolom. Gambar tersebut selanjutnya ditampilkan pada dua tabung perekam *cathode-ray*.
4. Setelah gambar terbentuk, penjelasan gambar akan diberikan oleh CRT *screen area* terhadap area yang dipindai jika terdapat spesimen didalamnya.

**BAB III**  
**METODE PENELITIAN**

**3.1 Diagram Penelitian Keseluruhan**



**Gambar 3. 1** Diagram alir penelitian keseluruhan

### 3.2 Alat dan Bahan

#### 3.2.1 Alat

1. *Beaker glass* 100 dan 500 ml
2. Gelas ukur
3. Spatula
4. Cawan
5. Pipet tetes
6. *Magnetic stirer*
7. *Hot plate* yang dilengkapi dengan *magnetic stirer*
8. Sonikator
9. Mortar
10. Timbangan analitik
11. *Ultrasonic bath*
12. Furnace
13. Kawat dengan lubang berdiameter 4 dan 6mm
14. *Hair dryer*
15. Palu
16. Reaktor
17. UV *blacklight lamp* 10W sebanyak 4 buah
18. Lampu Hg 250 W sebanyak 1 buah
19. Shimadzu XRD 7000 *XRAY DIFFRACTOMETER*.
20. UV-Vis Spectrophotometer Shimadzu 2450
21. JEOL-6390A *Analytical Scanning Electron Microscope* dan JEOL EDS

#### 3.2.2 Bahan

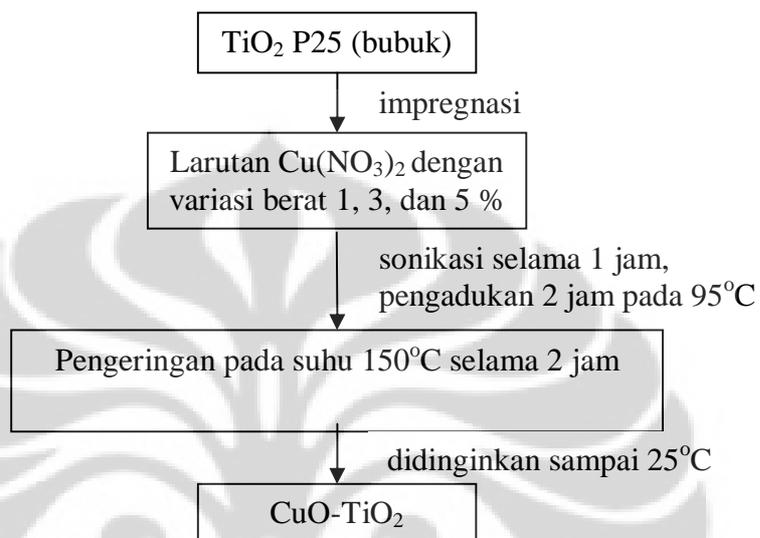
1. TiO<sub>2</sub> P25
2. 1-propanol
3. TEOS
4. Aquades
5. Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>
6. Batu apung
7. Linear Alkilbenzene Sulfonat (LAS) murni.

### 3.3 Prosedur Penelitian

#### 3.3.1 Sintesis Fotokatalis

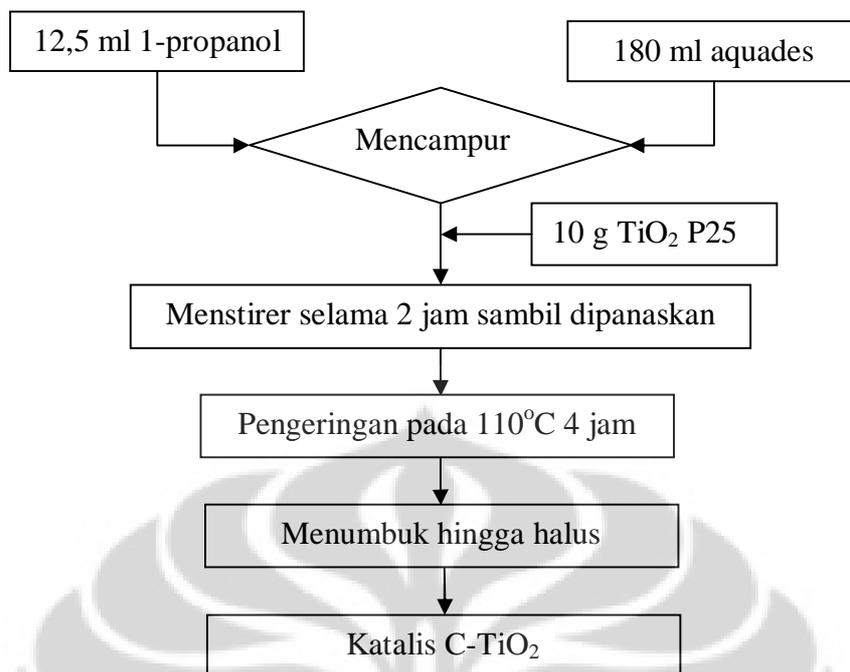
##### 3.3.1.1 Sintesis Fotokatalis CuO-TiO<sub>2</sub>

Sintesis fotokatalis CuO-TiO<sub>2</sub> dilakukan dengan metode impregnasi. Hasil yang diperoleh kemudian dicampur dengan TEOS (Tetra Etil Orto Silikat) sebagai perekat katalis ke penyangga.



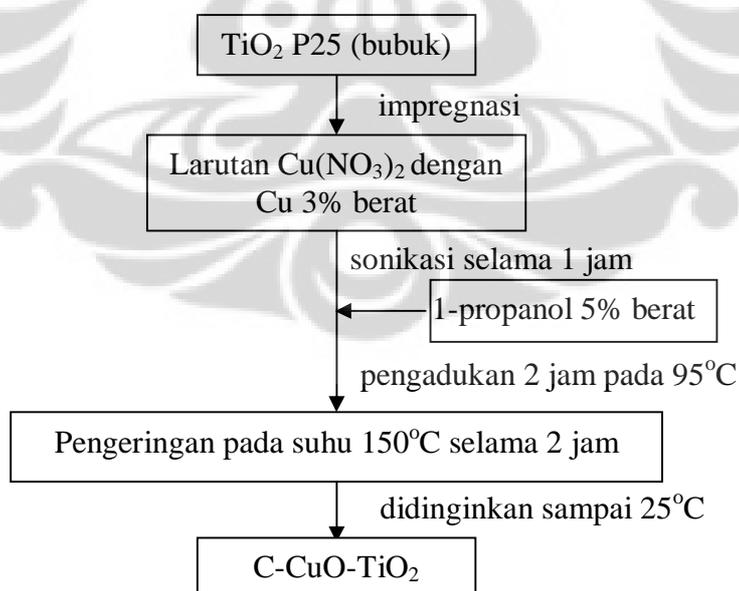
Gambar 3. 2 Diagram alir sintesis fotokatalis CuO-TiO<sub>2</sub>

### 3.3.1.2 Pembuatan Katalis C-TiO<sub>2</sub>



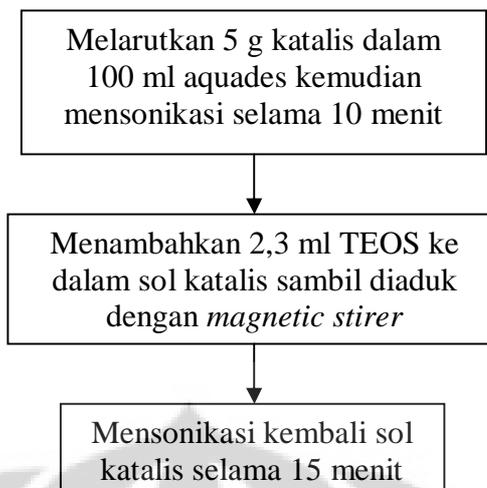
Gambar 3. 3 Diagram alir sintesis fotokatalis C-TiO<sub>2</sub>

### 3.3.1.3 Pembuatan Katalis C-CuO-TiO<sub>2</sub>



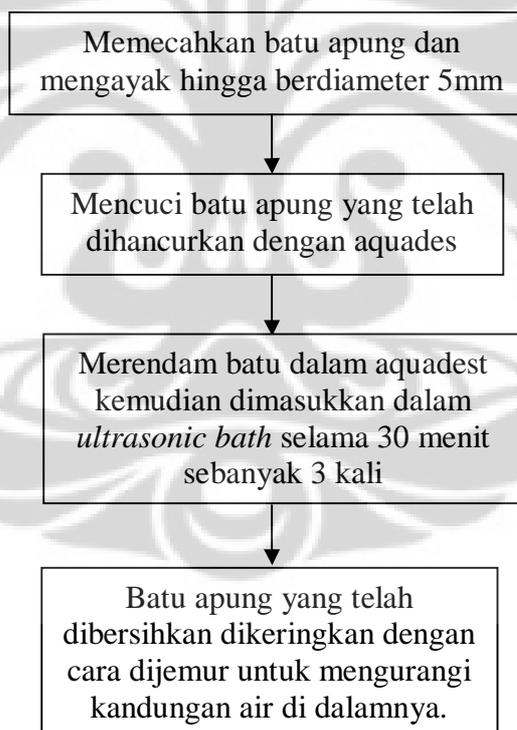
Gambar 3. 4 Diagram alir sintesis fotokatalis C-CuO-TiO<sub>2</sub>

### 3.3.1.4 Pemberian TEOS



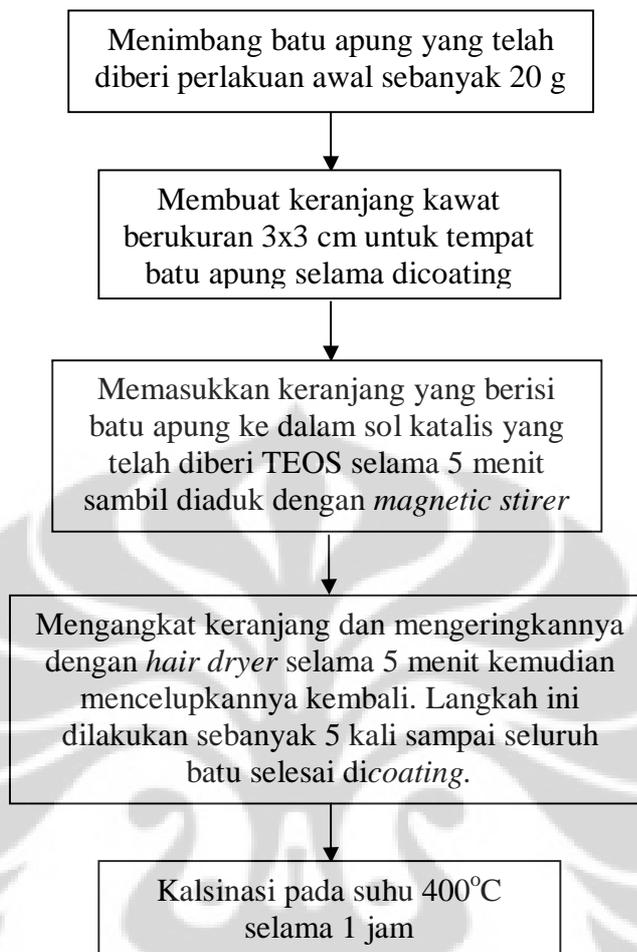
Gambar 3. 5 Diagram alir pemberian TEOS

### 3.3.2 Perlakuan Awal Penyangga



Gambar 3. 6 Diagram alir perlakuan awal penyangga

### 3.3.3 Impregnasi Katalis ke Penyangga dengan Metode *Dip Coating*



Gambar 3. 7 Diagram alir impregnasi katalis ke penyangga

### 3.3.4 Karakterisasi Katalis

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

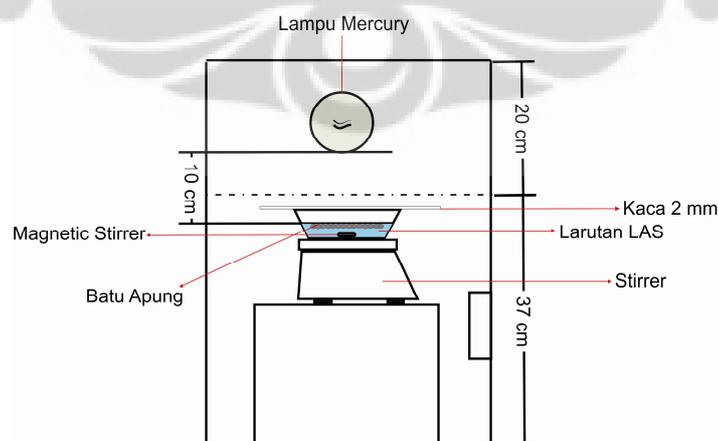
- XRD untuk menentukan struktur dan komposisi kristal katalis
- SEM/EDS untuk analisis morfologi permukaan katalis dan ukuran partikel serta komposisi dopan dalam fotokatalis
- UV-vis DRS untuk mengetahui daya absorpsi dan menghitung *energi band* fotokatalis
- BET untuk mengetahui luas permukaan aktif dari fotokatalis serta mengetahui struktur pori dan distribusi ukuran pori.

### 3.3.5 Uji Kinerja Fotokatalis

Katalis yang sudah dilapiskan ke batu apung kemudian diuji dengan cara memasukkan katalis tersebut ke dalam senyawa Linear Alkilbenzena Sulfonat murni. Kinerja fotokatalis diuji dengan mempersiapkan LAS dengan konsentrasi sebesar 138,5 ppm sebanyak 300 ml. Angka ini dipilih karena merupakan ambang batas dan untuk mempermudah analisis konsentrasi dengan metode MBAS.

Batu apung sebagai penyangga katalis dipersiapkan memiliki ukuran terkecil yang masih dapat mengambang di atas permukaan air agar katalis dapat teraktivasi, yaitu diameter sebesar  $\pm 5$  mm.

Pengujian ini dilakukan di dalam kotak uji tertutup terbuat dari tripeks dengan tebal 1 cm. Bagian dalam kotak uji dilapisi dengan lembaran aluminium. Di bagian penutup kotak uji terdapat UV *blacklight lamp* 10W sebanyak 4 buah dengan intensitas total sebesar  $40 \mu\text{m}/\text{cm}^2$  pada permukaan batu apung sebagai sumber energi katalis untuk uji kinerja katalis. Untuk mengetahui pengaruh foton digunakan lampu merkuri 250W dengan intensitas sebesar  $165 \mu\text{m}/\text{cm}^2$  pada permukaan batu apung. Reaktor dilengkapi dengan *magnetic stirrer* yang dinyalakan selama uji kinerja agar reaksi dapat berlangsung secara merata. Sebagai penutup reaktor digunakan kaca jendela tertipis berukuran 20x20 cm dengan tebal 2 mm agar LAS tidak terlalu panas selama pengujian. Kotak uji juga dilengkapi dengan *blower* untuk mengurangi suhu di dalam kotak uji selama pengujian. Skema reaktor seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini.



**Gambar 3. 8** Skema kotak uji kinerja fotokatalis

Uji kinerja fotokatalis dilakukan selama 45 menit. Pengambilan data konsentrasi LAS dilakukan pada menit ke-2, 5, 10, 20, dan 45.

### 3.3.6 Variabel Penelitian

#### 3.3.6.1 Variabel bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah

1. Variasi dopan. Variasi ini bertujuan untuk mengetahui dopan yang lebih efektif dalam proses degradasi senyawa LAS. Dopan logam yang digunakan adalah CuO dan dopan non logam yang digunakan adalah C.
2. Komposisi dopan CuO. Variasi ini bertujuan untuk mengetahui komposisi CuO yang optimal dalam proses degradasi senyawa LAS. Variasi komposisi yang digunakan adalah 1, 3, dan 5% (dalam persen berat). Untuk standar digunakan katalis TiO<sub>2</sub> P25 mempunyai struktur kristal anatase dan nanokristalin.
3. Konsentrasi awal LAS. Variasi konsentrasi awal bertujuan untuk mengetahui kinerja reaktor dan laju reaksi yang terjadi pada konsentrasi yang berbeda-beda. Konsentrasi awal LAS yang digunakan adalah 34,7 ppm, 69,3 ppm, dan 138,6 ppm.
4. Sumber foton. Variasi ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dopan non logam terhadap aktivitas fotokatalis.
5. Waktu degradasi. Variasi ini bertujuan untuk mengetahui laju reaksi yang terjadi dari besarnya konsentrasi tiap waktu. Pengambilan data konsentrasi LAS dilakukan sebanyak 5 kali dalam kurun waktu 45 menit.

#### 3.3.6.2 Variabel terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah

1. Untuk variabel bebas pertama, yaitu variasi dopan, variabel terikatnya adalah konsentrasi akhir LAS setelah proses degradasi dan panjang gelombang absorbansi sinar tampak serta pita energi fotokatalis.
2. Untuk variabel bebas kedua, yaitu komposisi CuO, variabel terikatnya adalah konsentrasi akhir LAS setelah proses degradasi.
3. Untuk variabel bebas ketiga, yaitu konsentrasi LAS, variabel terikatnya adalah konsentrasi akhir LAS setelah proses degradasi.

4. Untuk variabel bebas keempat, yaitu sumber foton, variabel terikatnya adalah energi foton yang diterima oleh fotokatalis.
5. Untuk variabel bebas kelima, yaitu waktu degradasi, variabel terikatnya adalah konsentrasi LAS tiap waktu.

### 3.3.6.3 Variabel kontrol

Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah

1. Jenis reaktor. Jenis reaktor yang digunakan tetap, yaitu *batch* (Gambar 3.2).
2. pH reaktan. Tidak dilakukan variasi pH reaktan karena sudah dilakukan oleh peneliti sebelumnya.

### 3.3.7 Teknik Pengambilan Data

Sampel dari reaktor diambil sebanyak 2 mL setiap selang waktu tertentu selama 45 menit. Reaktor bersifat *batch* dimana reaktan dan fotokatalis hanya dimasukkan pada saat reaksi belum mulai. Pengujian dilakukan di Laboratorium RPKA Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia. Data hasil pengujian dianalisis dengan metode MBAS, yaitu metode pengukuran kadar surfaktan anionik.

### 3.3.8 Teknik Pengolahan dan Analisis Data

#### 3.3.8.1. Kadar Surfaktan Anionik (mg/L)

Data yang diperoleh dari Spektrofotometer UV-Vis berupa data serapan gelombang cahaya sampel yang dibuat kurva kalibrasinya. Dari data tersebut akan dihitung kadar surfaktan anionik dengan cara membaca  $\mu\text{g}$  LAS yang diambil berhubungan dengan absorbansi yang terukur.

$$\text{mg MBAS/L} = \frac{\mu\text{g LAS nyata}}{\text{mL sampel asli}} \quad (3.1)$$

Hasil yang diperoleh adalah mg MBAS/L, dihitung sebagai mg LAS/L. Analisis ini dilakukan di Badan Teknologi Lingkungan BPPT Puspiptek Serpong.

#### 3.3.8.2 Karakterisasi Fotokatalis

Data hasil karakterisasi akan dianalisa lebih lanjut dengan persamaan-persamaan umum untuk karakterisasi yang tercantum pada sub-bab 2.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

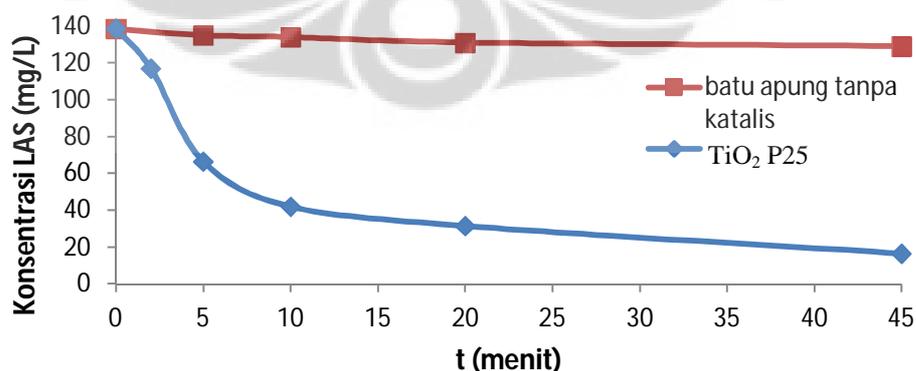
Komposit katalis C-TiO<sub>2</sub> dan CuO-TiO<sub>2</sub> berpenyangga batu apung ini digunakan untuk mendegradasi senyawa Linear Alkilbenzena Sulfonat. Pembahasan mengenai hasil degradasi senyawa LAS ini dijelaskan pada beberapa subbab berikut ini.

Dalam suatu perbandingan, selain variabel yang diamati, semua variabel-variabel yang berpengaruh dalam sistem dibuat sama atau konstan. Berikut adalah kode penamaan untuk setiap perbandingan yang dilakukan:

- TiO<sub>2</sub> P25: batu apung yang dilapisi fotokatalis TiO<sub>2</sub> P25
- batu apung tanpa katalis: batu apung yang tidak dilapisi katalis
- C-TiO<sub>2</sub>: batu apung yang dilapisi fotokatalis C-TiO<sub>2</sub>
- 1% CuO-TiO<sub>2</sub>: batu apung yang dilapisi fotokatalis variasi 1% wt CuO
- 3% CuO-TiO<sub>2</sub>: batu apung yang dilapisi fotokatalis variasi 3% wt CuO
- 5% CuO-TiO<sub>2</sub>: batu apung yang dilapisi fotokatalis variasi 5% wt CuO

### 4.1 Uji batu apung tanpa katalis

Uji ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan batu apung sendiri untuk mendegradasi senyawa LAS. Volume LAS adalah 300 ml dan batu apung yang digunakan seberat 20 g. Sebagai sumber foton digunakan lampu merkuri 250 W.



**Gambar 4. 1** Degradasi LAS dengan batu apung tanpa katalis dan dengan fotokatalis TiO<sub>2</sub> P25  
(V<sub>LAS</sub> = 300 ml, Batu apung = 20 g, Sumber foton : lampu merkuri)

Pada Gambar 4.1 terlihat bahwa terjadi penurunan konsentrasi LAS pada uji coba batu apung yang tidak dilapisi dengan katalis. Hal ini menandakan bahwa

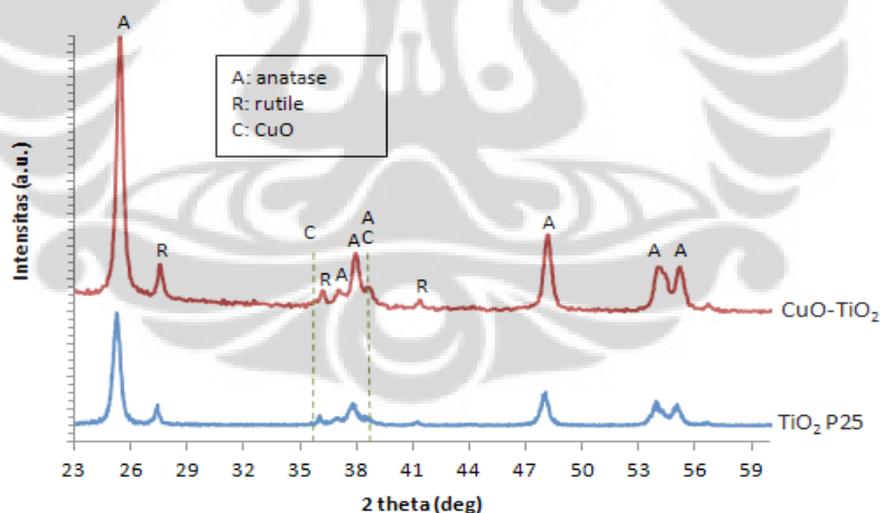
batu apung sendiri mempunyai kemampuan adsorpsi senyawa LAS. Namun, kemampuan adsorpsi tersebut terbatas. Penelitian Rao (2003) uji blanko batu apung tanpa katalis juga menghasilkan sedikit penurunan konsentrasi limbah industri pewarna. Dibandingkan dengan batu apung yang dilapisi dengan katalis  $\text{TiO}_2$  P25, kemampuan dalam mendegradasi senyawa LAS sangat jauh berbeda. Terjadi perbedaan konsentrasi akhir LAS yang jauh sejak menit pertama.

Batu apung memberikan kontribusi sebagai adsorben namun pengaruhnya sangat kecil sehingga bersifat sebagai penyangga untuk fotokatalisis. Kelebihan menggunakan batu apung ini adalah fotokatalis dapat dipakai berulang-ulang dan memudahkan proses separasi fotokatalis dari limbah yang didegradasi.

## 4.2 Karakterisasi Katalis

### 4.2.1 XRD

Karakterisasi XRD dilakukan untuk mengetahui struktur kristal dari katalis yang telah dibuat. Berikut ini adalah hasil karakterisasi XRD untuk katalis 3%  $\text{CuO-TiO}_2$ .



**Gambar 4. 2** Hasil XRD katalis 3% $\text{CuO-TiO}_2$

Pada Gambar 4.2, peak pada  $2\theta = 25,34^\circ$  menunjukkan peak utama dari anatase dan  $2\theta = 27,42^\circ$  menunjukkan peak utama dari rutile. Peak difraksi CuO berada di dekat  $2\theta = 35,6^\circ$  dan di  $2\theta = 38,6^\circ$ . Manivel et al. (2010) menyebutkan dua peak tambahan untuk CuO, yaitu di  $2\theta = 43,3^\circ$  dan  $50,4^\circ$ . Pada Gambar 4.2 hanya terlihat kenaikan yang sangat kecil di  $2\theta = 35,6^\circ$ . Peak CuO memang

terlihat sangat kecil karena peak CuO terlihat ketika loading CuO  $\geq 3\%$  dan intensitas peak meningkat seiring dengan bertambahnya loading CuO. (Slamet, dkk, 2005)

Menurut Xu et al. (1998) hanya *octahedral vacant site* yang tersedia dalam anatase dan kapasitas dispersi CuO pada TiO<sub>2</sub> (anatase) harus sama dengan jumlah *surface vacant site* yang tersedia. Ketika loading CuO melebihi kapasitas dispersinya, semua *vacant site* terisi sehingga keberadaan kristalin CuO dapat terdeteksi oleh XRD. Berdasarkan Slamet dkk. (2005), kapasitas dispersi CuO pada TiO<sub>2</sub> P25 sebesar 2,2% wt (4,16 Cu<sup>2+</sup> nm<sup>-2</sup>). Hal ini menjelaskan bahwa peak CuO terlihat ketika loading CuO > 2,2%wt. Pada penelitian ini peak CuO tidak terdeteksi mungkin disebabkan adanya perbedaan suhu kalsinasi, Slamet dkk. (2005) menggunakan suhu 500°C sedangkan pada penelitian ini 400°C. Berikut ini adalah tabel hasil karakterisasi XRD katalis.

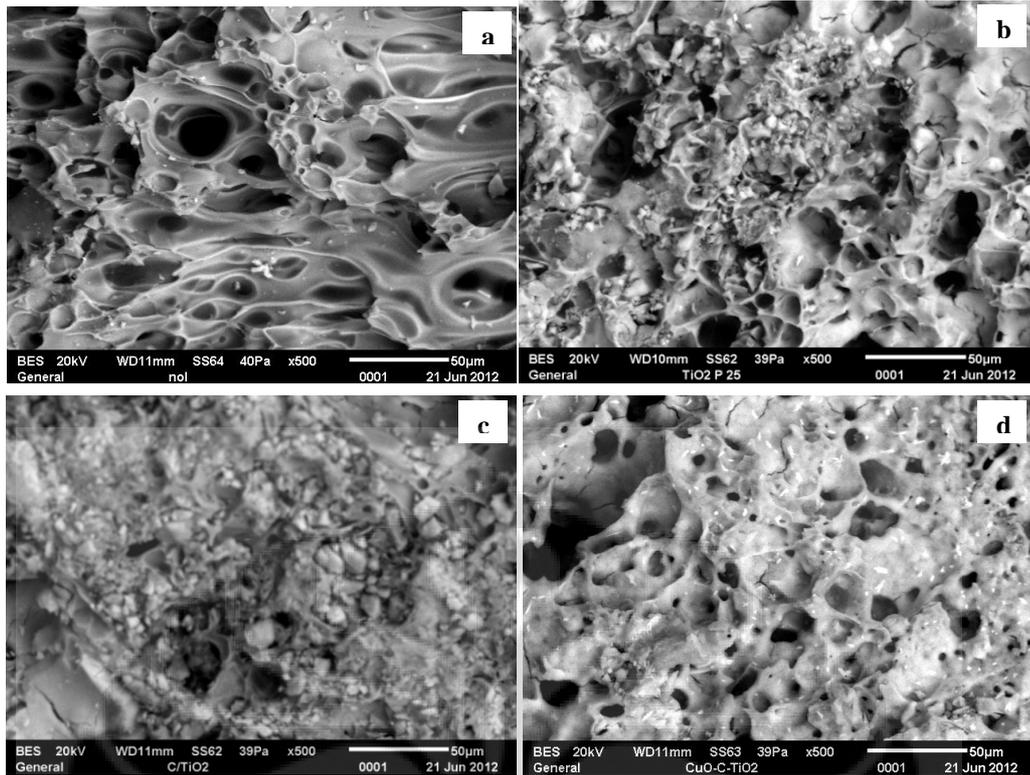
**Tabel 4. 1** Berat dan ukuran kristal katalis

Katalis	Anatase (wt%)	Ukuran kristal (nm)		
		Anatase	Rutile	CuO
TiO <sub>2</sub> P25 <sup>a</sup>	79,23	20	23	-
CuO-TiO <sub>2</sub>	85	19	25	-

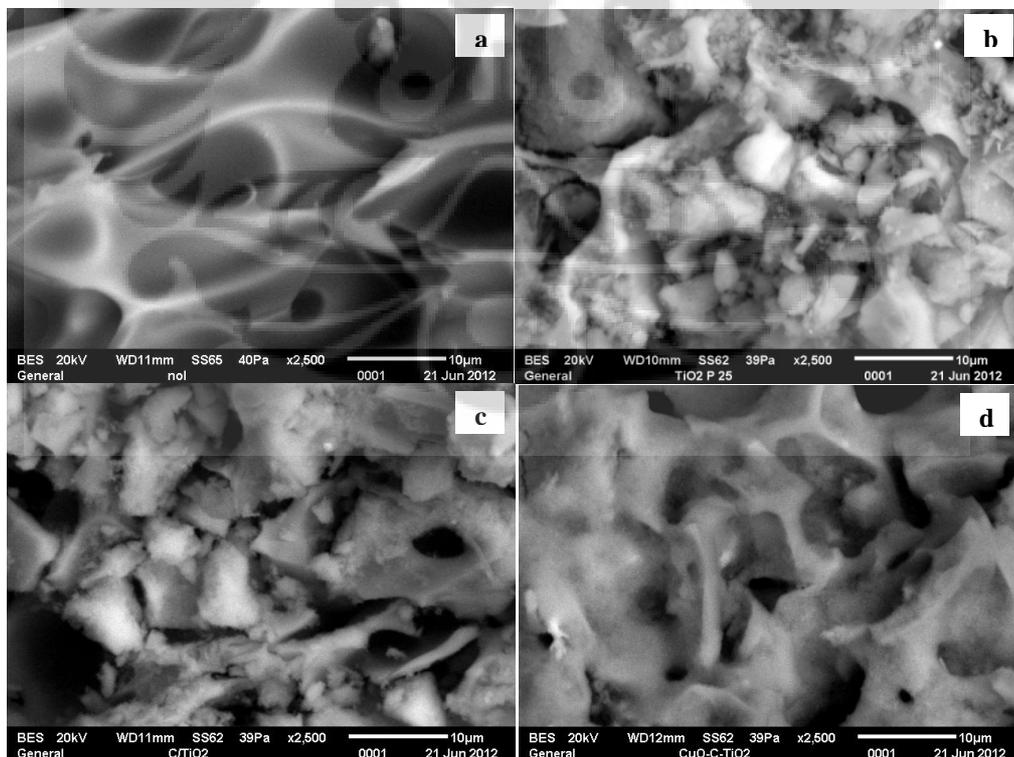
<sup>a</sup>Slamet dkk. (2005)

#### 4.2.2 SEM-EDS

Karakterisasi SEM berguna untuk mengetahui morfologi, porositas serta ketebalan suatu material. EDS berfungsi untuk mengetahui komposisi dari komponen-komponen yang ada di dalam material tersebut. Hasil SEM-EDS ini digunakan untuk membandingkan morfologi dan komposisi dari batu apung biasa dengan batu apung yang dilapisi dengan katalis. Selain itu, digunakan juga untuk membandingkan morfologi dan komposisi dari batu apung yang dilapisi katalis berbeda.



**Gambar 4. 3** Hasil SEM batu apung perbesaran 500: a. tanpa katalis; b. dengan fotokatalis  $\text{TiO}_2$  P25; c. dengan fotokatalis C- $\text{TiO}_2$ ; d. dengan fotokatalis C-CuO- $\text{TiO}_2$



**Gambar 4. 4** Hasil SEM batu apung perbesaran 2500: a. tanpa katalis; b. dengan fotokatalis  $\text{TiO}_2$  P25; c. dengan fotokatalis C- $\text{TiO}_2$ ; d. dengan fotokatalis C-CuO- $\text{TiO}_2$

Dari Gambar 4.3 terlihat bahwa metode *dip coating* yang digunakan dapat mengimpregnasi fotokatalis ke batu apung. Terlihat bahwa fotokatalis menempel pada dinding pori dan hampir menutupi permukaan pori-pori batu apung walaupun tidak merata. Terlihat bahwa terdapat katalis yang menumpuk di beberapa bagian pori-pori batu apung. Berikut ini adalah tabel hasil EDS.

**Tabel 4. 2** Hasil EDS batu apung

Jenis atom	% massa			
	Tanpa katalis	TiO <sub>2</sub> P25	C-TiO <sub>2</sub>	C-CuO-TiO <sub>2</sub>
C	-	2,2	4,18	0,58
O	49,12	44,76	39,95	45,99
Na	3,14	1,02	1,08	0,63
Al	7,9	2,71	3,27	1,69
Si	29,68	9,02	8,13	8,1
K	4,41	1,21	1,11	0,81
Ca	1,51	0,86	0,66	0,34
Ti	0,47	37	39,88	39,03
Fe	3,75	1,02	1,27	0,51
Cu	-	0,2	0,46	2,31

Dari hasil EDS di Tabel 4.2 terlihat bahwa komposisi atom terbesar dari batu apung sendiri adalah oksigen dan silika. Selain itu batu, apung ternyata mengandung Ti namun hanya sedikit. Untuk batu apung dengan katalis, terlihat bahwa jumlah atom silika (% massa) berkurang dan jumlah Ti meningkat banyak. Hal ini menandakan katalis banyak menempel pada batu apung dengan metode yang digunakan (*dip coating*).

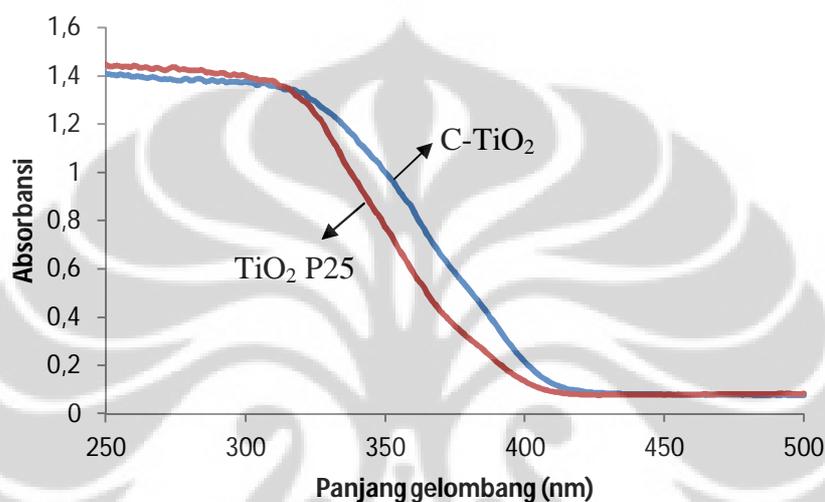
Dari hasil EDS fotokatalis C-TiO<sub>2</sub> diketahui bahwa % massa atom C yang ada di katalis tersebut adalah 4,18%. Untuk fotokatalis C-CuO-TiO<sub>2</sub> diketahui bahwa % massa atom C sebesar 0,58% dan atom Cu sebesar 2,31%.

#### 4.2.3 UV-Vis DRS

Semikonduktor TiO<sub>2</sub> dengan struktur anatase memiliki energi *band gap* yang lebar (3,28 eV) sehingga TiO<sub>2</sub> hanya aktif terhadap sinar yang setara dengan panjang gelombang sinar UV-A. Untuk dapat mendegradasi surfaktan dengan energi yang murah maka diharapkan energi foton dapat digunakan dari sinar matahari yang sebagian besar terdiri dari sinar tampak. Caranya adalah menambahkan dopan non-logam ke TiO<sub>2</sub>. Berdasarkan penelitian yang telah

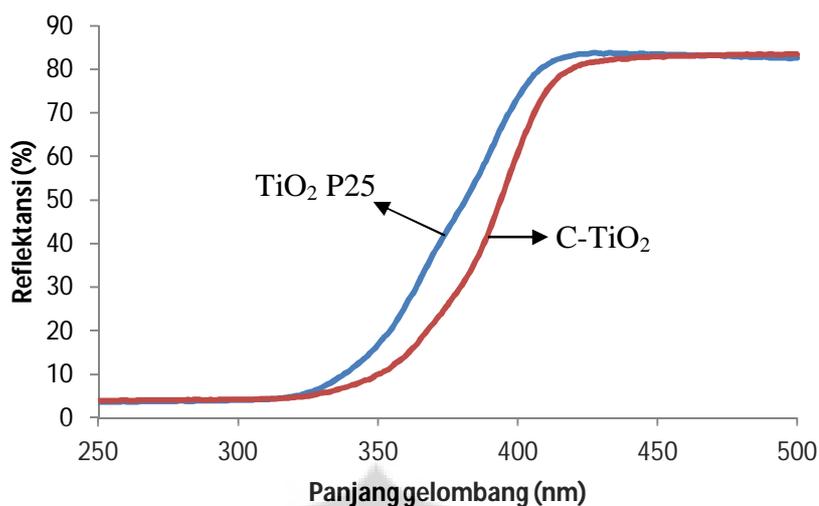
dilakukan oleh Kang, et al (2007), pemberian karbon ke dalam TiO<sub>2</sub> dapat meningkatkan aktivitas fotokatalisis TiO<sub>2</sub> pada sinar tampak.

Dopan karbon dapat membuat katalis lebih responsif terhadap sinar tampak karena pencampuran *p states* dari C dengan *2p* dari O dapat menaikkan pita valensi, sementara posisi dari pita konduksi tetap sehingga dapat memperkecil *band gap* dari TiO<sub>2</sub> (Kang, et al, 2007). Dengan mengecilnya *band gap*, maka respon terhadap sinar akan semakin melebar ke arah panjang gelombang sinar tampak. Hal ini dapat dilihat dari hasil karakterisasi DRS yang telah dilakukan.



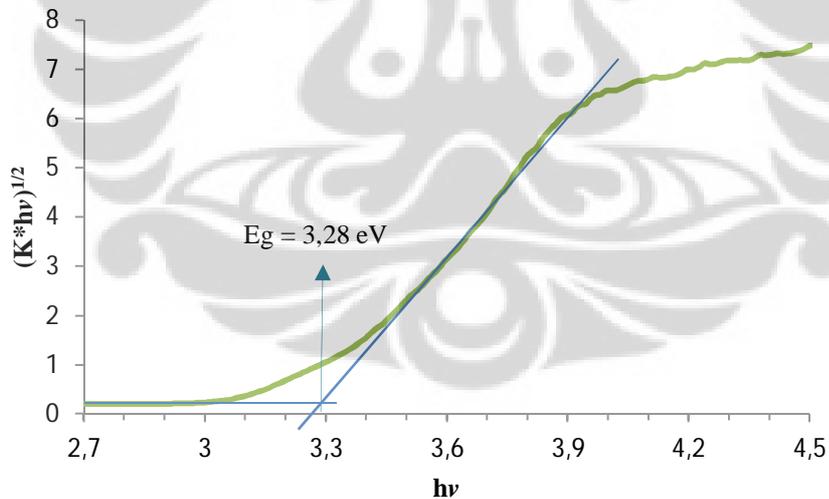
Gambar 4. 5 Perbandingan absorbansi katalis C-TiO<sub>2</sub> dengan TiO<sub>2</sub> P25

Pada Gambar 4.5, sumbu y memperlihatkan absorbansi fotokatalis terhadap sinar dengan panjang gelombang dari 250-500 nm yang ditunjukkan oleh sumbu x. Dari hasil ekstrapolasi pada garis lurus ke arah sumbu x dapat terlihat bahwa respon katalis C-TiO<sub>2</sub> terhadap sinar tampak lebih baik daripada TiO<sub>2</sub> P25. Katalis C-TiO<sub>2</sub> mampu merespon foton dari sinar dengan panjang gelombang hingga 410 nm yang termasuk dalam jangkauan panjang gelombang sinar tampak.

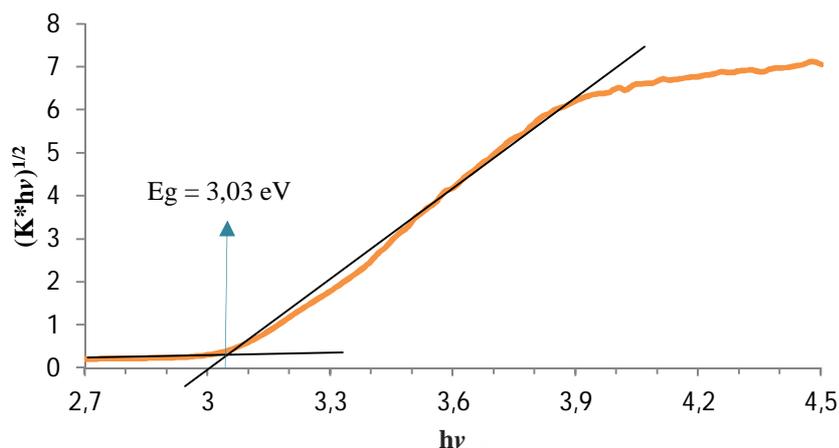


Gambar 4. 6 Perbandingan reflektansi katalis C-TiO<sub>2</sub> dengan TiO<sub>2</sub> P25

Pada Gambar 4.6 sumbu y menunjukkan reflektansi fotokatalis terhadap sinar dengan panjang gelombang dari 250-500 nm yang ditunjukkan oleh sumbu x. Dari data reflektansi ini dimasukkan dalam persamaan transformasi Kubilka-Munk untuk memperoleh nilai *bandgap* dari katalis yang telah dibuat.



Gambar 4. 7 Hasil perhitungan *bandgap* untuk katalis TiO<sub>2</sub> P25



**Gambar 4. 8** Hasil perhitungan *bandgap* untuk katalis C-TiO<sub>2</sub>

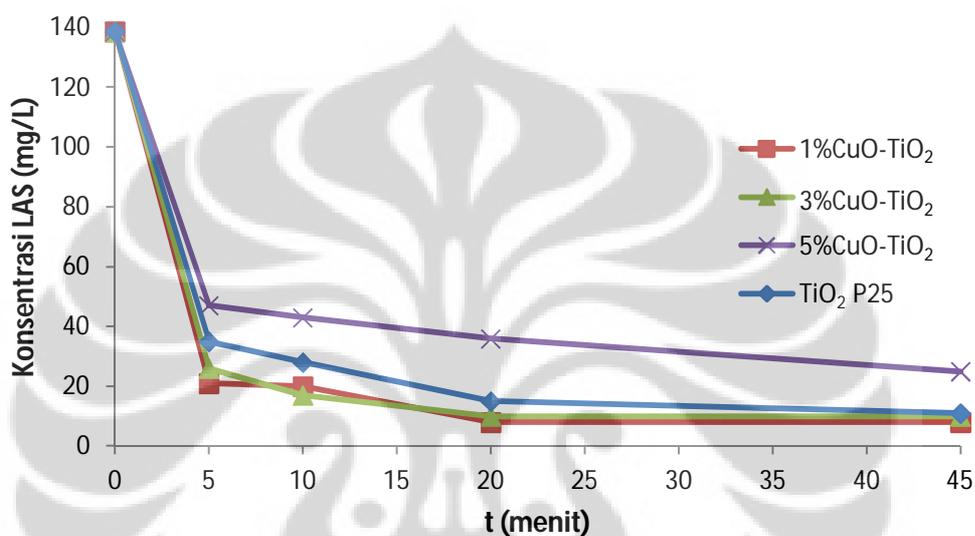
Dari pengolahan data reflektansi DRS katalis **C-TiO<sub>2</sub>** dan **TiO<sub>2</sub> P25** menghasilkan *energy bandgap* untuk masing-masing katalis sebesar **3,03 eV** dan **3,28 eV**. Berdasarkan hasil tersebut, dapat dilihat bahwa dopan karbon dapat meningkatkan respon fotokatalis terhadap sinar tampak, dilihat dari *energy bandgap* yang lebih kecil dibandingkan TiO<sub>2</sub> P25. Pada Huang et al. (2012) disebutkan bahwa bandgap dari C-TiO<sub>2</sub> dengan prekursor 1-propanol menghasilkan bandgap sebesar 3,24. Perbedaan ini mungkin disebabkan dengan penggunaan prekursor TiO<sub>2</sub> yang berbeda, Huang et al. (2012) menggunakan Hombikat UV 100 (100% anatase) sedangkan pada penelitian ini menggunakan TiO<sub>2</sub> P25 (terdiri dari 79% anatase dan 21% rutil).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Kang et al. (2007), pencampuran *2p states* dari C dengan *2p* dari O dapat menaikkan pita valensi sementara posisi dari pita konduksi tetap sehingga dapat memperkecil *bandgap* dari TiO<sub>2</sub>. Hal ini terjadi ketika semakin banyak karbon yang ditambahkan untuk menggantikan atom O. Pada hasil karakterisasi DRS di atas terlihat bahwa *energy bandgap* katalis C-TiO<sub>2</sub> lebih kecil dibandingkan TiO<sub>2</sub> P25 sehingga dapat dikatakan bahwa *p states* dari atom karbon berhasil bercampur dengan *2p* dari O.

### 4.3 Pengaruh variasi komposisi dopan CuO

Untuk melihat pengaruh pemberian dopan CuO, dilakukan variasi komposisi CuO, yaitu 1, 3, dan 5%. Masing-masing katalis kemudian dilapiskan

ke batu apung. Katalis yang terlapis di batu apung sebanyak 3,5 g untuk semua variasi komposisi. Pada Gambar 4.9 di bawah ini dapat dilihat pengaruh komposisi CuO terhadap aktivitas fotokatalis degradasi senyawa LAS. Pada 20 menit pertama terlihat laju penurunan konsentrasi yang cukup signifikan dari semua katalis. Namun, setelah 20 menit laju penurunan konsentrasi melambat hingga hampir konstan dan konsentrasi akhir LAS untuk semua katalis hampir sama. Hal ini menandakan reaksi fotokatalis pada 20 menit pertama sangat berpengaruh pada degradasi senyawa LAS.

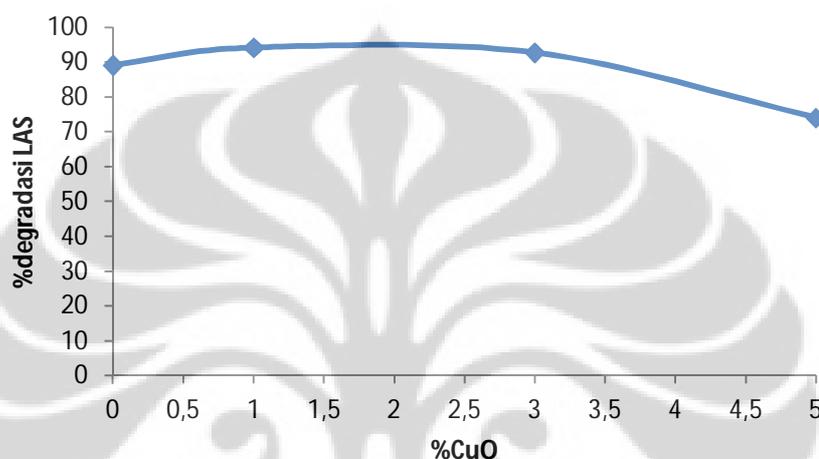


**Gambar 4. 9** Pengaruh variasi komposisi dopan CuO terhadap degradasi LAS ( $V_{LAS} = 300$  mL, Batu apung = 20 gram, Sumber Foton: UV *blacklight lamp*, Berat fotokatalis: 3,5 g)

Dapat terlihat bahwa katalis yang memiliki aktivitas optimal adalah katalis yang memiliki komposisi 1%CuO. Dengan waktu reaksi 20 menit katalis 1%CuO-TiO<sub>2</sub> mampu memberikan tingkat degradasi sebesar 94,23% sedangkan katalis TiO<sub>2</sub> P25 memberikan tingkat degradasi sebesar 89,18%. Untuk katalis dengan komposisi 3%CuO, aktivitas fotokatalisnya juga lebih bagus dari TiO<sub>2</sub> P25 dengan tingkat degradasi sebesar 92,79%. Namun, tidak sebagus katalis dengan komposisi 1%CuO. Untuk katalis dengan komposisi 5%CuO memiliki aktivitas fotokatalis yang paling rendah dibandingkan dengan katalis lainnya.

Semakin meningkat jumlah komposisi CuO pada katalis TiO<sub>2</sub>-CuO menyebabkan aktivitas katalis semakin menurun. Menurut Slamet dkk. (2007)

permukaan aktif  $\text{TiO}_2$  pada katalis dengan komposisi CuO di atas 3% tertutupi oleh kristal CuO sehingga aktivitas fotokatalis menurun. Penambahan dopan CuO yang bertujuan untuk mencegah reaksi rekombinasi antara *electron* dan *hole* tidak berperan secara optimal. CuO dengan komposisi di atas 3% menjadi penghalang reaksi oksidasi senyawa LAS sehingga aktivitas fotokatalis tidak berjalan secara optimal. Pada katalis dengan komposisi CuO kurang dari 3% kristal CuO berfungsi sebagai dopan, yaitu sebagai penangkap elektron untuk mencegah reaksi rekombinasi sehingga aktivitas katalis dapat meningkat.



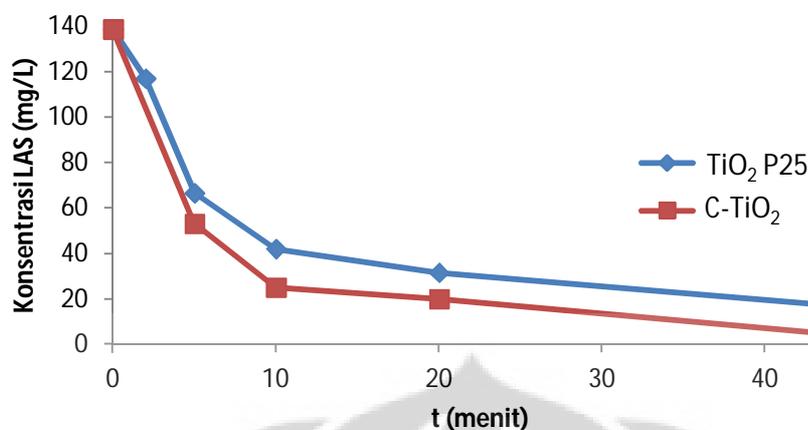
**Gambar 4. 10** Aktivitas fotokatalis CuO-TiO<sub>2</sub> pada 20 menit pertama

Walaupun fotokatalis 1%CuO-TiO<sub>2</sub> memberikan aktivitas optimal, sebenarnya hasilnya tidak berbeda jauh dengan katalis TiO<sub>2</sub> P25. Hal ini disebabkan karena pada waktu sintesis katalis CuO-TiO<sub>2</sub>, sebelum dikalsinasi katalis dilarutkan kembali dalam aquades untuk dijadikan sol katalis *coating*. Akibatnya, CuO belum sempat terbentuk dan terurai kembali menjadi ion Cu pada saat dilarutkan sehingga aktivitas katalis menjadi tidak berbeda jauh.

#### 4.4 Pengaruh dopan C dan sumber foton

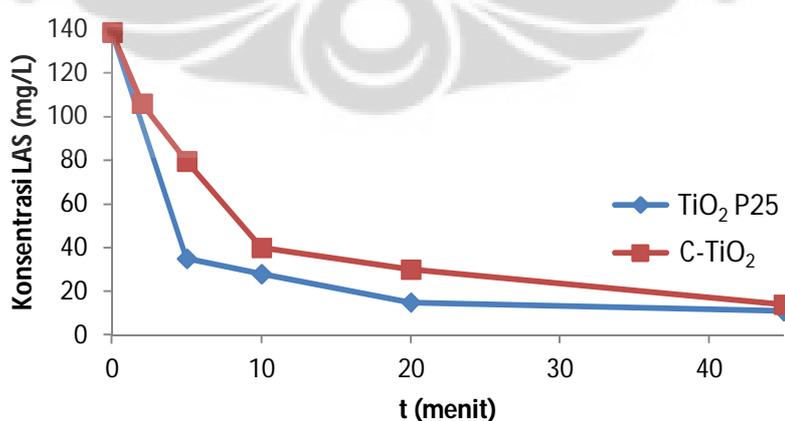
Pengaruh keberadaan dopan karbon dalam TiO<sub>2</sub> diamati dengan membandingkan aktivitas fotokatalis C-TiO<sub>2</sub> dengan fotokatalis TiO<sub>2</sub> P25 dalam mendegradasi senyawa Linear Alkilbenzena Sulfonat menggunakan lampu merkuri. Massa fotokatalis yang digunakan masing-masing adalah 3,5 gram,

volume LAS adalah 300 mL, konsentrasi awal LAS yang digunakan adalah 138,6 ppm, serta waktu pengujian selama 45 menit.



**Gambar 4. 11** Pengaruh dopan C terhadap degradasi LAS dengan sumber foton lampu merkuri  
( $V_{LAS} = 300$  mL, Batu apung = 20 gram, Berat fotokatalis: 3,5 g)

Pada Gambar 4.11 terlihat bahwa aktivitas fotokatalis C-TiO<sub>2</sub> lebih bagus daripada fotokatalis TiO<sub>2</sub> P25. Hal ini dikarenakan *bandgap* fotokatalis C-TiO<sub>2</sub> lebih rendah daripada *bandgap* fotokatalis TiO<sub>2</sub> P25 sehingga memperpanjang batas absorpsi ke rentang sinar tampak. Akibatnya, lebih banyak partikel TiO<sub>2</sub> yang teraktivasi pada fotokatalis C-TiO<sub>2</sub>. Wu, et al. (2010) mempercayai penambahan dopan C dapat meningkatkan aktivitas fotokatalis pada sinar tampak. Wang dan Lewis (2006) mengatakan bahwa dopan C sangat menjanjikan karena terdapat tumpang-tindih yang signifikan antara orbital 2p atom O dan karbon yang terletak di dekat tepi pita valensi.

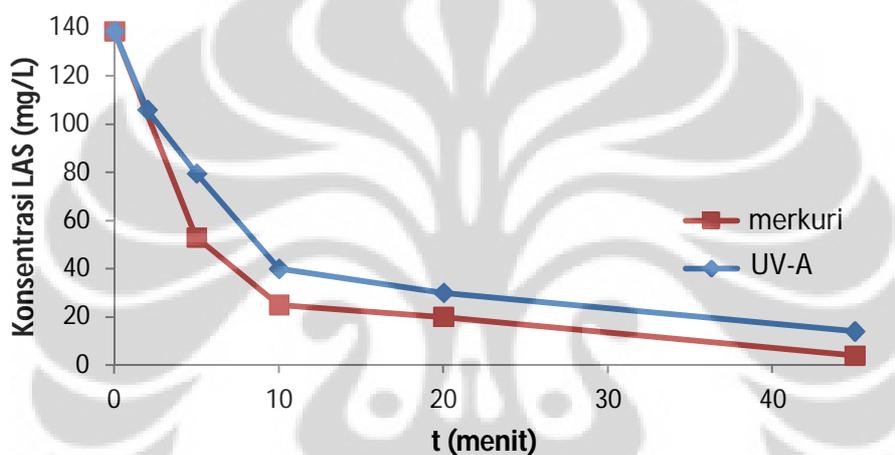


**Gambar 4. 12** Pengaruh dopan C terhadap degradasi LAS dengan sumber foton  
UV blacklight lamp

( $V_{LAS} = 300$  mL, Batu apung = 20 gram, Berat fotokatalis: 3,5 g)

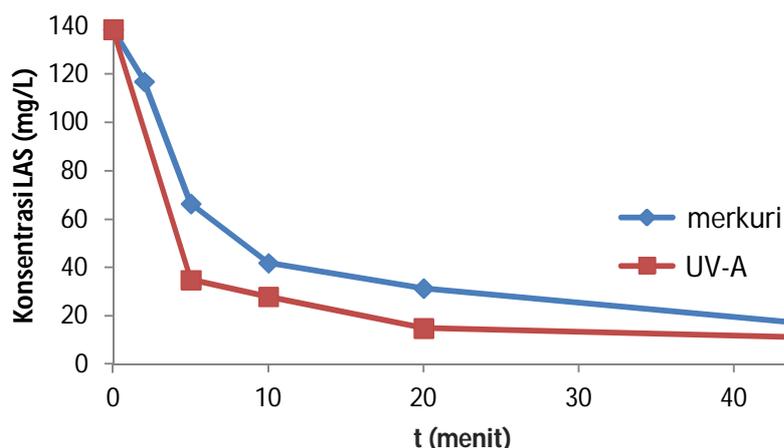
Pada Gambar 4.12 terlihat bahwa aktivitas fotokatalis C-TiO<sub>2</sub> lebih rendah daripada fotokatalis TiO<sub>2</sub> P25 dengan sinar UV-A. Hal ini mungkin disebabkan terdapat sebagian atom C yang menempel pada permukaan aktif TiO<sub>2</sub> sehingga menghambat aktivasi TiO<sub>2</sub>.

Pengaruh sumber foton diamati dengan menggunakan UV *blacklight lamp* dan lampu merkuri (Hg). Fotokatalis yang digunakan adalah C-TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub> P25. Massa fotokatalis yang digunakan adalah 3,5 gram, volume LAS adalah 300 mL, konsentrasi awal LAS yang digunakan adalah 138,6 ppm, serta waktu pengujian selama 45 menit.



**Gambar 4.13** Pengaruh perbedaan sumber foton dengan fotokatalis C-TiO<sub>2</sub>  
(V<sub>LAS</sub> = 300 ml, Batu apung = 20 g)

Pada Gambar 4.13 terlihat bahwa aktivitas fotokatalis C-TiO<sub>2</sub> pada sinar merkuri lebih bagus jika dibandingkan pada sinar UV-A. Hal ini dikarenakan *bandgap* fotokatalis C-TiO<sub>2</sub> yang rendah memperpanjang batas absorpsi sinar fotokatalis ke rentang sinar tampak sehingga lebih banyak energi foton yang diterima oleh fotokatalis C-TiO<sub>2</sub> pada sinar tampak.

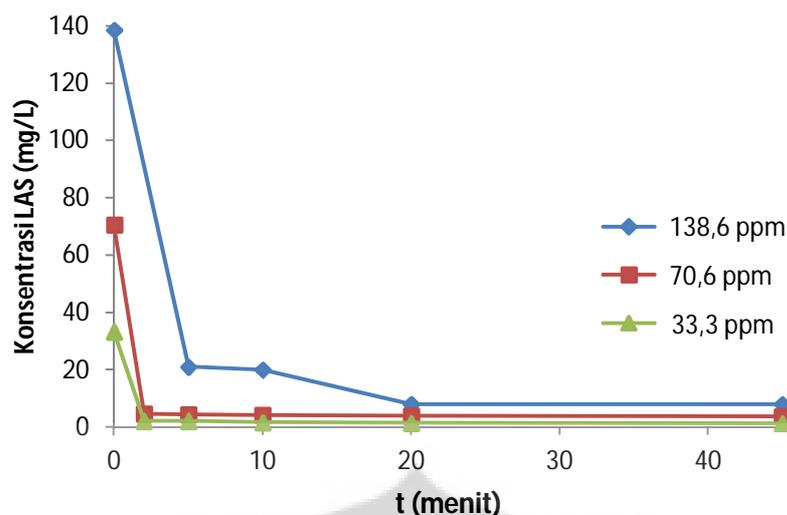


**Gambar 4. 14** Pengaruh perbedaan sumber foton dengan fotokatalis  $\text{TiO}_2$  P25  
( $V_{\text{LAS}} = 300$  ml, Batu apung = 20 g)

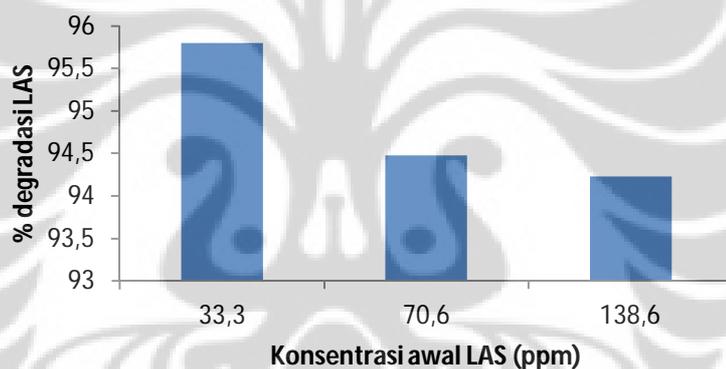
Pada Gambar 4.14 terlihat bahwa aktivitas fotokatalis  $\text{TiO}_2$  P25 lebih bagus dengan UV *blacklight lamp*. Aktivitas fotokatalis  $\text{TiO}_2$  P25 lebih bagus pada sinar UV-A karena terbantu oleh adanya proses fotokimia dari sinar UV-A. LAS dapat terdegradasi dengan sinar UV-A namun tingkat degradasinya kecil (Venhuis, 2004). Pada lampu merkuri berdasarkan perhitungan yang dilakukan Valentina (2011) pada jenis lampu yang sama, lampu merkuri yang digunakan terdiri dari 17,25% sinar UV dan 82,75% sinar tampak. Meskipun mengandung sinar UV lebih dari 10%, sebagian besar sinar yang dihasilkan adalah sinar tampak. Fotokatalis  $\text{TiO}_2$  P25 yang memiliki *energy bandgap* 3,28 eV tidak dapat teraktivasi pada sinar tampak sehingga kurang responsif terhadap lampu merkuri.

#### 4.5 Pengaruh variasi konsentrasi awal senyawa LAS

Pengaruh perbedaan konsentrasi awal senyawa LAS diamati dengan menggunakan variasi konsentrasi awal sebesar 33,3 ppm, 70,6 ppm, dan 138,6 ppm. Fotokatalis yang digunakan adalah fotokatalis yang memberikan hasil degradasi optimum pada konsentrasi awal LAS sebesar 138,6 ppm, yaitu 1% CuO- $\text{TiO}_2$  dengan menggunakan sinar UV-A. Massa fotokatalis yang digunakan adalah 3,5 gram, volume LAS adalah 300 mL, serta waktu pengujian selama 45 menit.



**Gambar 4.15** Pengaruh variasi konsentrasi awal LAS terhadap degradasi LAS ( $V_{LAS} = 300$  mL, Batu apung = 20 gram, Sumber Foton: UV *blacklight lamp*, Fotokatalis: 1%CuO-TiO<sub>2</sub>)



**Gambar 4.16** Efek variasi konsentrasi awal LAS terhadap efisiensi degradasi LAS

Pada Gambar 4.15 dan 4.16 terlihat bahwa semakin meningkat konsentrasi awal LAS, tingkat degradasi LAS semakin menurun. Dengan densitas radikal yang sama di seluruh larutan, larutan yang mengandung konsentrasi LAS rendah dengan laju radikal hidroksil sama, akan mempunyai laju transformasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan larutan yang mengandung konsentrasi LAS lebih tinggi (Ghanbarian, 2011). Alasan lain menurut Konstantinou et al. (2004) adalah intervensi dari produk tengah yang ada sebagai hasil dekomposisi molekul LAS. Pada konsentrasi LAS yang tinggi, semakin lama permukaan aktif TiO<sub>2</sub> akan tertutupi oleh ion LAS. Akibatnya, produksi OH radikal pada katalis menurun. Selanjutnya, densitas LAS yang lebih tinggi mengabsorpsi banyak foton sehingga

foton yang tersedia untuk aktivasi  $\text{TiO}_2$  menurun. Oleh karena itu, laju transformasi untuk konsentrasi LAS yang rendah lebih tinggi pada periode waktu yang sama.



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 KESIMPULAN**

1. Senyawa Linear Alkilbenzena Sulfonat dapat terdegradasi dengan fotokatalis komposit berbasis TiO<sub>2</sub> dan batu apung.
2. Batu apung mempunyai kontribusi sebagai adsorben namun sangat kecil pengaruhnya sehingga lebih bersifat sebagai penyangga untuk fotokatalis dengan kelebihanannya adalah fotokatalis dapat dipakai berulang-ulang dan mempermudah proses separasi.
3. Dopan CuO mampu meningkatkan aktivitas fotokatalis TiO<sub>2</sub> P25 dalam mendegradasi senyawa Linear Alkilbenzena Sulfonat dengan komposisi yang optimal adalah 1%CuO-TiO<sub>2</sub>.
4. Fotokatalis 1%CuO-TiO<sub>2</sub> mampu mendegradasi senyawa Linear Alkilbenzena Sulfonat sebanyak 300 ml dari konsentrasi awal LAS sebesar 138,6 ppm dengan tingkat degradasi lebih dari 94% dalam waktu 20 menit menggunakan lampu UV-A sebagai sumber foton.
5. Pemberian dopan karbon pada fotokatalis TiO<sub>2</sub> mampu menggeser panjang gelombang absorbansi sehingga fotokatalis mampu teraktivasi dalam sinar tampak.
6. Fotokatalis C-TiO<sub>2</sub> mampu memberikan tingkat degradasi senyawa LAS lebih dari 85% dalam waktu 20 menit menggunakan lampu merkuri sebagai sumber foton.
7. Aktivitas fotokatalis TiO<sub>2</sub> P25 10% lebih tinggi dengan sinar UV-A dibandingkan dengan lampu merkuri sedangkan aktivitas fotokatalis C-TiO<sub>2</sub> 7% lebih tinggi dengan lampu merkuri dibandingkan dengan sinar UV-A.

#### **5.2 SARAN**

1. Analisis MBAS (*Methylene Blue Active Substances*) sebaiknya dilakukan sendiri untuk mengurangi faktor pengenceran.
2. Pengukuran MBAS dicoba dilakukan pada panjang gelombang berbeda agar diketahui panjang gelombang yang optimum.

3. Variasi konsentrasi awal LAS untuk selanjutnya dilakukan antara 70,6-138,6 ppm agar dapat diketahui konsentrasi maksimal LAS dengan waktu yang sama.
4. Analisis TOC sebaiknya dilakukan untuk mengetahui mekanisme dan produk intermediat yang mungkin terjadi.



## DAFTAR PUSTAKA

- Afrozi, Agus Salim. (2010). Sintesis dan Karakterisasi Katalis Nanokomposit Berbasis Titania untuk Produksi Hidrogen dari Gliserol dan Air. Depok: Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.
- Anonim. "Batu Apung (Pumice Stone)," <http://www.senyawa.com/2011/01/batu-apung.html>. Diakses tanggal 28 April 2011.
- Blake, D.M. (1997). Bibliography of Work on the Photocatalytic Removal of Hazardous Compounds from Water and Air, NREL/TP-430-22197.
- Budiawan, Y. Fatisa, Neera Khairani. (2009). Optimasi Biodegradabilitas dan Uji Toksisitas Hasil Degradasi Surfaktan Linear Alkilbenzena Sulfonat (LAS) sebagai Bahan Deterjen Pembersih. *Makara*. Depok, Universitas Indonesia. 13, 125-133.
- Bulla, D. A. P., N. I. Morimoto. (1998). Deposition of thick TEOS PECVD silicon oxide layers for integrated optical waveguide applications. *Thin Solid Films*, 334, 60-64.
- Chuan, X. Y., M. Hirano, M. Inagaki. (2004). Preparation and photocatalytic performance of anatase-mounted natural porous silica, pumice, by hydrolysis under hydrothermal conditions. *Appl. Catal. B: Environ.*, 51, 255-260.
- Dang, Thi My D., D. Dam Le, V. Thang Chau, M. Chien Dang. (2010). Visible-light photocatalytic activity of N/SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> thin films on glass. *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol.* 1 015004 (5pp).
- Elsgaard, L., S. O. Petersen, K. Deboasz. (2001). Effects and risk assessment of linear alkylbenzene sulfonates in agricultural soil. 2. Effects on soil microbiology as influenced by sewage sludge and incubation time. *Environ. Toxic. Chem.*, 20, 1664-1672.
- Fujishima, A., T. N. Rao, D. A. Tryk. (2000). Titanium dioxide photocatalysis. *J. Photochem. Photobiol.*, 1, 1-21.
- Galin'ska, A., Walendziewski J. (2005). Photocatalytic water splitting over Pt-TiO<sub>2</sub> in the presence of sacrificial reagents. *Energy & Fuels*, 19, 1143-1147.
- Ghanbarian, M., R. Nabizadeh, A. H. Mahvi, S. Nasser, K. Naddafi. (2011). Photocatalytic degradation of linear alkyl benzene sulfonate from aqueous solution by TiO<sub>2</sub> nanoparticles. *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.*, 8, 309-316.
- Grätzel, Michael. (2001). Photoelectrochemical cells. *Nature*, 414, 338-344.
- Han, C., Z. Li, J. Shen. (2009). Photocatalytic degradation of dodecylbenzenesulfonate over TiO<sub>2</sub>-Cu<sub>2</sub>O under visible irradiation. *J. Hazard. Mater.*, 168, 215-219.
- Hidaka, H. T. Koike, T. Kurihara, N. Serpone. (2004). Dynamics and mechanistic features in photocatalyzed oxidation of disulfonated anionic surfactants on the surface of UV-irradiated titania nanoparticles. *New J. Chem.*, 28, 1100-1106.

- Holmstrup, M., P. Krogh. (2001). Effects and risk assessment of linear alkylbenzene sulfonates in agricultural soil. 3. Sublethal effects on soil invertebrates. *Environ. Toxic. Chem.*, 20, 1673-1679.
- Huang, C., Y. Lin, C. Lu. (2011). Photocatalytic activity and characterization of carbon-modified titania for visible-light-active photodegradation of nitrogen oxides. *Int. J. Photoenergy*, 2012, 1-13.
- Kang, I., Q. Zhang, S. Yin, T. Sato, F. Saito. (2008). Preparation of a visible sensitive carbon doped TiO<sub>2</sub> photo-catalyst by grinding TiO<sub>2</sub> with ethanol and heating treatment. *Appl. Catal. B: Environ.*, 80, 81-87.
- Konstantinou, K., T. A. Albanis. (2004). TiO<sub>2</sub>-assisted photocatalytic degradation of azo dyes in aqueous solution kinetic and mechanistic investigations. A review. *Appl. Catal. B: Environ.*, 49, 1-14.
- Konstantinova E.A., A.I. Kokorin, K. Lips, H. Kisch. (2006). C- and N-doped TiO<sub>2</sub>: visible light photocatalysis and EPR investigation. Moscow State University.
- Kusiak-Nejman, E., M. Janus, B. Grzmił, A. W. Morawski. (2011). Methylene Blue decomposition under visible light irradiation in the presence of carbon-modified TiO<sub>2</sub> photocatalysts. *J. Photocem. Photobio. A: Chem.*, 226, 68-72.
- Licciuli, A., D. Lisi. (2002). "Self-Cleaning Glass," <http://www.antonio.licciulli.unisalento.it/tesine2003/SELF%20CLEANING%20GLASS.pdf>. Diakses tanggal 29 April 2011.
- Manivel, A., S. Naveenraj, P. S. S. Kumar, S. Anandan. (2010). CuO-TiO<sub>2</sub> nanocatalyst for photodegradation of acid red 88 in aqueous solution. *Sci. Adv. Mater.*, 2, 51-57.
- Maryani, Y., I. Kustiningsih, M.Y. Rakhma, H. Nufus. (2010). Seminar Rekayasa Kimia dan Proses "Uji Aktivitas Beberapa Katalis pada Proses Degradasi Seyawa Aktif Deterjen secara Fotokatalitik."
- Mehrvar, M., S. H. Venhuis. (2005). Photocatalytic treatment of linear alkylbenzene sulfonate (LAS) in water. *J. Environ. Sci. Health, Part A* 40, 1003-1012.
- Nam, W. K. Woo, G. Y. Han. (2009). Photooxidation of anionic surfactant (sodium lauryl sulfate) in a three-phase fluidized bed reactor using TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> photocatalyst. *J. Ind. Eng. Chem.*, 15, 348-353.
- Nandiyanto, A. B. D. (2008). Catatan Kecil Mengenai Pengolahan Limbah dengan Menggunakan Sinar Matahari. *Inovasi*. Jepang. 12.
- Oyama, T., A. Aoshima, S. Horikoshi, H. Hidaka, J. Zhao N. Serpone. (2004). Solar photocatalysis, photodegradation of a commercial detergent in aqueous TiO<sub>2</sub> dispersions under sunlight irradiation, *Solar Energy*, 77, 525-532.
- P., Sri Retno. (2009). Skripsi Teknologi Pengolahan Air yang Mengandung Linear Alkil Benzena Sulfonat (LAS) dan Amonia dengan Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran. Depok: Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.

- Prats, B., F. Ruiz, B. Vazques, M. Rodriguezpastor. (1997). Removal of anionic and nonionic surfactants in a wastewater treatment plant with anaerobic digestion. A comparative study. *Wat. Res.*, 31, 1925-1930.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara. (2005). "Batu Apung (Pumice)" [http://www.tekmira.esdm.go.id/data/Batuapung/ulasan.asp?xdir=Batuapung&commId=3&comm=Batu%20apung%20\(pumice\)](http://www.tekmira.esdm.go.id/data/Batuapung/ulasan.asp?xdir=Batuapung&commId=3&comm=Batu%20apung%20(pumice)). Diakses tanggal 28 April 2011.
- Rao, K., V. Subba, A. Rachel, M. Subrahmanyam, P. Boule. (2003). Immobilization of TiO<sub>2</sub> on pumice stone for the photocatalytic degradation of dyes and dye industry pollutants. *Appl. Catal. B: Environ.*, 46, 77-85.
- Schiels, P.J. (n.d.). "Bragg's law and diffraction: how waves reveal the atomic structure of crystal." Mei 24, 2011. <http://www.eserc.stonybrook.edu/ProjectJava/Bragg/>.
- Shao, G. S., L. Liu, T. Y. Ma, F.Y. Wang, T. Z. Ren, Z. Y. Yuan. (2010). Synthesis and characterization of carbon-modified titania photocatalysts with a hierarchical meso-/macroporous structure. *Chem. Eng. J.*, 160, 370-377.
- Shofinita, D.,(2009), "Builder dan Aditif dalam Deterjen." <http://majarimagazine.com/2009/06/builder-dan-aditif-dalam-deterjen/>. Diakses tanggal 14 Maret 2011.
- Slamet, H. W. Nasution, E. Purnama, S. Kosela, J. Gunlazuardi. (2005). Photocatalytic reduction of CO<sub>2</sub> on copper-doped Titania catalysts prepared by improved-impregnation method. *Catal. Commun.*, 6, 313-319.
- Slamet, R. Arbianti, E. Marlina. (2007). Pengolahan limbah Cr(VI) dan fenol dengan fotokatalis serbuk TiO<sub>2</sub> dan CuO/TiO<sub>2</sub>. *Reaktor*, 2, 78-85.
- Slamet, R. F. Raisuli, D. Tristantini. (2009). Disinfeksi bakteri E.coli secara fotokatalitik dengan katalis komposit TiO<sub>2</sub>-karbon aktif berpenyangga batu apung. Depok: Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia
- SNI. 2005. *Air dan air limbah – Bagian 51: Cara uji kadar surfaktan anionik dengan spektrofotometer secara biru metilen No 06-6989.51-200*.
- Stylidi, M., D.I. Kondarides, X.E Verykios. (2003). Pathways of solar light-induced photocatalytic degradation of azo dyes in aqueous TiO<sub>2</sub> suspensions. *Appl. Catal. B: Environ.*, 40, 271-274.
- Valentina. (2011). Uji kinerja komposit Pt-N-TiO<sub>2</sub> nanotube yang diaktivasi sinar tampak untuk produksi hydrogen dari air dan gliserol. Depok: Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.
- Venhuis, Sarah R. H. (2004). Photolytic and photocatalytic treatment of linear alkylbenzene sulfonate in water. Program of Environmental Applied Science and Management, Ryerson University.
- Venhuis, S.H., M. Mehrvar. (2004). Health effects, environmental impacts, and photochemical degradation of selected surfactants in water. *Int. J. Photoenergy*, 6, 115–125.

- Wang, H. and J. P. Lewis. (2006). Second-generation photocatalytic materials: anion-doped TiO<sub>2</sub>. *J. Phys.: Condens. Matter.*, 18, 421-434.
- Wu, Y., J. Zhang, L. Xiao, F. Chen. (2010). Properties of carbon and iron modified TiO<sub>2</sub> photocatalyst synthesized at low temperature and photodegradation of acid orange 7 under visible light. *Appl. Surface Sci.*, 256, 4260-4268.
- Xu, B., L. Dong, Y. Chen. (1998). Influence of CuO loading on dispersion and reduction behavior of CuO TiO<sub>2</sub> (anatase) system. *J. Chem. Soc., Faraday Trans.*, 94 (13), 1905-1909.
- Zahri, Abdul. (2004). Pengaruh linear alkylbenzena sulfonat (LAS) terhadap tingkat mortalitas dan kerusakan struktural jaringan insang pada ikan nila (*Oreochromis niloticus* L.). Maluku: Teknologi Budaya Perairan Politeknik Perikanan Negeri Tual.
- Zaleska, A. (2008). Doped-TiO<sub>2</sub>: A Review. *Recent Patents on Eng.*, 2, 157-164.



## LAMPIRAN

### LAMPIRAN A. HASIL PENGUJIAN KONSENTRASI SENYAWA LINEAR ALKILBENZENA SULFONAT DENGAN METODE MBAS

A.1 Data penurunan konsentrasi LAS untuk berbagai variasi

**Tabel A. 1** Tabel data penurunan konsentrasi LAS untuk uji variasi dopan dan fotokatalis TiO<sub>2</sub> P25 pada sinar UV-A

menit	Konsentrasi LAS (mg/L)				
	1%CuO-TiO <sub>2</sub>	3%CuO-TiO <sub>2</sub>	5%CuO-TiO <sub>2</sub>	C- TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub> P25
0	138,6	138,6	138,6	138,6	138,6
5	21	26	47	80	35
10	20	17	43	40	28
20	8	10	36	30	15
45	8	10	25	14	11

**Tabel A. 2** Tabel data penurunan konsentrasi LAS untuk uji katalis C-TiO<sub>2</sub> dan batu apung tanpa katalis dengan lampu merkuri

menit	Konsentrasi LAS (mg/L)		
	TiO <sub>2</sub> P25	C-TiO <sub>2</sub>	batu apung tanpa katalis
0	138,6	138,6	138,6
5	117	53	135
10	66,5	25	134
20	42	20	131
45	31,5	4	129

**Tabel A. 3** Tabel data penurunan konsentrasi LAS untuk uji variasi konsentrasi awal LAS dengan fotokatalis 1%CuO-TiO<sub>2</sub> menggunakan sinar UV-A

menit	Konsentrasi LAS (mg/L)	
0	70,6	33,3
2	4,7	2,1
5	4,4	2,1
10	4,2	1,6
20	3,9	1,4
45	3,7	1,3

## LAMPIRAN B. DATA KARAKTERISASI UV-VIS DRS

**Tabel B. 1** Data karakterisasi UV-Vis DRS untuk TiO<sub>2</sub> P25 dan C-TiO<sub>2</sub>

Panjang Gelombang (nm)	% Absorbansi		% Reflektansi	
	C-TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub> P25	C-TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub> P25
200	1,412	1,382	3,984	3,944
201	1,417	1,382	3,963	3,963
202	1,412	1,388	3,856	4,041
203	1,399	1,392	3,912	3,915
204	1,41	1,398	3,955	3,754
205	1,417	1,41	3,964	3,821
206	1,416	1,41	4,071	3,885
207	1,419	1,402	3,998	3,845
208	1,42	1,407	3,83	3,751
209	1,419	1,411	3,795	3,746
210	1,412	1,417	3,761	3,783
211	1,424	1,422	3,716	3,731
212	1,432	1,419	3,787	3,703
213	1,429	1,413	3,725	3,726
214	1,424	1,418	3,711	3,656
215	1,425	1,437	3,72	3,638
216	1,433	1,443	3,667	3,67
217	1,43	1,435	3,705	3,731
218	1,432	1,435	3,731	3,772
219	1,432	1,437	3,688	3,693
220	1,427	1,436	3,661	3,6
221	1,426	1,446	3,77	3,592
222	1,432	1,45	3,777	3,639
223	1,434	1,446	3,754	3,609
224	1,433	1,445	3,781	3,589
225	1,432	1,443	3,714	3,645
226	1,43	1,443	3,677	3,606
227	1,43	1,445	3,65	3,537
228	1,431	1,448	3,648	3,568
229	1,431	1,452	3,664	3,555
230	1,43	1,447	3,714	3,487
231	1,43	1,441	3,746	3,464
232	1,434	1,452	3,741	3,502
233	1,435	1,459	3,714	3,546
234	1,429	1,451	3,688	3,587

(Lanjutan)

Panjang Gelombang (nm)	% Absorbansi		% Reflektansi	
	C-TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub> P25	C-TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub> P25
235	1,422	1,448	3,725	3,612
236	1,426	1,444	3,784	3,581
237	1,429	1,443	3,752	3,593
238	1,429	1,451	3,705	3,583
239	1,425	1,451	3,748	3,54
240	1,423	1,45	3,777	3,557
241	1,427	1,449	3,777	3,571
242	1,423	1,449	3,786	3,558
243	1,418	1,446	3,795	3,574
244	1,418	1,445	3,816	3,607
245	1,422	1,447	3,802	3,595
246	1,421	1,446	3,781	3,606
247	1,411	1,447	3,842	3,651
248	1,406	1,448	3,889	3,632
249	1,409	1,45	3,915	3,589
250	1,409	1,446	3,912	3,587
251	1,406	1,439	3,908	3,575
252	1,405	1,438	3,932	3,596
253	1,403	1,44	3,931	3,642
254	1,402	1,442	3,909	3,664
255	1,406	1,439	3,918	3,654
256	1,404	1,436	3,961	3,667
257	1,401	1,439	4,004	3,668
258	1,403	1,438	4,027	3,656
259	1,397	1,435	4,034	3,682
260	1,396	1,442	4,039	3,644
261	1,398	1,439	3,99	3,639
262	1,397	1,432	3,954	3,668
263	1,396	1,433	3,984	3,656
264	1,392	1,435	4,041	3,659
265	1,39	1,433	4,099	3,682
266	1,394	1,428	4,109	3,711
267	1,395	1,428	4,089	3,699
268	1,392	1,433	4,085	3,705
269	1,387	1,431	4,074	3,745
270	1,386	1,426	4,079	3,757
271	1,387	1,422	4,076	3,745
272	1,386	1,425	4,036	3,741

(Lanjutan)

Panjang Gelombang (nm)	% Absorbansi		% Reflektansi	
	C-TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub> P25	C-TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub> P25
273	1,387	1,432	4,057	3,786
274	1,384	1,436	4,106	3,801
275	1,382	1,435	4,141	3,746
276	1,379	1,426	4,153	3,732
277	1,38	1,426	4,077	3,786
278	1,386	1,428	4,077	3,819
279	1,388	1,424	4,128	3,838
280	1,381	1,423	4,137	3,841
281	1,38	1,422	4,152	3,818
282	1,385	1,421	4,163	3,827
283	1,388	1,422	4,152	3,824
284	1,387	1,424	4,166	3,816
285	1,38	1,42	4,224	3,88
286	1,376	1,413	4,192	3,899
287	1,378	1,414	4,143	3,873
288	1,383	1,412	4,15	3,871
289	1,38	1,408	4,144	3,853
290	1,375	1,408	4,17	3,868
291	1,379	1,412	4,15	3,903
292	1,38	1,412	4,126	3,903
293	1,372	1,406	4,164	3,864
294	1,374	1,402	4,181	3,932
295	1,374	1,402	4,181	3,973
296	1,374	1,406	4,205	3,955
297	1,376	1,401	4,193	4,018
298	1,372	1,401	4,207	4,06
299	1,373	1,404	4,227	4,074
300	1,375	1,4	4,225	4,086
301	1,373	1,394	4,224	4,071
302	1,373	1,39	4,187	4,042
303	1,368	1,389	4,224	4,085
304	1,361	1,388	4,276	4,103
305	1,364	1,38	4,269	4,1
306	1,371	1,383	4,262	4,14
307	1,37	1,383	4,257	4,185
308	1,362	1,379	4,338	4,228
309	1,358	1,381	4,404	4,268
310	1,358	1,378	4,321	4,26

(Lanjutan)

Panjang Gelombang (nm)	% Absorbansi		% Reflektansi	
	C-TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub> P25	C-TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub> P25
311	1,357	1,369	4,352	4,254
312	1,354	1,359	4,436	4,33
313	1,349	1,357	4,445	4,337
314	1,344	1,355	4,443	4,411
315	1,342	1,349	4,453	4,543
316	1,344	1,343	4,492	4,553
317	1,344	1,332	4,521	4,642
318	1,339	1,318	4,576	4,776
319	1,33	1,313	4,643	4,802
320	1,329	1,301	4,712	4,874
321	1,328	1,293	4,771	5,028
322	1,315	1,286	4,8	5,167
323	1,304	1,273	4,861	5,334
324	1,299	1,257	4,968	5,542
325	1,294	1,24	5,009	5,806
326	1,284	1,228	5,116	5,951
327	1,271	1,215	5,27	6,104
328	1,264	1,196	5,411	6,4
329	1,257	1,173	5,617	6,67
330	1,248	1,153	5,73	6,987
331	1,239	1,133	5,786	7,381
332	1,229	1,115	5,888	7,722
333	1,22	1,099	6,035	7,99
334	1,209	1,074	6,229	8,351
335	1,196	1,049	6,427	8,81
336	1,185	1,03	6,621	9,239
337	1,171	1,012	6,799	9,654
338	1,16	0,993	6,934	10,075
339	1,15	0,976	7,132	10,425
340	1,133	0,959	7,373	10,854
341	1,118	0,94	7,567	11,47
342	1,108	0,919	7,742	12,009
343	1,096	0,903	8,017	12,495
344	1,083	0,885	8,308	12,994
345	1,068	0,864	8,58	13,528
346	1,056	0,847	8,701	14,078
347	1,047	0,831	8,821	14,821
348	1,033	0,816	9,206	15,408
349	1,015	0,795	9,679	16,043
350	1,001	0,773	9,99	16,805

(Lanjutan)

Panjang Gelombang (nm)	% Absorbansi		% Reflektansi	
	C-TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub> P25	C-TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub> P25
351	0,988	0,759	10,228	17,581
352	0,974	0,742	10,593	18,437
353	0,961	0,722	10,915	18,964
354	0,942	0,701	11,234	19,644
355	0,924	0,68	11,787	20,522
356	0,91	0,662	12,434	21,593
357	0,891	0,646	12,816	22,656
358	0,877	0,625	13,242	23,672
359	0,867	0,606	13,734	24,782
360	0,847	0,588	14,314	25,996
361	0,822	0,567	15,085	27,162
362	0,801	0,55	15,776	28,145
363	0,784	0,538	16,339	29,068
364	0,765	0,521	17,021	30,321
365	0,743	0,5	17,947	31,789
366	0,727	0,482	18,823	32,997
367	0,71	0,466	19,559	34,18
368	0,693	0,452	20,348	35,455
369	0,676	0,437	21,109	36,665
370	0,658	0,422	21,852	37,84
371	0,643	0,411	22,723	39,003
372	0,63	0,399	23,479	40,002
373	0,614	0,386	24,255	41,129
374	0,599	0,375	25,165	42,297
375	0,586	0,363	25,993	43,388
376	0,571	0,353	26,93	44,328
377	0,556	0,343	27,815	45,372
378	0,544	0,332	6,934	10,075
379	0,53	0,321	7,132	10,425
380	0,515	0,313	7,373	10,854
381	0,501	0,304	7,567	11,47
382	0,487	0,294	7,742	12,009
383	0,472	0,284	8,017	12,495
384	0,458	0,276	8,308	12,994
385	0,443	0,266	8,58	13,528
386	0,428	0,256	8,701	14,078
387	0,412	0,246	8,821	14,821
388	0,395	0,236	9,206	15,408
389	0,38	0,225	9,679	16,043
390	0,364	0,214	9,99	16,805

(Lanjutan)

Panjang Gelombang (nm)	% Absorbansi		% Reflektansi	
	C-TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub> P25	C-TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub> P25
391	0,346	0,205	10,228	17,581
392	0,329	0,197	10,593	18,437
393	0,314	0,187	10,915	18,964
394	0,299	0,178	11,234	19,644
395	0,284	0,17	11,787	20,522
396	0,27	0,161	12,434	21,593
397	0,255	0,154	12,816	22,656
398	0,242	0,148	13,242	23,672
399	0,23	0,141	13,734	24,782
400	0,217	0,134	14,314	25,996
401	0,204	0,128	15,085	27,162
402	0,193	0,122	15,776	28,145
403	0,183	0,117	16,339	29,068
404	0,173	0,112	17,021	30,321
405	0,163	0,108	17,947	31,789
406	0,154	0,104	18,823	32,997
407	0,146	0,1	19,559	34,18
408	0,138	0,097	20,348	35,455
409	0,132	0,093	21,109	36,665
410	0,126	0,091	21,852	37,84
411	0,121	0,09	22,723	39,003
412	0,116	0,088	23,479	40,002
413	0,112	0,086	24,255	41,129
414	0,108	0,084	25,165	42,297
415	0,105	0,083	25,993	43,388
416	0,102	0,082	26,93	44,328
417	0,1	0,081	27,815	45,372
418	0,099	0,08	79,64	83,02
419	0,097	0,08	79,953	83,13
420	0,095	0,079	80,385	83,334
421	0,093	0,078	80,743	83,461
422	0,091	0,078	80,946	83,53
423	0,09	0,079	81,177	83,603
424	0,09	0,079	81,313	83,606
425	0,088	0,078	81,482	83,626
426	0,087	0,076	81,688	83,728
427	0,087	0,076	81,691	83,83
428	0,087	0,077	81,776	83,818
429	0,086	0,077	81,862	83,78
430	0,086	0,077	81,917	83,704

(Lanjutan)

Panjang Gelombang (nm)	% Absorbansi		% Reflektansi	
	C-TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub> P25	C-TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub> P25
431	0,085	0,077	82,092	83,63
432	0,084	0,077	82,166	83,765
433	0,084	0,077	82,198	83,878
434	0,084	0,077	82,275	83,791
435	0,083	0,077	82,411	83,757
436	0,083	0,077	82,492	83,798
437	0,083	0,077	82,454	83,786
438	0,083	0,077	82,448	83,742
439	0,083	0,077	82,455	83,71
440	0,082	0,078	82,565	83,641
441	0,082	0,078	82,722	83,583
442	0,082	0,078	82,747	83,565
443	0,082	0,077	82,771	83,643
444	0,082	0,077	82,813	83,742
445	0,082	0,078	82,826	83,708
446	0,082	0,078	82,848	83,574
447	0,082	0,078	82,881	83,514
448	0,081	0,078	82,933	83,591
449	0,081	0,078	82,967	83,58
450	0,08	0,078	82,976	83,519
451	0,081	0,078	82,942	83,534
452	0,081	0,078	82,907	83,556
453	0,08	0,078	82,974	83,507
454	0,08	0,078	83,07	83,449
455	0,081	0,079	83,105	83,406
456	0,08	0,078	83,098	83,47
457	0,08	0,078	83,177	83,446
458	0,079	0,078	83,153	83,389
459	0,08	0,079	83,057	83,421
460	0,08	0,079	83,128	83,374
461	0,08	0,079	83,192	83,36
462	0,08	0,079	83,138	83,313
463	0,08	0,079	83,133	83,281
464	0,079	0,08	83,238	83,224
465	0,078	0,08	83,281	83,17
466	0,079	0,079	83,307	83,185
467	0,079	0,079	83,336	83,176
468	0,079	0,079	83,33	83,235
469	0,079	0,08	83,26	83,264
470	0,079	0,08	83,217	83,24

(Lanjutan)

Panjang Gelombang (nm)	% Absorbansi		% Reflektansi	
	C-TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub> P25	C-TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub> P25
471	0,079	0,08	83,295	83,295
472	0,079	0,08	83,342	83,313
473	0,079	0,08	83,296	83,18
474	0,079	0,08	83,311	83,066
475	0,079	0,08	83,374	83,075
476	0,079	0,08	83,4	83,084
477	0,079	0,081	83,444	83,034
478	0,078	0,081	83,406	82,996
479	0,079	0,081	83,377	82,971
480	0,079	0,081	83,437	82,924
481	0,079	0,081	83,496	82,977
482	0,078	0,081	83,505	82,997
483	0,078	0,081	83,441	82,86
484	0,078	0,081	83,406	82,841
485	0,078	0,081	83,455	82,867
486	0,078	0,082	83,499	82,841
487	0,078	0,082	83,517	82,872
488	0,078	0,081	83,466	82,932
489	0,079	0,081	83,43	82,893
490	0,078	0,082	83,499	82,765
491	0,078	0,083	83,51	82,697
492	0,078	0,083	83,449	82,735
493	0,079	0,082	83,386	82,745
494	0,078	0,083	83,408	82,7
495	0,078	0,083	83,485	82,71
496	0,078	0,082	83,537	82,695
497	0,078	0,082	83,568	82,617
498	0,078	0,082	83,524	82,622
499	0,078	0,082	83,54	82,648
500	0,077	0,083	83,51	82,66

### LAMPIRAN C. FOTO KEGIATAN



**Gambar C. 1** Reaktor untuk pengujian degradasi LAS.

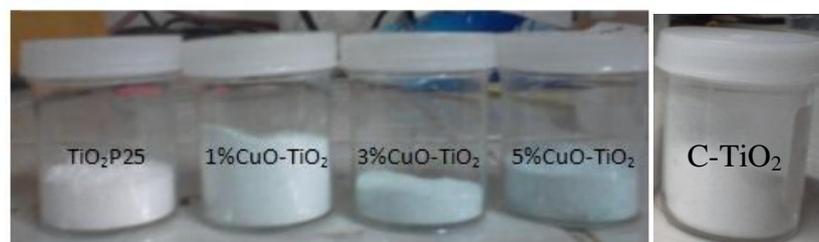


**Gambar C. 2** Pengujian degradasi LAS.



a.                      b.                      c.

**Gambar C. 3** Batu apung: a. batu apung sebelum *pretreatment*; b. batu apung setelah *pretreatment*; c. batu apung yang dilapisi katalis.



**Gambar C.4** Katalis yang telah dibuat.



**Gambar C.5** Perendaman batu apung dalam sol katalis dengan metode *dip coating*.



a.

b.

**Gambar C.6** Pengeringan batu apung dengan *hair dryer*: a. pengeringan saat *dip coating* yang pertama; b. pengeringan saat *dip coating* yang ke-5.



**Gambar C.7** Batu apung setelah proses *dip coating* sebanyak 5 kali.