

**DEGRADASI FENOL PADA REAKTOR  
FOTOKATALITIK TiO<sub>2</sub>**

**SKRIPSI**

*Diajukan sebagai Salah Satu Persyaratan guna  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains*



**Oleh**

**SILVIA HAYATI  
NIM. 73289**

**PROGRAM STUDI KIMIA  
JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG  
2011**

**PERSETUJUAN SKRIPSI**

**DEGRADASI FENOL PADA REAKTOR  
FOTOKATALITIK TiO<sub>2</sub>**

**Nama** : Silvia Hayati  
**NIM** : 73289  
**Program Studi** : Kimia  
**Jurusan** : Kimia  
**Fakultas** : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**Padang, 25 Januari 2011**

**Disetujui oleh :**

**Pembimbing I**



**Dr. Hardeli, M.Si**  
NIP. 19640113 199103 1 001

**Pembimbing II**



**Dra. Hj. Bayharti, M.Sc**  
NIP. 19550801 197903 2 001

## PENGESAHAN

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi  
Program Studi Kimia Jurusan Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Padang

**Judul** : Degradasi Fenol pada Reaktor  
Fotokatalitik TiO<sub>2</sub>

**Nama** : Silvia Hayati

**NIM/BP** : 73289/2006

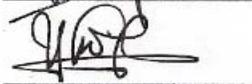
**Program Studi** : Kimia

**Jurusan** : Kimia

**Fakultas** : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 25 Januari 2011

### Tim Penguji

Nama	Tanda Tangan
1. Ketua : Dr. Hardeli, M.Si	1. 
2. Sekretaris : Dra. Hj. Bayharti, M.Sc	2. 
3. Anggota : Dra. Hj. Irma Mon, M.Si	3. 
4. Anggota : Yerimadesi, S.Pd, M.Si	4. 

## SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim.

Padang, 25 Januari 2011

Yang menyatakan,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Silvia Hayati', with a horizontal line underneath the name.

Silvia Hayati

## ABSTRAK

**Silvia Hayati, 2011 : Degradasi Fenol Pada Reaktor Fotokatalitik TiO<sub>2</sub>**

Perkembangan teknologi dan bertambahnya jumlah industri membawa dampak yang cukup besar pada kehidupan manusia. Salah satu aspek negatif yang ditimbulkan adalah limbah. Limbah fenol adalah salah satu limbah industri yang berasal dari industri plastik dan polimer, industri farmasi, industri pulp dan kertas, industri cat, industri pengolahan kayu (kayu lapis), dan industri pestisida organik. Limbah fenol merupakan senyawa organik beracun dan berbahaya bagi lingkungan. Reaktor fotokatalitik TiO<sub>2</sub> diharapkan dapat mengolah limbah fenol. Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap dengan 2 faktor. Faktor pertama adalah jumlah pelapisan TiO<sub>2</sub> yaitu 4, 6, 8, dan 10 kali. Faktor kedua adalah lama penyinaran yaitu 5, 10, 20, 30, 40 dan 50 menit. Dalam penelitian ini digunakan sinar UV yang berasal dari cahaya matahari dan fotokatalis yang digunakan adalah serbuk TiO<sub>2</sub> Degussa P-25. Fenol yang terdegradasi ditentukan dengan Spektrofotometer UV-Vis. Karakterisasi menggunakan XRD dan SEM-EDX. Dari hasil penelitian didapatkan kondisi optimum pada jumlah pelapisan 8 kali dan lama penyinaran 5 menit dengan persentase degradasi sebesar 47,11% dengan tingkat pengisian 0,1285 mg/cm<sup>2</sup> dan ketebalan 0,7823 μm. Hasil karakterisasi dengan XRD menunjukkan TiO<sub>2</sub> P-25 merupakan campuran *anatase* dan *rutile*. Karakterisasi dengan SEM menunjukkan pada pembesaran 20.000 kali struktur nanopori telah terlihat.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “*Degradasi Fenol Pada Reaktor Fotokatalitik TiO<sub>2</sub>*”.

Seluruh kegiatan ini tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak yang telah memberikan dorongan, bantuan moril serta bimbingan. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Hardeli, M.Si., selaku pembimbing I.
2. Ibu Dra. Hj. Bayharti, M.Sc., selaku pembimbing II sekaligus penasehat akademik (PA).
3. Ibu Dra. Hj. Irma Mon, M.Si., dan Ibu Yerimadesi, S.Pd, M.Si sebagai Dosen pembahas.
4. Bapak Drs. Zul Afkar, M.S selaku Ketua Jurusan Kimia.
5. Bapak Drs. Nazir K.S., M.Pd., M.Si selaku Ketua Program Studi Kimia.
6. Ibu-ibu dan Bapak-bapak dosen staf pengajar jurusan kimia FMIPA UNP
7. Operator SEM di Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Laut (P3GL) Bandung dan operator karakterisasi XRD di Universitas Islam Syarif Hidayatullah Jakarta.
8. Karyawan dan Laboran Jurusan Kimia Universitas Negeri Padang.
9. Keluarga penulis yang telah memberikan dukungan baik moril dan materil.

10. Rekan-rekan mahasiswa Jurusan Kimia FMIPA UNP serta semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Dengan bantuan semua pihak skripsi ini dapat penulis selesaikan, semoga segala bantuan, dorongan dan pengorbanan yang telah diberikan menjadi amal ibadah dan dibalas oleh Allah SWT, Amin.

Akhirnya penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat membangun demi tercapainya kesempurnaan skripsi ini.

Padang, Januari 2011

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	viii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang .....	1
B. Perumusan masalah .....	4
C. Pembatasan masalah .....	5
D. Tujuan penelitian.....	5
E. Manfaat penelitian .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Reaktor Fotokatalitik TiO <sub>2</sub> .....	6
B. Kondisi Optimum .....	8
C. Degradasi Fenol	
1. Fenol .....	9
2. Mekanisme Degradasi Fenol.....	10
D. Fotokatalis	
1. Pengertian Fotokotalis .....	12
2. Fotokatalis TiO <sub>2</sub> .....	12

E. Spektrofotometer UV-Vis.....	16
F. Karakterisasi Fotokatalis TiO <sub>2</sub>	
1. Difraksi Sinar X.....	17
2. SEM/EDX.....	18

**BAB II METODE PENELITIAN**

A. Waktu Dan Tempat Penelitian .....	20
B. Variabel Penelitian .....	20
C. Rancangan Penelitian .....	20
D. Alat dan Bahan .....	21
E. Prosedur Kerja .....	21

**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

A. Optimasi Reaktor Fotokatalitik TiO <sub>2</sub> .....	26
B. Karakterisasi dengan SEM/EDX.....	33

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

A. Kesimpulan .....	37
B. Saran.....	37

**DAFTAR PUSTAKA..... 38**

**LAMPIRAN..... 40**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Skema Reaktor Fotokatalitik TiO <sub>2</sub> .....	7
2. Mekanisme Degradasi Fenol.....	11
3. Posisi Energi Celah Beberapa Semikonduktor dalam Larutan pH 1 .....	13
4. Skema Proses Fotoeksitasi dan Deeksitasi .....	14
5. Difraksi Sinar X .....	17
6. Hubungan Absorbansi dan Lama Penyinaran.....	27
7. Hubungan Lama Penyinaran dengan Persentase Degradasi .....	30
8. Hasil Pengukuran Katalis TiO <sub>2</sub> Degussa P-25 dengan alat XRD .....	31
9. Hasil SEM tampak atas dengan pembesaran 20.000 kali .....	34
10. Hasil SEM tampak samping dengan pembesaran 20.000 kali.....	35
11. Hasil pengukuran EDX .....	36

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Rancangan Penelitian.....	21
2. Hasil pengukuran absorbansi fenol.....	26
3. Hubungan ketebalan lapisan dan tingkat pelapisan TiO <sub>2</sub> .....	28
4. Data persentase pada berbagai tingkat pelapisan.....	29
5. Nilai d (A) dari hasil pengukuran dan kartu interpretasi data kristal sintesis TiO <sub>2</sub> .....	32

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Pembersihan kolom gelas .....	40
2. Pembuatan larutan prekursor TiO <sub>2</sub> Degussa P-25 .....	41
3. Immobilisasi katalis TiO <sub>2</sub> .....	42
4. Pembuatan reaktor fotokatalitik TiO <sub>2</sub> .....	43
5. Persiapan sampel fenol .....	44
6. Proses degradasi fenol.....	45
7. Preparasi film fotokatalis untuk karakterisasi XRD .....	46
8. Berat kolom gelas, ketebalan lapisan dan tingkat pengisian TiO <sub>2</sub> , Gambar reaktor fotokatalitik TiO <sub>2</sub> .....	47
9. Selisih persentase sesudah dan sebelum reaksi.....	51
10. Perhitungan penentuan ukuran kristal TiO <sub>2</sub> Degussa P-25 .....	52
11. Hasil pengukuran Spektrofotometer UV-Vis.....	52
12. Data pengukuran XRD .....	58



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang**

Perkembangan teknologi dan pertumbuhan industri membawa dampak yang cukup besar pada kehidupan manusia. Salah satu aspek negatif dari teknologi-teknologi baru tersebut adalah penurunan kualitas lingkungan yang disebabkan oleh limbah industri. Perkembangan teknologi juga menjadi penyebab munculnya sejumlah limbah dan senyawa kimia yang tidak dapat ditangani dengan cara-cara lama. Kebanyakan limbah dari kegiatan industri merupakan limbah cair yang perlu ditangani dalam jumlah besar secara cepat, efektif, dan efisien (Hardeli dan Andromeda, 2009).

Limbah cair merupakan sisa buangan hasil suatu proses yang sudah tidak dipergunakan lagi, baik berupa sisa industri, rumah tangga, peternakan, pertanian, dan sebagainya. Komponen utama limbah cair adalah air (99%) sedangkan komponen lainnya bahan padat yang bergantung pada asal buangan limbah tersebut. Limbah cair memiliki dua karakteristik yaitu karakteristik kimia dan fisika. Karakteristik kimia meliputi kadar keasaman, kadar logam berat beracun, kadar nitrogen, kadar fenol, *BOD*, dan *COD*. Sedangkan karakteristik fisika meliputi padatan, kekeruhan, bau, dan suhu (Adnan, 1984).

Limbah fenol adalah salah satu limbah cair yang berasal dari industri plastik dan polimer, industri farmasi, industri pulp dan kertas, industri cat, industri pengolahan kayu (kayu lapis), dan industri pestisida organik. Limbah fenol

merupakan senyawa organik sangat beracun, menyebabkan rasa dan bau pada air, dapat menghambat aktivitas mikroorganisme dan memberi efek buruk bagi kesehatan dan kualitas hidup manusia. Batas baku limbah fenol bagi kegiatan industri berdasarkan Kep. MENLH No 51/MENLH/10/1995 adalah 0.5 mg/L dan ambang batas mutu dalam air baku minum adalah 0.002 mg/L (Slamet dkk, 2007).

Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengolah limbah fenol adalah penggunaan semikonduktor  $\text{TiO}_2$ . Semikonduktor  $\text{TiO}_2$  digunakan secara luas sebagai fotokatalis karena bersifat inert secara kimia dan biologi, nontoksik dan tidak mahal.  $\text{TiO}_2$  biasanya digunakan dalam bentuk lapisan tipis yang diimmobilisasi pada material pendukung. Material pendukung yang digunakan adalah bahan yang terbuat dari kaca (Kamat, 1993).

Penggunaan semikonduktor  $\text{TiO}_2$  sebagai fotokatalis dapat dilakukan dengan dua cara yaitu suspensi dan immobilisasi. Dalam sistem suspensi dengan partikel yang sangat halus, menghasilkan proses fotokatalitik yang tidak dibatasi oleh transfer masa karena jarak difusi maksimum molekul organik dengan permukaan katalis sangat kecil. Sistem suspensi memiliki banyak kelemahan untuk aplikasi pengolahan limbah dalam skala besar. Kelemahan utama yaitu pemisahan partikel  $\text{TiO}_2$  dari larutan setelah dipakai memerlukan biaya. Kedua, daya tembus UV yang terbatas karena absorpsi yang kuat oleh  $\text{TiO}_2$  dan spesies organik terlarut (Fujishima *et al*, 1999).

Untuk mengurangi masalah yang timbul maka dilakukan pengimobilisasian katalis  $\text{TiO}_2$  pada material pendukung yang sesuai. Keuntungan dari immobilisasi ini adalah mengurangi masalah pemisahan partikel katalis dan

dapat memberikan luas permukaan yang lebih besar. Sehingga, dapat digunakan dalam sistem kontinu. Sistem immobilisasi juga mempunyai kelemahan yaitu keterbatasan kemampuan foton dalam penetrasi pada katalis dan keterbatasan proses transfer massa (Fujishima *et al*, 1999).

Reaktor Fotokatalitik  $\text{TiO}_2$  diharapkan dapat mengatasi keterbatasan kemampuan penetrasi foton pada permukaan katalis dan keterbatasan transfer massa. Reaktor Fotokatalitik  $\text{TiO}_2$  terdiri dari kolom gelas yang telah dilapisi oleh  $\text{TiO}_2$ . Keuntungan dari reaktor fotokatalitik  $\text{TiO}_2$  adalah proses pengolahan limbah tidak membutuhkan tempat yang luas, relatif cepat, tidak memerlukan pemakaian bahan kimia lain, dan memiliki efektifitas dan efisiensi yang tinggi dalam penguraian limbah fenol.

Degradasi fenol pada reaktor fotokatalitik dipengaruhi oleh konsentrasi awal, volume awal, jumlah kolom gelas, laju alir, jumlah pelapisan  $\text{TiO}_2$ , dan lama penyinaran. Secara umum jika volume limbah semakin banyak maka akan lebih sulit dalam mengolah limbahnya dibandingkan dengan volume limbah yang lebih sedikit. Begitu juga dengan konsentrasi awal limbah, semakin tinggi konsentrasi awal maka proses degradasi akan semakin sulit. Pada jumlah kolom gelas semakin banyak kolom gelas maka luas penampang permukaan  $\text{TiO}_2$  yang kontak dengan fenol akan semakin besar sehingga semakin banyak fenol yang terdegradasi (Slamet dkk, 2007).

Pengaruh dari banyaknya jumlah pelapisan  $\text{TiO}_2$  terhadap degradasi fenol adalah semakin banyak jumlah pelapisan maka proses degradasi akan semakin cepat dan apabila terlalu tipis kontak antara  $\text{TiO}_2$  dengan fenol akan semakin

sedikit dan proses degradasi akan sulit. Pada intensitas lama penyinaran, umumnya semakin lama penyinaran maka fenol akan terdegradasi semakin banyak dan pada akhirnya akan habis terdegradasi. Sedangkan pada laju alir, semakin besar laju alir fenol maka waktu kontak katalis  $\text{TiO}_2$  dengan fenol semakin sedikit sehingga proses degradasi semakin sulit (Bismo dkk, 2008).

Karakterisasi film fotokatalis  $\text{TiO}_2$  nantinya dapat diketahui dengan menggunakan SEM dan XRD. Karakterisasi dilakukan setelah kondisi optimum didapatkan. SEM digunakan untuk melihat morfologi permukaan film fotokatalis  $\text{TiO}_2$ , dimana morfologi yang diinginkan adalah yang memiliki pori-pori yang besar. XRD digunakan untuk melihat bentuk kristal  $\text{TiO}_2$  yang didapatkan, dimana struktur kristal yang diharapkan adalah *anatase* karena struktur kristal *anatase* memiliki sifat fotoaktif yang lebih tinggi. Spektrokopi UV-Vis digunakan untuk melihat absorbansi fenol, absorbansi yang diharapkan adalah absorbansi yang paling kecil. Absorbansi yang paling kecil menggambarkan bahwa degradasi yang dihasilkan memiliki persentase degradasi yang paling besar.

Berdasarkan uraian di atas, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian yang berjudul “Degradasi Fenol Pada Reaktor Fotokatalitik  $\text{TiO}_2$ ”.

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah “apakah reaktor fotokatalitik  $\text{TiO}_2$  dapat mendegradasi feno?”.

### **C. Pembatasan Masalah**

Adapun yang menjadi batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Kondisi optimum yang akan diteliti adalah jumlah pelapisan  $\text{TiO}_2$  dan lama penyinaran.
2. Jenis  $\text{TiO}_2$  yang digunakan adalah  $\text{TiO}_2$  Degussa P-25.
3. Sumber sinar UV yang digunakan berasal dari cahaya matahari.
4. Reaktor yang digunakan reaktor fotokatalitik  $\text{TiO}_2$  yang terdiri dari 11 kolom gelas.

### **D. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah, maka penelitian ini bertujuan untuk :

1. Memperoleh kondisi optimum jumlah pelapisan  $\text{TiO}_2$  dan lama penyinaran untuk degradasi fenol pada reaktor fotokatalitik  $\text{TiO}_2$ .
2. Mengkarakterisasi  $\text{TiO}_2$  sebagai fotokatalis  $\text{TiO}_2$ .
3. Memperoleh persentase (%) degradasi fenol pada reaktor fotokatalitik  $\text{TiO}_2$ .

### **E. Manfaat Penelitian**

Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan sumbangan bagi ilmu pengetahuan terutama ilmu fotokatalis untuk mengolah limbah fenol sehingga aman bagi lingkungan.



## **BAB II KAJIAN PUSTAKA**

### **A. Reaktor Fotokatalitik TiO<sub>2</sub>**

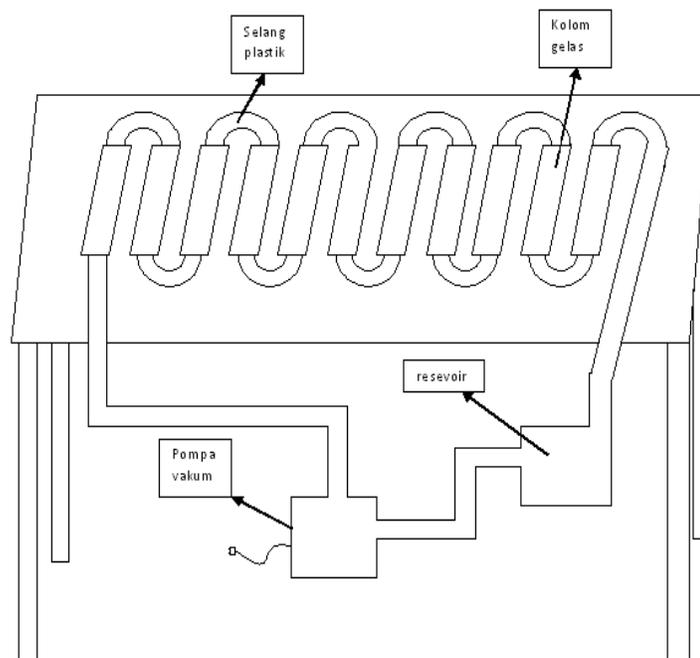
Reaktor fotokatalitik TiO<sub>2</sub> adalah suatu alat tempat terjadinya suatu reaksi dengan TiO<sub>2</sub> sebagai fotokatalis. Satu unit rangkaian reaktor fotokatalik TiO<sub>2</sub> terdiri dari 11 buah kolom gelas (diameter ± 2 cm dan panjang ± 60 cm) yang disusun seri. Pada bagian dalam dinding setiap kolom gelas diimobilisasikan lapisan tipis film TiO<sub>2</sub>. Kolom gelas yang telah dilapisi kemudian disusun seri dan melingkar pada kerangka besi. Untuk menghubungkan kolom gelas ini digunakan selang plastik. Larutan sampel disirkulasikan dari reservoir melalui kolom gelas dengan menggunakan pompa sirkulasi.

Setijo Bismo, dkk (2008) telah melakukan penelitian dengan memakai reaktor annular. Reaktor annular yaitu reaktor aliran berbentuk tubular yang ditengahnya memiliki ruang atau rongga yang dirancang untuk penggunaan atau kelengkapan lain, seperti suhu dan radiasi sinar UV. Dalam reaktor annular belum menggunakan sinar UV sebagai komplemen gas ozon dalam teknik AOP (*Advanced Oxidation Process*). Gas ozon yang digunakan berasal dari ozonator AOSN BL-2000. Hasil yang didapatkan tingkat pendegradasian fenol sebanyak 100 % selama 180 menit pada konsentrasi awal 10 ppm, laju alir 11,26 ml/s dan volume awal 5 liter.

Kelemahan dari penelitian yang dilakukan Setijo Bismo, dkk (2008) adalah proses degradasi hanya bisa digunakan untuk 5 liter sampel, dan jika dipakai dalam sistem kontinu hanya diperoleh penyisihan sebesar 22.01%. Jika

tidak dilakukan dengan teknik yang tepat maka proses pendegradasian tidak efektif karena tidak ada kontak antara ozon dengan fenol. Perbedaan reaktor annular dengan reaktor fotokatalitik  $\text{TiO}_2$  adalah pada reaktor annular sumber radiasi yang digunakan berasal dari ozonator AOSN BL-2000, reservoir yang digunakan berkapasitas 5 liter. Sedangkan pada reaktor fotokatalitik  $\text{TiO}_2$  sumber radiasi berasal dari cahaya matahari dengan reservoir 10 liter.

Skema Reaktor Fotokatalitik  $\text{TiO}_2$  dapat dilihat dari Gambar 1.



Gambar 1. Skema Reaktor Fotokatalitik  $\text{TiO}_2$

## B. Kondisi Optimum

Kondisi optimum adalah suatu keadaan yang tepat dalam sebuah kerja sehingga akan diperoleh hasil yang maksimal. Untuk memperoleh kondisi optimum degradasi fenol dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya jumlah pelapisan, lama penyinaran, jumlah kolom gelas, konsentrasi awal, volume awal dan laju alir (Bismo, 2008).

Jumlah pelapisan berpengaruh dalam proses degradasi fenol. Ketika lapisan film  $\text{TiO}_2$  terlalu tipis maka energi foton yang mengenai lapisan tidak semuanya bisa diadsorpsi (efisiensi rendah) sehingga radikal  $\bullet\text{OH}$  yang terbentuk menjadi lebih sedikit. Bila ketebalan lapisan  $\text{TiO}_2$  ditingkatkan, maka energi foton yang teradsorpsi semakin banyak (efisiensi meningkat) sehingga dapat lebih mengaktifkan katalis untuk menghasilkan radikal  $\bullet\text{OH}$  yang lebih banyak. Tetapi ketika lapisan film terlalu tebal maka bagian sisi katalis yang kontak langsung dengan larutan sampel tidak mendapat penetrasi optimal (kurang teraktifkan) dan kemungkinan juga akan terjadi rekombinasi *elektron-hole* sebelum sampai pada permukaan. Keadaan ini akan menyebabkan menurunnya laju degradasi fenol (Chen dan Ajay K.Ray., 1999).

Dalam metode fotokatalisis diperlukan bantuan cahaya untuk melangsungkan atau mempercepat transformasi kimia. Penentuan kondisi optimum lama penyinaran berguna untuk mencari waktu dimana terjadi persentase degradasi paling banyak. Jika lama penyinaran sebentar maka radikal hidroksil yang terbentuk sedikit dan hasil degradasi tidak optimal dan apabila penyinaran lama maka semua fenol akan habis terdegradasi (Chen dan Ajay K.Ray., 1999).

## C. Degradasi Fenol

### 1. Fenol

Fenol adalah senyawa tak berwarna yang memiliki bau khas. Rumus kimia fenol adalah  $C_6H_5OH$  dan strukturnya memiliki gugus hidroksil (-OH) yang berikatan dengan cincin fenil. Fenol memiliki kelarutan terbatas dalam air, yakni 8,3 gram/100 ml. Fenol larut sempurna dalam alkohol, karbon tetraklorida ( $CCl_4$ ), dan asam asetat ( $CH_3COOH$ ). Berat jenis fenol adalah 1.0576 g/ml. Fenol memiliki titik leleh  $41^{\circ}C$  dan titik didih  $181,7^{\circ}C$ . Fenol cenderung bersifat asam, artinya fenol dapat melepaskan  $H^+$  dari gugus hidroksilnya. Pengeluaran ion tersebut menjadikan anion fenoksida  $C_6H_5O^-$  yang dapat dilarutkan dalam air (Rustamsiah, 2001).

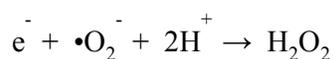
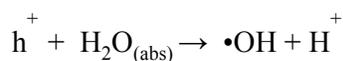
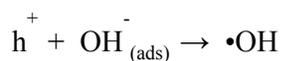
Fenol banyak ditemukan dalam limbah industri di Indonesia, seperti ; industri migas, perekat, farmasi, cat, tekstil, keramik, plastik dan sebagainya. Selain itu fenol juga terdapat pada limbah domestik salah satunya berasal dari sisa pembersih lantai. Limbah fenol tergolong limbah berbahaya, bersifat racun dan korosif. Apabila mencemari perairan dapat menimbulkan rasa dan bau tidak sedap. Pada nilai konsentrasi lebih besar dari 0,5 mg/L dapat menyebabkan kematian organisme di perairan. Selain itu, apabila terminum dapat menimbulkan gangguan kesehatan pada manusia seperti gangguan pada otak, paru-paru, ginjal dan limpa serta dapat menyebabkan kegagalan sirkulasi darah dan kematian akibat kegagalan pernafasan. Untuk itu diperlukan suatu pengolahan, sebagai usaha menurunkan kadar fenol dalam air limbah sehingga menjadi aman bagi lingkungan (Astar, Ismail., 2008).

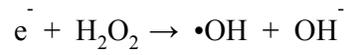
## 2. Mekanisme Degradasi Fenol

Mekanisme adalah pemberian terperinci mengenai bagaimana suatu reaksi dapat berlangsung. Suatu mekanisme reaksi harus bisa menjelaskan semua fakta yang diketahui (Fessenden & Fessenden, 1982). Degradasi merupakan suatu proses untuk menyederhanakan atau memecah molekul menjadi bagian-bagian yang lebih kecil, baik secara alami atau antarfisial (Astar, Ismail., 2008).

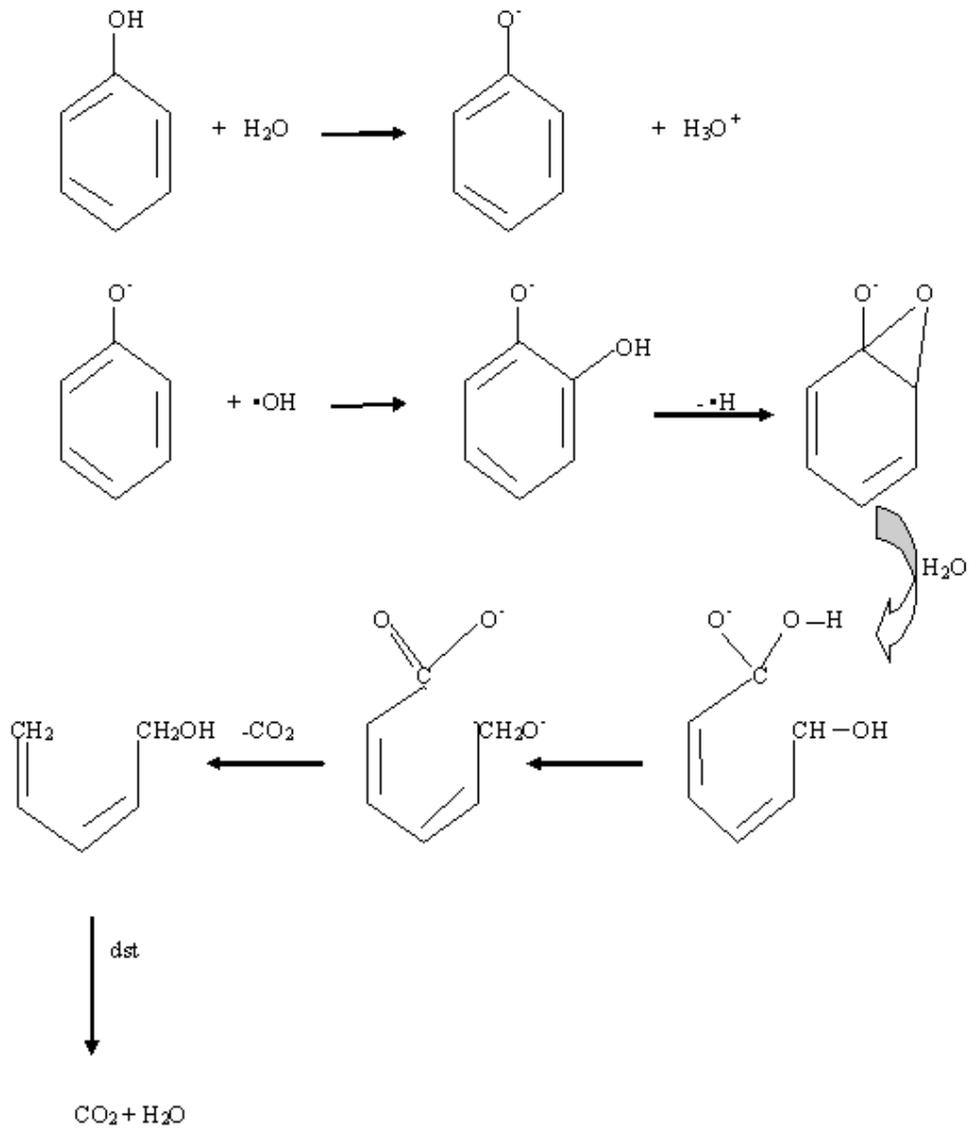
Pada dasarnya fenol dapat mengalami degradasi/penurunan oleh adanya cahaya matahari (fotodegradasi), namun berjalan lambat, sehingga laju akumulasi fenol lebih tinggi daripada laju degradasinya. Akibatnya konsentrasi fenol akan semakin meningkat sampai akhirnya melewati ambang batas yang diizinkan. Ambang batas mutu dalam air baku minum adalah 0.002 mg/L. Proses fotodegradasi fenol pada dasarnya dapat dipercepat oleh keberadaan  $\text{TiO}_2$  (Slamet, 2006).

Senyawa organik terdegradasi oleh *hole* (lubang positif) bila memakai pelarut organik. Bila memakai pelarut air maka degradasi disebabkan secara langsung oleh *hole* dan secara tidak langsung oleh radikal hidroksil. Reaksi yang terjadi merupakan reaksi berantai, sehingga zat organik termineralisasi secara sempurna menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Mekanisme reaksi degradasi fenol terjadi sebagai berikut:





Persamaan reaksi secara umum



Gambar 2. Mekanisme Degradasi Fenol (Fessenden & Fessenden, 1982 dan Hoffmann, *et al*, 1994)

## D. Fotokatalis

### 1. Pengertian Fotokatalis

Fotokatalis merupakan gabungan dari proses fotokimia dan katalisis. Dalam hal proses ini diperlukan unsur cahaya dan katalis untuk mempercepat reaksi suatu transformasi kimia. Katalis pada proses ini lebih khas disebut fotokatalis karena memiliki kemampuan untuk menyerap foton dan umumnya dimiliki oleh bahan – bahan semikonduktor (Hardeli dan Andromeda, 2009).

Fotokatalis dapat pula didefinisikan sebagai suatu proses terjadinya reaksi suatu materi terhadap materi lainnya dengan perantara energi dari penyinaran ultra violet. Fotokatalis dibagi menjadi dua macam yaitu fotokatalis homogen dan fotokatalis heterogen. Fotokatalis homogen adalah proses fotokatalis dengan bantuan zat pengoksidasi seperti ozon dan hidrogen peroksida. Fotokatalis heterogen merupakan suatu teknologi yang didasarkan pada iridiasi fotokatalitik semikonduktor dengan sinar UV seperti titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ), seng oksida ( $\text{ZnO}$ ), dan kadmium sulfida ( $\text{CdS}$ ) ( Linsebigler *et al*, 1995).

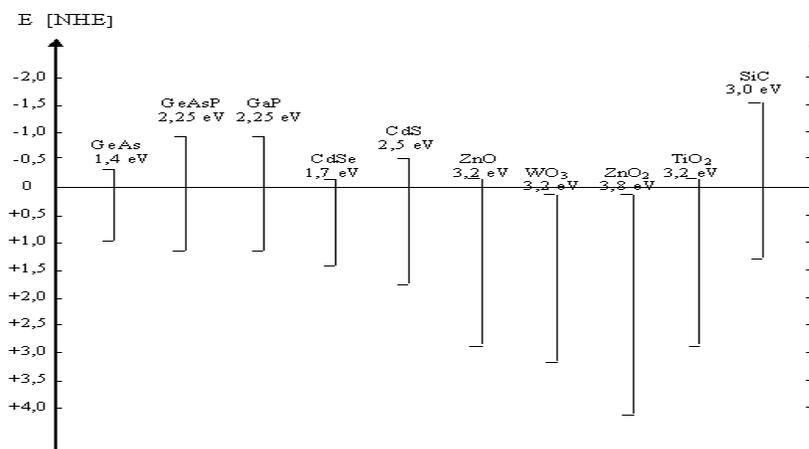
### 2. Fotokatalis $\text{TiO}_2$

Fotokatalis  $\text{TiO}_2$  telah banyak dipakai untuk mengatasi masalah-masalah lingkungan. Sebagai semikonduktor,  $\text{TiO}_2$  mempunyai celah pita (*band gap*) sebesar 3,2 eV yang bila disinari dengan sinar UV berenergi  $> 3,2$  eV atau pada panjang gelombang  $< 388$  nm akan menghasilkan pasangan elektron ( $e^-$ ) dan *hole* ( $h^+$ ), seperti pada persamaan berikut (Hoffmann *et al*, 1995):



Bahan semikonduktor memiliki daerah energi kosong (*void energy region*). Dalam daerah tersebut tidak tersedia tingkat-tingkat energi untuk rekombinasi tersebut. Daerah kosong tersebut memanjang dari pita valensi terisi (*filled valency bond*) hingga dasar pita konduksi kosong (*vacant conduction band*) disebut celah pita (*band gap*). Celah pita tersebut menentukan sensitifitas panjang gelombang dari semikonduktor yang bersangkutan terhadap radiasi (Linsebigler *et al*, 1995).

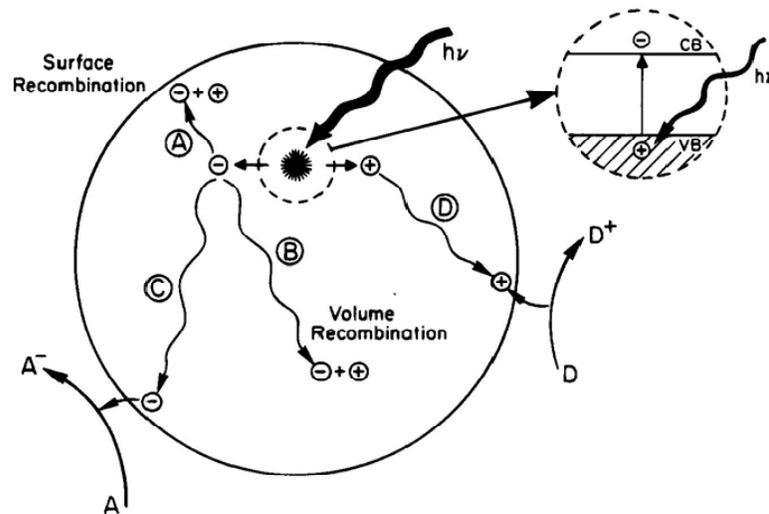
Banyak semikonduktor logam oksida dan sulfida yang memiliki energi celah yang cukup untuk mengkatalisis reaksi kimia, seperti  $\text{TiO}_2$  ( $E_g = 3,2 \text{ eV}$ ),  $\text{CdS}$  ( $E_g = 2,5 \text{ eV}$ ),  $\text{SrTiO}_3$  ( $E_g = 2,0 \text{ eV}$ ) dan lain-lain. Besarnya energi celah, posisi pita valensi, pita konduksi, dan perbandingan dengan besarnya potensial redoks relatif terhadap hidrogen (potensial hidrogen Nerst). Posisi energi celah pita beberapa semikonduktor dalam larutan pada pH 1 dari beberapa semikonduktor dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Posisi energi celah pita beberapa semikonduktor dalam Larutan pada pH 1 (Linsebigler, *et al.*, 1995)

Hampir semua material yang terdapat pada Gambar 3 dapat digunakan dalam reaksi fotokatalitik. Namun, beberapa semikonduktor tersebut kurang cocok digunakan sebagai katalis karena sifatnya yang kurang menguntungkan. Semikonduktor logam sulfida bersifat tidak stabil dan mudah mengalami korosi fotoanoda. Besi oksida memiliki energi celah yang terlalu besar dan dapat mengalami korosi fotoanoda. Seng oksida tidak stabil secara kimia karena mudah larut dalam air membentuk  $Zn(OH)_2$  pada permukaan partikel sehingga pemakaian dalam waktu lama menyebabkan inaktivasi katalis. Semikonduktor  $TiO_2$  merupakan katalis yang paling sesuai untuk proses fotokatalitik karena  $TiO_2$  bersifat inert secara biologi, stabil terhadap fotokorosi, korosi kimia, dan harganya relatif murah (Linsebigler *et al*, 1995).

Mekanisme dari fotokatalis  $TiO_2$  dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 4. Skema proses fotoeksitasi dan deeksitasi (Linsebigler *et al*, 1995)

Mekanisme terbentuknya pasangan *elektron-hole* pada partikel semikonduktor  $TiO_2$  dapat diilustrasikan seperti Gambar 4 di atas. Bila partikel

TiO<sub>2</sub> disinari UV, maka elektron pada pita valensi (*valence band, VB*) akan mengadsorpsi sinar tersebut dengan energi  $\geq$  *band gap* TiO<sub>2</sub>. Energi tersebut digunakan untuk berpindah ke pita konduksi (*conduction band, CB*) dan meninggalkan *hole* positif pada *VB*. Pasangan elektron-*hole* yang terbentuk sebagian berekombinasi di dalam partikel (jalur B), sebagian lagi berekombinasi di permukaan partikel (jalur A), dan sebagian lagi sampai ke permukaan partikel tanpa mengalami rekombinasi. Reaksi rekombinasi pasangan  $e^- / h^+$  dapat dilihat pada persamaan berikut ini (Linsebigler *et al*, 1995).



Elektron yang sampai ke permukaan partikel (jalur C) akan mendonasikan dirinya kepada molekul teradsorpsi di permukaan (molekul yang teradsorpsi), sedangkan *hole* yang sampai ke permukaan (jalur D) akan menarik elektron dari molekul yang ada di permukaan partikel (mengoksidasi molekul tersebut) (Hoffmann *et.al*, 1995).



Air yang teradsorpsi di permukaan TiO<sub>2</sub> dioksidasi oleh *hole* sehingga terbentuk radikal hidroksil. Radikal hidroksil bereaksi dengan fenol dan mendegradasinya menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Sedangkan elektron akan bereaksi dengan oksigen untuk membentuk ion superoksida (Hoffmann *et.al*, 1995).



### E. Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometri UV-Vis adalah sebuah teknik analisis spektroskopi yang memakai radiasi elektromagnetik ultraviolet dekat (190-380 nm) dan sinar tampak (380-780 nm) dengan memakai instrumen spektrofotometer. Spektrofotometer UV-Vis melibatkan energi elektronik yang cukup besar pada molekul yang dianalisis, Sehingga, Spektrofotometer UV-Vis lebih banyak dipakai untuk analisis kuantitatif dibandingkan kualitatif. Spektrofotometer digunakan untuk mengukur energi secara relatif jika energi tersebut ditransmisikan, direfleksikan atau diemisikan sebagai fungsi dari panjang gelombang (Sibilia, 1988).

Identifikasi dengan spektroskopi ultra violet bertujuan untuk mengetahui adanya ikatan rangkap terkonjugasi yang terdapat dalam suatu molekul. Daerah panjang gelombang dari spektrum ultraviolet berkisar antara 200-400 nm. Spektrum ultra violet dari senyawa organik berhubungan dengan eksitasi elektron dari tingkat energi yang lebih rendah ke tingkat energi yang lebih tinggi. Eksitasi dapat berasal dari ikatan sigma ( $\sigma$ ), ikatan phi ( $\pi$ ), dan pasangan elektron bebas pada orbital bukan ikatan (Sastrohamidjoyo, 1991).

Daerah yang paling berguna dalam Spektrum UV adalah daerah dengan panjang gelombang di atas 200 nm. Transisi elektron dari  $\pi$  ke  $\pi^*$  untuk senyawa dengan ikatan rangkap berkonjugasi serta beberapa transisi  $n$  ke  $\sigma^*$  (Fessenden & Fessenden, 1990). Pada fenol transisi elektron terjadi dari  $\pi$  ke  $\pi^*$ . Tujuan penggunaan spektroskopi UV-Vis dalam degradasi fenol adalah untuk melihat jalannya proses degradasi yang ditandai dengan adanya penurunan absorbansi.

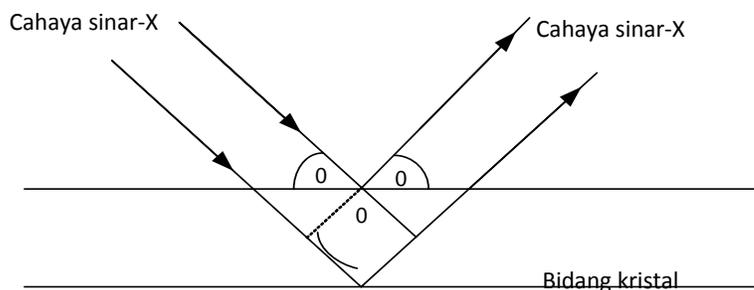
Semakin rendah adsorbansi berarti fenol yang didegradasi semakin banyak. Fenol di uji pada panjang gelombang 270 nm.

## F. Karakterisasi Fotokatalis $\text{TiO}_2$

### 1. Difraksi Sinar-X

Difraktometer sinar-X adalah suatu alat yang dapat digunakan untuk melihat difraktogram (pola difraksi sinar-X) suatu padatan kristal yang bila diberi sinar-X. Suatu kristal memiliki bidang yang dibentuk oleh atom-atom yang tertata secara teratur. Sinar-X yang mengenai bidang tersebut akan didifraksikan dengan sudut tertentu akan memiliki jarak antar bidang tertentu ( $d$ ) dan sudut difraksi tertentu ( $2\theta$ ) (Sibilia, 1988).

Hubungan antara panjang gelombang sinar-X ( $\lambda$ ) pada bidang kristal dengan jarak antara bidang ( $d$ ) dan sudut difraksi ( $\theta$ ), tingkat difraksi ( $n$ ), bisa dijelaskan oleh gambar berikut.



Gambar 5. Difraksi sinar X (West, Anthony R., 1992)

The Joint Committee on Powder Diffraction Standards telah mempublikasikan pola difraksi bubuk lebih kurang 50.000 senyawa. Senyawa yang tidak dikenal diidentifikasi dengan membandingkan jarak interplanar dan

intensitas pola bubuk untuk pola dalam file difraksi bubuk. Jika data fluorescence sinar X mendeskripsikan komposisi unsur yang ditambahkan, jumlah pola bisa direduksi. Pencarian sistematis dengan komputer biasanya berperan untuk identifikasi selama satu jam (West, Anthony R., 1992).

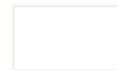
Karakterisasi dengan difraksi sinar X dilakukan untuk mendapatkan informasi struktur Kristal TiO<sub>2</sub> Degussa P25 yang digunakan. Selain itu juga untuk mengetahui derajat kristalinitas dengan mengetahui intensitas pola difraksi sampel. Apabila pola difraksi sampel cukup tinggi menandakan TiO<sub>2</sub> mempunyai derajat kristalinitas yang baik, maka proses difusi elektron di TiO<sub>2</sub> akan lebih cepat. Hasil analisis difraksi sinar X memberikan informasi berupa puncak-puncak pengukuran. Dari puncak-puncak yang didapat memberikan informasi berupa sudut  $2\theta$ . Sudut  $2\theta$  ini kemudian dibandingkan dengan kartu interpretasi data (ASTM) (West, Anthony R., 1992).

## **2. Scanning Electron Microscope SEM /EDX**

Sibilia (1988) mengungkapkan bahwa SEM digunakan untuk menyelidiki atau mengungkapkan topografi benda padat. Resolusi dari SEM ini adalah 3 nm, kira-kira dua kali lebih besar daripada mikroskop optikal dan satu kali lebih kecil daripada mikroskop transmisi elektron sehingga SEM memiliki perbedaan antara dua teknik lainnya. Prinsip dari SEM ini ialah elektron mengisi areal kosong yang difokuskan dengan lensa elektromagnetik pada permukaan bahan. Spesies disinkronkan dengan tabung sinar katoda yang ditunjukkan atau ditampilkan pada layar, ketidak elastisan emisi elektron terpecah-pecah dari permukaan sampel

dan bersatu dengan pemerlapan dari signal yang digunakan untuk mengatur kecemerlangan dari tabung sinar katoda. Kamera memberikan catatan gambar yang akan ditampilkan pada layar skematik (bagan) dari SEM.

Tujuan dari pemakaian SEM adalah untuk melihat penyebaran  $\text{TiO}_2$  yang diimmobilisasikan pada kolom kaca. EDX (Energy Disvertive X-Ray) yang sejalan dengan SEM digunakan untuk menentukan atau memberikan informasi komposisi film  $\text{TiO}_2$ . Prinsip EDX adalah identifikasi fasa yang diperoleh dengan analisis difraksi elektron. Sampel ditembak dengan sejumlah elektron maka elektron pada sampel tersebut akan mengalami eksitasi, ketika eletron tersebut kembali kekeadaan dasar maka akan memancarkan sinar X. Sinar ini yang digunakan untuk mengidentifikasi komposisi elemen  $\text{TiO}_2$  (Silibia, 1988).



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **A. Kesimpulan**

Dari hasil penelitian ini dapat di ambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Reaktor fotokatalitik TiO<sub>2</sub> dapat digunakan untuk mendegradasi fenol.
2. Kondisi optimum jumlah pelapisan degradasi fenol pada reaktor fotokatalitik TiO<sub>2</sub> adalah pada pelapisan 8 kali.
3. Kondisi optimum lama penyinaran degradasi fenol pada reaktor fotokatalitik TiO<sub>2</sub> pada 5 menit.
4. Hasil karakterisasi dengan XRD menunjukkan TiO<sub>2</sub> P-25 merupakan campuran *anatase* dan *rutile*.
5. Karakterisasi dengan SEM menunjukkan pada pembesaran 20.000 kali struktur nanopori telah terlihat.
6. Persentase degradasi terbanyak terdapat pada lama penyinaran 50 menit pada pelapisan 8 kali sebesar 93,64 %.

#### **B. Saran**

Adapun saran dalam penelitian ini adalah:

1. Pada proses pelapisan sol TiO<sub>2</sub> yang diimmobilisasikan pada kolom kaca agar dapat dilakukan secara merata dengan teknik yang tepat.
2. Disarankan pada penimbangan kolom gelas tidak pada ruangan terbuka.
3. Sosialisasi pada industri yang menghasilkan limbah fenol tentang proses pendegradasian dapat dilakukan dengan menggunakan reaktor fotokatalitik TiO<sub>2</sub>.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Mikrajuddin. 2009. *Menjadikan Keterbatasan Sebagai Pemicu Kreativitas dan Inovasi dalam Riset Nanosains di Indonesia*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam: Institut Teknologi Bandung.
- Astar, Ismail. 2008. *Produksi Biogas dari Biodegradasi Senyawa Fenolik Limbah Tandan Sawit Menggunakan Reaktor Dua Fase*. Erlangga : Jakarta
- Benedix, R., et al *FTIR Study of Gas – Phase Alcohol Photocatalytic Degradation with TiO<sub>2</sub> and AC – TiO<sub>2</sub>*, Applied Catalysis B: Environmental. 53,221-232, 2000, ([http://aspdin.wifa.uni-leipzig.de/institut/lacer/lacer05/105\\_19.pdf](http://aspdin.wifa.uni-leipzig.de/institut/lacer/lacer05/105_19.pdf)), diakses 6 April 2010.
- Bismo, Setijo, dkk., 1998. *Studi Awal Degradasi Fenol Dengan Teknik Ozonisasi Di Dalam Reaktor Annular*. Kampus UNTIRTA: Cilegon.
- Chen Dingwan and Ray, A.K., *Photocatalytic Kinetics Of Phenol and its Derivatives over UV Irradiated TiO<sub>2</sub>*. Applied catalysis B: Environmental. 23. (1999).143-157.
- Fassenden & Fassenden. 1994. (Aloysius Hadyana Pudjaatmaka:Penerjemah). *Kimia Organik*. Jakarta: Erlangga.
- Fujishima, A., Hashimoto, and T. Watanabe. *TiO<sub>2</sub> Photocatalysis Fundamentals and Applications*, BKC, Inc. Japan. 1999.
- Hardeli dan Andromeda. 2009. *Reaktor Fotokatalitik Untuk Purifikasi Air Limbah*. “Laporan Penelitian”. UNP .
- Hardeli dan Andromeda. 2009. Aplikasi Fotokatalitik TiO<sub>2</sub> untuk Degradasi Asam lemak. “Laporan Penelitian”. UNP.
- Kamat, P.V., Photochemistry on Nonreactive and Reactive (Semiconductor) Surface *Chem. Rev*, 93. (1993). 267-300. <http://www.nd.edu/~pkamat/mostcited.html>, diakses tanggal 15 Agustus 2010).
- Linseibigler, A. L., Lu Guangguan and Yates Jr, J. T., *Photocatalysis on TiO<sub>2</sub> Surface: Principles, Mechanisms, and Selection Result*, Chem, Rev., 95, 735-758, 1995, (<http://www.gpalmisanso.altervista.org/review%20fotocatalisi%201.pdf>), diakses tanggal 27 Mei 2010.