

LAPORAN PENELITIAN

**DEGRADASI LIMBAH FENOL DENGAN FOTOREAKTOR ALIR
MENGUNAKAN KATALIS TiO_2 -ZEOLIT PADA PANEL KERAMIK**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Diploma IV

Program Studi Teknologi Kimia Industri

Sekolah Tinggi Manajemen Industri



Disusunoleh :

Randa Okditia (1511049)

Shalahuddin Syafaat (1511004)

**SEKOLAH TINGGI MANAJEMEN INDUSTRI
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN REPUBLIK INDONESIA
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KIMIA INDUSTRI
JAKARTA
2015**

ABSTRAK

Degradasi limbah fenol dengan fotoreaktor alir menggunakan katalis TiO_2 -Zeolit alam pada panel keramik. Penelitian ini dilakukan dengan skala lab untuk mendukung analisa industri tekstil, maka limbah yang digunakan adalah limbah fenol buatan. Degradasi limbah fenol dengan proses fotoreaktor alir menggunakan nanokomposit TiO_2 -Zeolit alam pada panel keramik dilakukan dalam sistem fotoreaktor alir yang dilengkapi dengan sejumlah lampu *ultra violet*. Nanokomposit TiO_2 -Zeolit alam disintesis dari nanopartikel TiO_2 komersial (Degussa P25) dan Zeolit alam. Limbah fenol buatan mempunyai konsentrasi 10 ppm / 20 L. Pengujian dilakukan dengan menggunakan TiO_2 -Zeolit alam dengan komposisi 3 : 2. Perbandingan di dapat dari hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan yang paling efisien dan ekonomis. Nanokomposit TiO_2 -Zeolit alam dengan perbandingan 3 : 2 di tempelkan di atas permukaan panel keramik. Pengujian dilakukan dengan cara menggunakan panel keramik yang sama secara berulang-ulang untuk degradasi limbah fenol buatan dengan fotoreaktor alir. Hasil penelitian ini menunjukkan degradasi limbah fenol dengan menggunakan nanokomposit TiO_2 -Zeolit alam yang sama secara berulang-ulang dapat dilakukan. Pada percobaan ke-1 didapat penurunan fenol dari 10 ppm menjadi 3,5907 ppm, percobaan ke-2 didapat penurunan dari 10 ppm menjadi 3,7083 ppm dan percobaan ke-3 didapat penurunan dari 10 ppm menjadi 3.8809 ppm. Dari hasil uji degradasi fenol dengan fotoreaktor alir menggunakan nanokomposit TiO_2 -Zeolit alam bisa dilakukan untuk degradasi fenol.

Kata kunci : Fenol, Reaktor alir, Sonikasi, Industri tekstil, Zeolite, TiO_2 , Fotokatalis

ABSTRACT

Degradation of phenol wastes with a flow photoreactor using catalyst TiO_2 -Zeolit on ceramic panel. This research was conducted with lab-scale analysis to support the textile industry, the waste is used artificial phenol waste. Degradation of phenol wastewater with process flow photoreactor using TiO_2 -Zeolite nanocomposite ceramic panels done in a flow photoreactor system is equipped with a number of ultra violet light. Zeolite nanocomposite TiO_2 -nanoparticles synthesized from commercial TiO_2 (Degussa P25) and natural zeolite. Artificial phenol waste containing concentrations of 10 ppm / 20 L. Tests carried out using TiO_2 -zeolite with a composition of 3: 2. Comparison of the results obtained from previous studies that show the most efficient and economical. Nanocomposite TiO_2 -Zeolite with a ratio of 3: 2 in the paste on the surface of the ceramic panel. Testing is done by using the same ceramic panel repeatedly to degradation of artificial phenol waste with a flow photoreactor. The results showed degradation of phenol wastewater using TiO_2 -Zeolite nanocomposite same repeatedly do. In the experiment 1st reduction in phenol obtained from 10 ppm to 3.5907 ppm, 2nd experiment obtained a decrease of 10 ppm to 3.7083 ppm and 3rd trial obtained a decrease of 10 ppm to 3.8809 ppm. Phenol degradation test results with flow photoreactor using TiO_2 -Zeolite nanocomposite could be done for the degradation of fenol.

Keywords: Phenol, flow reactor, Sonication, the textile industry, Zeolite, TiO_2 , Photocatalyst

KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala karunia serta Ridho-Nya sehingga dapat menyelesaikan Laporan Penelitian ini. Ungkapan terimakasih dan hormat, penyusun tujukan kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan serta motivasi hingga terselesaikannya Laporan Penelitian di BBKK (Balai Besar Kimia Kemasan).

Penelitian di Jurusan Teknologi Kimia Industri Sekolah Tinggi Manajemen Industri dimaksudkan untuk melatih mahasiswa dalam menerapkan teori dan pengetahuan yang telah diperoleh selama masa kuliah. Dengan tugas penelitian ini, diharapkan mahasiswa memiliki keterampilan dalam melakukan analisis, sintesis, analogi, generalisasi, mengembangkan hipotesis, mengembangkan konsep, melakukan percobaan dan mengambil keputusan.

Dalam menyelesaikan Laporan Penelitian ini, penyusun mendapat bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu dalam kesempatan ini penyusun ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua, keluarga, dan para sahabat penyusun tercinta yang tanpa henti selalu memberikan doa, motivasi dan bimbingan secara intensif.
2. Bapak Drs. Achmad Zawawi, MA, MM. selaku Ketua Sekolah Tinggi Manajemen Industri Kemenperin RI.
3. Bapak Dr.Ir. Gatot Ibnusantosa, DEA selaku Ketua Jurusan Teknologi Kimia Industri Sekolah Tinggi Manajemen Industri Kementerian Perindustrian RI.
4. Ibu Ir.Sumingkrat, M.Si selaku dosen pembimbing.
5. Ibu Siti Naimah S.T. dan DR. Rahyani Ermawati, M.Sc., yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan selama penyusun menjalani praktek di BBKK.
6. Para Tim Peneliti BBKK–Jakarta Timur yang selalu membimbing dan mengarahkan dengan baik.
7. Seluruh teman-teman seperjuangan mahasiswa Teknologi Kimia Industri STMI angkatan 2011, kakak-kakak angkatan 2008, 2009 dan 2010 yang telah

banyak membantu memberikan saran kepada penyusun, serta rekan-rekan angkatan 2012, 2013 dan 2014.

8. Serta semua pihak yang tak dapat penyusun sebutkan satu persatu yang telah membantu pada proses penelitian ini.

Semoga Laporan Penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya, serta mahasiswa Teknologi Kimia Industri STMI-Kemenperin RI pada khususnya. Seperti pepatah yang mengatakan bahwa *Tak Ada Gading Yang Tak Retak*, begitu pula dengan laporan Penelitian ini yang masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu saran dan kritik yang sifatnya membangun sangat penyusun harapkan untuk penyempurnaan Laporan Penelitian ini.

Jakarta, Mei 2015

Penyusun

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Panel Keramik.....	6
2.2 Fotokatalis.....	6
2.2.1 Mekanisme Reaksi dalam Reaktor Fotokatalis.....	8
2.2.2 Parameter Yang Mempengaruhi Proses Fotokatalis.....	11
2.2.3 Titanium Dioksida sebagai Fotokatalis.....	13
2.2.4 Mekanisme Fotokatalisis TiO ₂	14
2.3 TiO ₂ (Titanium Dioksida).....	16
2.3.1 Katalis.....	18
2.3.2 Fungsi dan Manfaat TiO ₂	20
2.3.3 Mekanisme TiO ₂ Sebagai Katalis.....	21
2.4 Adsorpsi.....	22
2.4.1 Zeolit alam.....	22
2.4.1.1 Struktur Kristal Zeolit Alam.....	22
2.4.1.2 Sifat Zeolit Alam.....	25
2.4.1.3 Pemanfaatan Zeolit Alam.....	25

2.4.2 Adsorben sebagai Penyangga TiO ₂	27
2.4.3 Kombinasi Proses Fotokatalisis-Adsorpsi.....	28
2.5 Proses Pembuatan Nanokomposit TiO ₂ :Zeolit Alam.....	29
2.6 Fenol.....	30
2.6.1 Tokositas Senyawa Fenol.....	31
2.6.2 Degradasi senyawa fenol secara fotokatalisis.....	32
2.7 Nanokomposit.....	33
2.8 Fotoreaktor Alir.....	33
2.9 Spektrofotometer.....	33

BAB III METODOLOGI

3.1 Bahan dan Alat Penelitian.....	41
3.1.1 Bahan Penelitian.....	41
3.1.2 Gambar Penelitian.....	41
3.1.3 Alat.....	43
3.1.4 Gambar Alat.....	44
3.2 Variabel.....	46
3.2.1 Variabel Kontrol.....	46
3.2.2 Variabel <i>Independent</i> (bebas).....	48
3.2.3 Variabel <i>Dependent</i> (terikat).....	48
3.3 Prosedur Penelitian.....	48
3.4 Tahap Persiapan.....	50
3.4.1 Studi Literatur.....	50
3.4.2 Pengadaan Material.....	50
3.5 Tahap Pelaksanaan.....	50
3.5.1 Aktivasi Zeolita Alam.....	50
3.5.2 Pembuatan HCl 6 M 1000ml.....	51
3.5.3 Pembuatan HF 1% 500 ml.....	51
3.5.4 Pembuatan Nanokomposit TiO ₂ : Zeolit Alam Dengan Perbandingan yang Ditentukan.....	52
3.5.5 Cara Membuat Panel Keramik dan Melapisi dengan Nanokomposit TiO ₂ :Zeolit Alam.....	52

3.5.6 Pengolahan Limbah Dengan Uji Effektivitas Fotokatalitis	
TiO ₂ : Zeolit Alam.....	53
3.6 Prosedur Analisa Fenol.....	53
3.6.1 Prosedur Pembuatan Larutan Standar.....	53
3.6.2 Prosedur Kalibrasi Spektrofotometer.....	54
3.6.3 Prosedur Analisa Fenol.....	54
3.7 Cara Pengolahan Data.....	54
3.7.1 Data Primer.....	54
3.7.2 Data Sekunder.....	55
3.8 Tahap Pengambilan Kesimpulan.....	55
3.9 Jadwal Penelitian.....	56
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Penelitian.....	57
4.2 Pembahasan.....	58
4.2.1 Uji Degradasi Fenol dengan Penggunaan Panel Keramik	
Berulang kali.....	59
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	62
5.2 Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA.....	63
Lampiran.....	66

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Band Gap</i> Semikonduktor (<i>Bhatkhande, 2001</i>).....	7
Tabel 2.2 Nama dan Rumus Kimia Zeolit.....	23
Tabel 2.3 Sifat Kimia dan Fisika (sumber : BPDL).....	30
Tabel 2.4 Baku Mutu LImbah Cair Fenol Untuk Beberapa Industri.....	31
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian.....	56
Tabel 4.1 Data Hasil Pengolahan Sampel Limbah Fenol dengan Penggunaan Panel Keramik Nanokomposit berulang-ulang.....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Kristal TiO ₂ (Cho, 2004 ; Slamet, 2007).....	14
Gambar 2.2 Mekanisme Reduksi dan Oksidasi Fotokatalis.....	15
Gambar 2.3 Struktur <i>Sreorotip Clinoptilolite</i>	24
Gambar 2.4 Mekanisme Degradasi dengan Adsorben sebagai Penyangga TiO ₂	27
Gambar 2.5 Lampu wolfram.....	34
Gambar 2.6 Lampu deuterium.....	34
Gambar 2.7 Prisma.....	35
Gambar 2.8 Grating.....	35
Gambar 2.9 Cuvet.....	37
Gambar 2.10 Proses di Spektrofotometer.....	39
Gambar 2.11 Proses di Spektrofotometer.....	39
Gambar 3.1 Panel Keramik.....	43
Gambar 3.2 Alat Sonikasi Ultrasonic ChromTech.....	44
Gambar 3.3 <i>Hotplate</i>	45
Gambar 3.4 Spektrofotometer visible.....	45
Gambar 3.5 Oven.....	46
Gambar 3.6 <i>Furnace</i>	46
Gambar 3.7 Rangkaian alat reaktor alir fotokatalitik.....	47
Gambar 3.8 Kerangka Berfikir Penelitian.....	49
Gambar 3.9 Diagram Alir Penelitian.....	49
Gambar 4.1 Penurunan Fenol dengan Pemakaian Paanel Keramik Nanokomposit yan berulang-ulang.....	61

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Industri tekstil Indonesia berkembang pesat seiring dengan pertumbuhan penduduk. Namun peningkatan produksi industri tekstil di Indonesia tidak diimbangi dengan pengolahan limbah cair yang baik. Limbah industri tekstil dikategorikan sebagai limbah yang berbahaya. Kandungan limbah industri tekstil yang berbahaya seperti zat pewarna, fenol, dan logam berat krom dapat memberikan efek yang negatif bagi lingkungan dan juga kesehatan karena bersifat karsinogenik (Weisburger, 2002 ; Garcia, 2006).

Fenol merupakan salah satu polutan organik yang berpotensi merusak lingkungan dan kesehatan. Dalam konsentrasi tertentu keberadaan senyawa ini dapat menyebabkan gangguan fisiologis terhadap ikan, menghambat beberapa aktivitas mikroorganisme dan beberapa biota laut pada proses nitrifikasi.

Senyawa ini juga memberi efek yang berbahaya pada kesehatan manusia. Sebagai limbah, fenol memiliki karakteristik yang sangat beracun, sulit terdegradasi, dan menyebabkan bau pada air. Fenol dan turunannya merupakan polutan yang banyak dijumpai dalam air limbah dari berbagai industri seperti tekstil, petrokimia, kimia, farmasi, pestisida, plastik dan kertas.

Ada beberapa metode pengolahan air limbah antara lain biodegradasi , adsorpsi dan koagulasi. Namun metode tersebut hanya memindahkan limbah ke media lain seperti membran dan adsorben. Metode alternatif lainnya adalah penggunaan fotokatalis untuk pengolahan air limbah. Diketahui banyak jenis semikonduktor yang dapat digunakan sebagai fotokatalis, antara lain ZnO, CdS, CdSe, SiC dan TiO₂. Dari jenis-jenis semikonduktor tersebut, TiO₂ merupakan semikonduktor yang paling sering digunakan sebagai fotokatalis dalam aplikasi reaksi fotokatalitik karena keunggulannya, yaitu indeks reaktif tinggi (sifat optis), transmitansi baik pada daerah infra merah dan cahaya tampak (sifat optis),

konstanta dielektrik tinggi (sifat elektrik), stabilitas kimia dan cahaya baik, tidak beracun, aktivitas fotokatalisis tinggi, dan harga yang relatif terjangkau.

Salah satu faktor yang mempengaruhi aktivitas TiO₂ sebagai fotokatalis adalah bentuk kristalnya. TiO₂ memiliki tiga struktur kristal, yaitu *rutile* yang lebih stabil pada suhu tinggi, *anatase* dan *brookite* yang hanya ditemukan pada mineral. Hanya *rutile* dan *anatase* yang cukup stabil keberadaannya dan biasa digunakan sebagai fotokatalis. TiO₂ bentuk komersial yang paling populer dan sangat aktif adalah Degussa P-25 yang memiliki komposisi 80% *anatase* dan 20% *rutile*. Semikonduktor TiO₂ telah banyak digunakan untuk degradasi berbagai polutan organik dan non-organik dan memberikan kinerja yang baik untuk degradasi.

Penggunaan adsorben untuk mendukung semikonduktor dapat meningkatkan kinerja fotokatalitik semikonduktor TiO₂. Dengan menggabungkan semikonduktor dan adsorben, kontak dari polutan dengan katalis akan lebih optimal. Selain itu, polutan yang diserap oleh adsorben dapat beregenerasi dalam proses tersebut secara *in situ* sehingga kejenuhan adsorben dapat dikurangi. Zeolit alam dipilih sebagai adsorben karena struktur kristalnya berpori dan memiliki luas permukaan yang besar, tersusun oleh kerangka silika-alumina, memiliki stabilitas termal yang tinggi, harganya murah serta ketersediaannya cukup melimpah. Zeolit alam Lampung memiliki kelebihan dibandingkan zeolit alam lainnya seperti dari Tasikmalaya dan Bayak karena memiliki luas permukaan (m²), jari-jari pori, dan daya serap atau adsorpsi (ml/g) yang jauh lebih baik. Aktivasi zeolit alam bertujuan untuk meningkatkan sifat-sifat khusus zeolite alam dengan cara menghilangkan unsur-unsur khusus zeolite alam dengan cara menghilangkan unsur-unsur pengotor dan menguapkan air yang terperangkap dalam pori kristal zeolite alam.

Pada penelitian ini perbandingan komposit yang digunakan adalah TiO₂, Zeolit alam, komposit TiO₂ : Zeolit alam = 3 : 2. Hal ini dikarenakan dengan perbandingan itu, partikel TiO₂ dan Zeolite alam dapat bercampur dengan homogen dan tidak menumpuk di salah satu sisi, sehingga proses penyerapan dan penurunan fenol dapat berlangsung baik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Mengetahui efektifitas kemampuan nanokomposit TiO_2 , Zeolit alam yang di tempelkan pada panel keramik dalam mendegradasi fenol pada limbah buatan
 - a. Bagaimana kemampuan nanokomposit TiO_2 -Zeolit alam pada panel keramik dalam menurunkan fenol pada limbah buatan?
 - b. Bagaimana kemampuan nanokomposit TiO_2 -Zeolit alam pada panel keramik yang digunakan berulang kali terhadap penurunan fenol pada limbah buatan?
2. Kemampuan nanokomposit dalam mendegradasi fenol pada industri
 - Bagaimana kemampuan nanokomposit TiO_2 -Zeolit alam dalam perbandingan yang telah didapat dari keefektifitasan dalam mendegradasi fenol limbah buatan pada limbah industri?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan utama dari penelitian ini asepagai berikut :

1. Mengetahui degradasi limbah fenol buatan
 - a. Mengetahui kemampuan nanokomposit TiO_2 -Zeolit alam yang ditempelkan pada panel keramik untuk mendegradasi fenol.
 - b. Mengetahui efektifitas panel keramik dengan nanokomposit TiO_2 :Zeolit alam yang digunakan berulang-ulang dalam degradasi fenol.
2. Kemampuan komposit dalam mendegradasi limbah fenol pada industri
 - Mengetahui kemampuan nanokomposit TiO_2 :Zeolite alam dalam mendegradasi fenol limbah buatan pada limbah industri.

1.4 Batasan Masalah

Untuk membantu dalam memberikan data penelitian yang baik maka perlu dilakukan beberapa pembatasan sebagai berikut :

1. Jenis fotokatalis yang digunakan adalah bubuk TiO_2 Degussa P25 komersial Jenis adsorben yang digunakan adalah zeolit alam Lampung.
2. Kandungan senyawa limbah yang digunakan adalah limbah Fenol buatan.
3. Alat sonikasi komposit yang digunakan adalah *Ultrasonic Processor-ChromTech*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat bagi dunia industri adalah untuk mendapatkan teknologi yang tepat, dan formulasi nanokomposit antara TiO_2 sebagai nanokatalis dan zeolite alam yang paling tepat untuk degradasi limbah Fenol. Dengan menggunakan teknologi dan formulasi yang tepat maka industri dapat menekan biaya pengolahan limbah tanpa merugikan lingkungan sekitar industri. Manfaat penelitian ini untuk masyarakat adalah dengan selesainya masalah pengolahan limbah Fenol yang sering diabaikan pihak industri yang membuangnya ke lingkungan, maka masyarakat tidak perlu khawatir akan sumber dan aliran air di lingkungan tempat tinggal yang dekat dengan sungai.

Sedangkan manfaat penelitian ini untuk penulis adalah dapat dijadikan sebagai media latihan untuk mengaplikasikan teori-teori yang pernah dipelajari selama mengikuti perkuliahan dan mengembangkan pengetahuan baru sehingga mendorong pembelajaran lebih lanjut. Sedangkan untuk ilmu pengetahuan diharapkan dapat mengembangkan penelitian sejenis demi semakin berkembangnya ilmu pengetahuan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penulisan laporan penelitian ini adalah:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi penjelasan mengenai latar belakang diadakannya penelitian, rumusan masalah yang akan dibahas, batasan masalah dari penelitian yang akan dilakukan, tujuan dan manfaat dari dilakukannya penelitian ini, serta penjelasan mengenai sistematika penulisan laporan penelitian.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tinjauan umum mengenai industri tekstil, zeolite, adsorpsi, fotokatalitik, TiO₂, serta segala hal yang berhubungan dengan penelitian ini.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini berisi uraian tentang materi penelitian, yaitu menyangkut persiapan penelitian, bahan dan alat yang digunakan, prosedur pelaksanaan penelitian (penetapan variabel, tempat pelaksanaan penelitian, bagan alir penelitian).

BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi data-data hasil pengamatan dan pengolahannya beserta pembahasannya.

BAB V : PENUTUP

Bab ini berisi dua bagian, kesimpulan dan saran yang telah dilakukan berdasarkan hasil yang telah didapat pada bab sebelumnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Panel Keramik

Panel Keramik berfungsi sebagai penyimpan panas dari sinar lampu UV, sehingga reaksi fotokatalis tetap berjalan dengan baik. Keramik yang digunakan disusun dengan unsur Si, Ti, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, P, S, Zn, Cu, Cr, Sn. Komposisi dalam pembuatan panel keramik ini masih di rahasiakan dan belum di publikasikan.

2.2 Fotokatalis

Menurut IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*), fotokatalisis berarti reaksi katalitik yang berlangsung dengan mengabsorpsi cahaya dengan bantuan material katalis (Parmon, 2002). Perkembangan penelitian mengenai fotokatalisis meningkat setelah pada 1972 Akira Fujishima melaporkan fenomena pemecahan air menjadi O_2 dan H_2 menggunakan Kristal TiO_2 dengan input sinar UV berenergi rendah (Slamet, 2011) H_2 diproyeksikan dapat menggantikan minyak bumi sebagai bahan bakar ramah lingkungan. Hingga saat ini, teknologi fotokatalisis telah mengalami kemajuan dan diterapkan pada berbagai aspek kehidupan. Beberapa diantaranya digunakan pada produk pembersih dan penjernih udara, kertas, tekstil antibakteri, pelapis material, semen, kaca, aspal, antenna luar, dan banyak lagi (Anpo, 2000).

Fotokatalisis merupakan suatu proses kombinasi antara proses fotokimia dan katalis, yaitu suatu proses sintesis (transformasi) secara kimiawi dengan melibatkan cahaya sebagai pemicu dan katalis sebagai pemercepat proses transformasi tersebut. Karena mempunyai kemampuan dalam mengadsorpsi energi foton, katalis yang digunakan disebut fotokatalis. Kemampuan ini dikarenakan pada bahan yang dimanfaatkan sebagai fotokatalisis (bahan semikonduktor) terdapat daerah energi kosong yang disebut celah pita energi

(*energy bandgap*). Bahan semikonduktor hanya akan berfungsi sebagai katalis jika cahaya yang mengenainya memiliki energi yang setara atau lebih besar daripada celah pita energi semikonduktor yang bersangkutan. Induksi oleh sinar tersebut akan menyebabkan terjadinya eksitasi elektron (dari pita valensi ke pita konduksi) dalam bahan semikonduktor (Slamet, 2007).

Besarnya celah pita energi akan menentukan sensitivitas panjang gelombang, dimana semakin kecil nilai pita energi, semikonduktor tersebut mampu menyerap energi dengan panjang gelombang yang semakin besar. Tabel 2.1 menunjukkan beberapa fotokatalis dengan celah pita energi dalam eV. Selain itu, letak pita valensi akan mempengaruhi kemampuan oksidasi (semakin ke bawah, potensial oksidasi semakin baik), sedangkan pita konduksi akan mempengaruhi kemampuan mereduksi (semakin ke atas, potensial reduksi semakin baik) suatu semikonduktor fotokatalis (Slamet, 2007).

Tabel 2.1 *Band Gap* Semikonduktor (Bhatkhande, 2001)

Fotokatalis	Celah Pita Energi (eV)	Fotokatalis	Celah Pita Energi (eV)
Si	1.1	ZnO	3.2
TiO ₂ (rutile)	3.0	TiO ₂ (anatase)	3.2
WO ₃	2.7	CdS	2.4
ZnS	3.7	SrTiO ₃	3.4
SnO ₂	3.5	WSe ₂	1.2
Fe ₂ O ₃	2.2	α - Fe ₂ O ₃	3.1

2.2.1 Mekanisme Reaksi dalam Reaktor Fotokatalis

Teknologi yang didasarkan pada radiasi fotokatalis semikonduktor seperti titanium dioksida (TiO_2), seng oksida (ZnO), atau cadmium sulfide (CdS) yang tergolong fotokatalis heterogen. Fotokatalis heterogen didefinisikan sebagai proses katalisis di mana satu atau lebih tahapan reaksi berlangsung dengan kehadiran pasangan elektron-*hole* yang dihasilkan pada permukaan bahan semikonduktor yang diiluminasi oleh cahaya pada tingkat energi yang sesuai. Adapun prosesnya dapat dilakukan dalam berbagai media, yaitu organik murni fasa cair dan larutan encer.

Proses keseluruhan yang terjadi pada reaksi katalisis heterogen, baik yang diaktivasi secara termal (katalisis konvensional) maupun yang diaktivasi dengan cahaya (fotokatalis) adalah sebagai berikut:

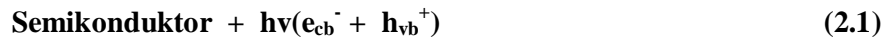
1. *Transfer massa* reaktan dalam *fase* fluida (cair atau gas) ke permukaan katalis.
2. Adsorpsi reaktan ke permukaan katalis.
3. Reaksi dalam *fase* teradsorpsi.
4. Desorpsi produk dari permukaan.
5. Pemandahan produk (*transfer massa*) dari daerah antar permukaan (*interfasa*).

Reaksi fotokatalisis terjadi pada *fase* teradsorpsi (langkah 3). Perbedaannya dengan katalisis konvensional hanyalah model aktivasi katalis, di mana aktivasi termal pada proses katalisis digantikan oleh aktivasi foton. Model aktivasi ini tidak pada tahap 1, 2, 4, dan 5, walaupun fotoadsorpsi dan fotodesorpsi reaktan terutama oksigen ada. Reaksi fotokatalisis mempunyai sifat khusus bila dibandingkan dengan reaksi lainnya. Sifat khusus tersebut meliputi :

1. Reaksi fotokatalisis menggunakan daya oksidasi yang sangat tinggi.

2. Reaksi fotokatalisis merupakan reaksi permukaan.
3. Reaksi fotokatalisis terjadi melalui radiasi UV.

Fenomena fotokatalisis diawali dengan fotoeksitasi, sebagai akibat adanya cahaya *ultraviolet* yang mengenai bahan semikonduktor memiliki energi yang lebih besar dari celah pita semikonduktornya, sehingga akan mentransfer elektron dari pita valensi ke pita konduksi sekaligus menghasilkan *hole* (h^+) pada pita valensi. Jadi, proses fotoeksitasi akan menghasilkan elektron pada pita konduksi dan *hole* pada pita valensi. Reaksi yang terjadi untuk fenomena ini adalah :



Selanjutnya pasangan elektron-*hole* yang terbentuk akan berkombinasi di dalam partikel (jalur B), dan berkombinasi di permukaan partikel (jalur A), tetapi ada pula yang tidak berekombinasi dan langsung ke permukaan partikel. Reaksi rekombinasi pasangan h^+/e^- dituliskan sebagai berikut :



Elektron yang sampai pada permukaan partikel (jalur C) akan mendonasikan dirinya kepada molekul yang teradsorpsi di permukaan di mana molekul tersebut akan mengalami reduksi sehingga dihasilkan radikal anion A^- (oksidator), sedangkan *hole* yang sampai permukaan (jalur D) akan menarik elektron dari molekul yang ada di permukaan sehingga molekul akan mengalami oksidasi. Molekul yang teradsorpsi bersifat donor elektron sehingga hasil penangkapan *hole* akan menghasilkan radikal kation, D^+ (reduktor). Reaksi tersebut dapat ditunjukkan sebagai berikut :



Donor elektron yang teradsorpsi (reduktor) dapat dioksidasi melalui transfer elektron ke *hole* di atas permukaan dan penangkapan *hole* akan

menghasilkan radikal kation D^+ . Adapun akseptor elektron yang teradsorpsi (oksidator) dapat tereduksi dengan menerima sebuah elektron dari permukaan sehingga penangkapan elektron akan menghasilkan radikal anion, A^- . Reaksi rekombinasi antara elektron dan *hole* dapat ditunjukkan dengan persamaan berikut:



Di mana N adalah bahan semikonduktor yang netral dan E adalah energi yang dilepaskan di bawah sinar UV atau panas semikonduktor. Semikonduktor adalah bahan yang memiliki daerah energi kosong yang disebut celah pita yang berada di antara konduktor dan isolator. Banyak jenis bahan semikonduktor yang tersedia secara komersial tetapi hanya sedikit yang cocok dipakai sebagai fotokatalis dalam menguraikan berbagai polutan organik maupun anorganik. Kriteria yang diperlukan bahan semikonduktor sebagai katlis adalah :

1. Bersifat fotoaktif.
2. Mampu memanfaatkan cahaya tampak atau *ultraviolet* dekat.
3. Bersifat *inert* secara biologis maupun kimiawi.
4. Bersifat fotostabil (stabil terhadap cahaya).
5. Mudah dan murah didapatkan.
6. Tidak larut dalam reaksi.

Katalis semikonduktor untuk proses fotokatalisis terdiri dari jenis oksida dan sulfide. Katalis semikonduktor yang termasuk jenis oksida contohnya TiO_2 , Fe_2O_3 , ZnO , SnO_2 , dan WO_3 . Sedangkan yang termasuk jenis sulfide contohnya CdS , ZnS , dan CuS .

2.2.2 Parameter Yang Mempengaruhi Proses Fotokatalis

Beberapa parameter yang mempengaruhi proses fotokatalisis diantaranya pH, loading katalis, panjang gelombang cahaya, konsentrasi awal reaktan, temperatur, serta pengaruh keberadaan dan tekanan oksigen (Hermann, 1999).

a. pH

Ukuran partikel katalis TiO_2 sangat dipengaruhi oleh pH. Semakin asam atau basa suatu limbah maka ukuran katalis TiO_2 akan semakin kecil, sehingga luas permukaannya semakin besar. Dalam keadaan asam maka permukaan katalis akan bermuatan positif, sehingga daya tolak antar partikel katalis akan semakin besar yang menyebabkan katalis akan terdistribusi merata diseluruh spesi cairan. Begitu pula sebaliknya dalam keadaan basa (Hermann, 1999).

Pada keadaan pH netral katalis memiliki ukuran partikel yang sangat besar. Dalam pH netral dimana cairan tidak bermuatan menyebabkan permukaan katalis juga menjadi tidak bermuatan (*Zero Charge Point*) sehingga daya tarik antar partikel katalis menjadi lebih besar dan menyebabkan katalis membentuk gumpalan-gumpalan.

Pada proses yang menggunakan sistem katalis slurry, pada tahap pengendapan katalis dilakukan pada pH netral. Dengan ukurannya yang besar pada pH netral, maka separasi antar katalis dan limbah yang telah diolah lebih mudah dilakukan sehingga dapat di recovery dan produk akhir yang telah murni dapat dimanfaatkan untuk keperluan yang lain. Sistem ini telah diaplikasikan di PSA, Spanyol dengan adanya satu unit khusus yang memisahkan katalis dari produk akhir dengan sistem penetralan.

b. Berat katalis

Baik dalam keadaan statis, slurry ataupun dalam aliran dinamis pada fotoreaktor, laju reaksi awal dipengaruhi oleh jumlah katalis. Semakin tinggi berat katalis yang digunakan maka laju reaksi awalnya menjadi lebih besar sampai pada

berat tertentu laju reaksi awalnya menjadi konstan. Untuk TiO_2 yang memiliki $E_G = 3,02 \text{ eV}$ (rutile) sebagai contoh, membutuhkan $\lambda < 400 \text{ nm}$ yaitu pada rentang sinar UV-A (near-UV). Sebagai tambahan, sifat reaktan juga harus diperhatikan apakah dapat menyerap cahaya atau tidak.

c. Konsentrasi awal reaktan

secara umum, kinetika laju reaksi mengikuti mekanisme Langmuir-Hinshelwood yang berlaku untuk katalisis heterogen dimana laju reaksi berbanding lurus dengan θ sesuai persamaan berikut :

$$r = k \theta \quad (2.6)$$

d. Temperatur

Energi aktivasi pada proses fotokatalisis adalah energi foton, maka pada reaksi fotokatalisis tidak membutuhkan pemanasan dan dapat beroperasi pada temperatur ruang. pada rentang temperatur medium ($20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 80^\circ\text{C}$) energi aktivasi sebenarnya (true activation energy) sangat kecil (beberapa kJ/mol).

Tetapi pada temperatur yang sangat rendah ($-40^\circ\text{C} \leq \theta \leq 0^\circ\text{C}$), aktivasinya berkurang sedangkan E_a meningkat seperti yang terlihat pada gambar 2.7 diatas. Desorpsi produk menjadi tahap penentu laju reaksi dan E_a dipengaruhi oleh panas adsorpsi produk. Sedangkan pada suhu diatas 80°C , proses eksotermis dari adsorpsi reaktan A menjadi tahap penentu laju reaksi, akibatnya aktifitas menurun.

e. Pengaruh keberadaan dan tekanan oksigen

Untuk beberapa reaksi, keberadaan oksigen sangat penting yaitu sebagai reduktor diaman elektron yang dihasilkan oleh proses fotokatalisis akan digunakan mereduksi molekul oksigen yang tertertut menjadi anion oksigen. Fenomena ini terutama dibutuhkan pada proses oksidasi limbah organik.

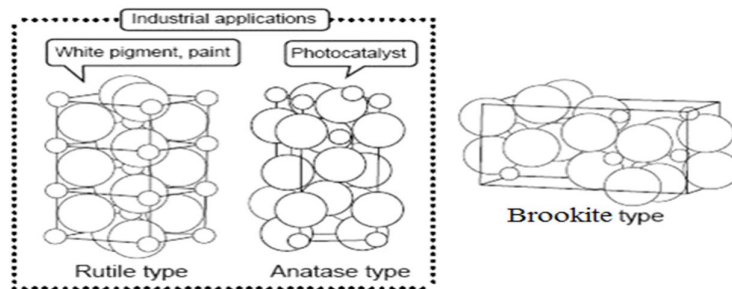
Pada reaksi fasa cair, umumnya diasumsikan oksigen diadsorpsi oleh katalis dari fasa cairnya. Jika oksigen terus menerus disuplai dapat diasumsikan bahwa keberadaannya pada permukaan katalis konstan.

2.2.3 Titanium Dioksida sebagai Fotokatalis

Diketahui banyak jenis semikonduktor yang dapat digunakan sebagai fotokatalis, antara lain ZnO, WO₃, CdS, CdSe, SiC dan TiO₂. Dari jenis-jenis semikonduktor tersebut, TiO₂ merupakan semikonduktor yang paling sering digunakan sebagai fotokatalis dalam aplikasi reaksi fotokatalitik karena keunggulannya, yaitu (Litter, 1996; Wu, 2004; Slamet, 2007):

1. Indeks refraktif tinggi (sifat optis)
2. Transmittansi baik pada daerah infra merah dan cahaya tampak (sifat optis)
3. Konstanta dielektrik tinggi (sifat elektrik)
4. Stabilitas kimia baik
5. Stabilitas cahaya baik
6. Tidak beracun
7. Aktivitas fotokatalisis tinggi
8. Harganya relatif terjangkau

Salah satu faktor yang mempengaruhi aktivitas TiO₂ sebagai fotokatalis adalah bentuk kristalnya (Tjahjanto, 2001). TiO₂ memiliki tiga struktur kristal, yaitu rutile yang lebih stabil pada temperatur tinggi (mulai terbentuk pada temperatur 700°C), anatase, dan brookite yang hanya ditemukan pada mineral (Tjahjanto, 2001; Slamet, 2007). Hanya rutile dan anatase yang cukup stabil keberadaannya dan biasa digunakan sebagai fotokatalis. Gambar menunjukkan perspektif struktur rutile, anatase dan brookit.

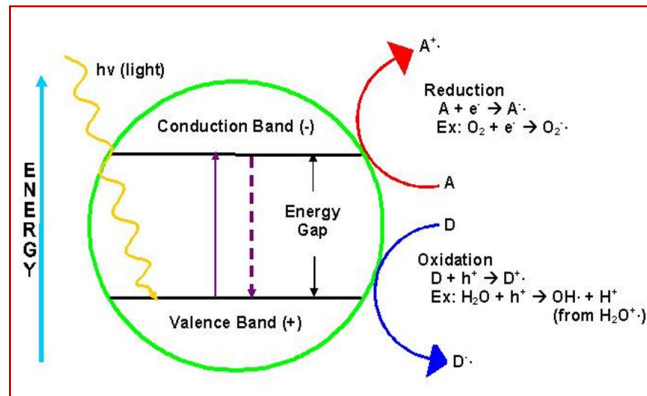


Gambar 2.1 Struktur Kristal TiO₂ (Cho, 2004; Slamet, 2007)

Suhu kalsinasi saat pembuatan katalis mempengaruhi struktur kristal yang terbentuk. Pada fotokatalis TiO₂, bentuk kristal anatase terbentuk mulai dari suhu 120°C hingga 500°C. (Slamet, 2007), sehingga dapat dikatakan masih terdapat TiO₂ yang amorf. Berdasarkan penelitian Ohtani, TiO₂ amorf komersial mengurangi efektivitas proses fotokatalisis karena mempunyai kerusakan yang tinggi sehingga menyebabkan rekombinasi elektron dan hole yang besar (pusat rekombinasi). (Random, 2008). TiO₂ bentuk komersial yang paling populer dan sangat aktif adalah Degussa P-25 yang memiliki komposisi 80% anatase dan 20% rutile dan luas permukaan BET 55m²/g.

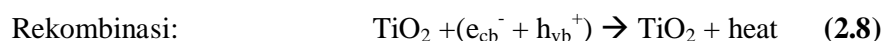
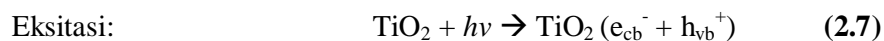
2.2.4 Mekanisme Fotokatalisis TiO₂

Secara umum, mekanisme fotokatalisis pada permukaan semikonduktor dapat dijelaskan oleh Gambar 2.2 Jika suatu semikonduktor dikenai cahaya ($h\nu$) dengan energi foton yang sesuai, maka elektron (e^-) pada pita valensi akan mengalami fotoeksitasi ke pita konduksi, dan meninggalkan lubang positif ($hole^+$, disingkat sebagai h^+) pada pita valensi.



Gambar 2.2 Mekanisme Reduksi dan Oksidasi Fotokatalis

TiO₂ merupakan semikonduktor dengan celah pita energi sebesar 3.2 eV. Cahaya UV, dengan panjang gelombang yang lebih pendek dari 380 nm, akan mengaktifkan TiO₂ dengan cara menyediakan energi yang dibutuhkan elektron untuk tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi. Hal ini berarti foton dari cahaya UV diabsorpsi oleh TiO₂, sehingga dihasilkan pasangan elektron (*electron*, e^-) dan lubang (*holes*, h^+). Lubang yang terbentuk ini akan bereaksi dengan uap air di udara membentuk radikal hidroksil ($\cdot OH$), sedangkan elektron akan bereaksi dengan molekul oksigen membentuk radikal anion superoksida ($\cdot O_2^-$). Radikal-radikal yang terbentuk ini sangat reaktif dan bekerja sama untuk mengoksidasi secara sempurna spesi organik (Vohr, 2006). Semakin kuat intensitas absorpsi UV, maka makin banyak elektron yang mampu dipromosikan dari pita valensi ke pita konduksi. Artinya makin banyak pula elektron (e^-) dan lubang (h^+) yang dihasilkan. Dengan demikian, aktivitas fotokatalitik akan semakin meningkat (Liuxue, 2008). Peristiwa eksitasi dan rekombinasi yang terjadi dapat ditulis dalam persamaan berikut:



Dengan terbentuknya radikal hidroksil (OH) yang berasal dari holes maka radikal ini dapat mendegradasi senyawa-senyawa organik yang ada sehingga

dapat menurunkan konsentrasi dari senyawa organik tersebut. Pada industri tekstil dapat mendegradasi senyawa fenol dan zat-zat warna yang merupakan limbah sisa.

2.3 TiO₂ (Titanium Dioksida)

Titanium dioksida (TiO₂) juga bisa disebut Titania atau Titanium (IV) oksida merupakan bentuk oksida dari titanium secara kimia dapat dituliskan TiO₂. Senyawa ini dimanfaatkan secara luas dalam bidang anatas sebagai pigmen, bakterisida, pasta gigi, fotokatalis dan elektroda dalam sel surya. Titanium dioksida (TiO₂) dapat dihasilkan dari reaksi antara senyawa titanium tetraklorida (TiCl₄) dan O₂ yang dilewatkan melalui lorong silika pada suhu 700°C

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa umumnya TiO₂ paling sering digunakan sebagai fotokatalis dalam aplikasi reaksi fotokatalisis khususnya pengolahan limbah. Ada beberapa keunggulan TiO₂ dibandingkan fotokatalisis semikonduktor lainnya (Linsebigler, 1995; Sopyan, 1998) :

1. Mempunyai celah pita (*band gap*) yang besar (3,2 eV anatase dan 3,0 eV untuk rutile), sehingga memungkinkan banyak terjadinya eksitasi elektron ke pita konduksi dan pembentukan hole pada pita valensi saat diinduksi cahaya ultraviolet.
2. TiO₂ mempunyai sifat stabil terhadap cahaya (fotostabil).
3. Mampu menyerap cahaya ultraviolet dengan baik.
4. Bersifat inert dalam reaksi.
5. Tidak beracun dan tidak larut dalam kondisi eksperimen.
6. Secara umum memiliki aktivitas fotokatalisis yang lebih tinggi dari pada fotokatalisis lain seperti ZnO, CdS, WO₂, dan SnO₂.

7. Memiliki kemampuan oksidasi yang tertinggi, termasuk zat organik yang sulit terurai sekalipun haloaromatik, polimer, herbisida dan pestisida.

TiO₂ memiliki karakteristik fisik diantaranya :

Densitas	: 3,79 g/cm ³ (anatase)
	4,13 g/cm ³ (rutile)
	3,99 g/cm ³ (brookite)
Titik leleh	: 1843 °C
Titik didih	: 2972°C
Indeks refleksi n _D	: 2,488 (anatase)
	2,583 (brookite)
	2,609 (rutile)
Titik nyala	: non- flammable
Tampilan	: padatan putih

TiO₂ memiliki karakteristik kimia diantaranya

Rumus Kimia	: TiO ₂
Bobot Molekul	: 79,866 g/mol

Titanium dioksida (TiO₂) adalah katalis yang teraktivasi oleh UV dan mampu mendegradasi polimer organik selama kontak dengan radiasi UV. *Anatase* 10 kali lebih aktif dari *rutile* dan masih dapat bereaksi pada panjang gelombang yang sedikit berbeda.

2.3.1 Katalis

Katalis adalah suatu senyawa kimia yang dapat mengarahkan sekaligus meningkatkan kinetika suatu reaksi (jika reaksi tersebut secara termodinamika memungkinkan terjadi). Namun senyawa tersebut (katalis) tidak mengalami perubahan kimiawi diakhir reaksi, dan tidak mengubah kedudukan kesetimbangan kimia dari reaksi.

Katalis berperan dalam suatu reaksi apabila belum tercapai kesetimbangan. Konsekuensi dari hal ini adalah apabila reaksi mudah mengalami kesetimbangan dengan perubahan kondisi operasi, misalnya perubahan suhu, maka katalis kurang memiliki peran. Dalam hal ini, perhitungan menggunakan sifat-sifat termodinamika dari bahan kimia (reaktan dan produk reaksi) dapat dipakai untuk memprediksi apakah katalis diperlukan oleh sebuah reaksi pada suatu kondisi operasi tertentu.

Katalis ikut dalam reaksi namun tidak secara permanen ikut bereaksi. Hal ini berarti katalis ikut memiliki interaksi dengan reaktan namun di akhir reaksi katalis kembali menjadi substansi sesuai kondisi awalnya. Konsekuensi dari adanya interaksi antara katalis dengan reaktan dan produk adalah bahwa katalis bersifat spesifik. Katalis untuk proses tertentu berbeda dengan katalis untuk proses yang lain sehingga salah satu bagian yang sangat penting dalam teknologi katalis adalah menentukan katalis yang tepat untuk sebuah proses reaksi.

Katalis dapat diindikasikan bahwa katalis mampu mempercepat reaksi dengan memberikan jalur reaksi yang lebih mudah untuk molekul reaktan sampai terjadi kesetimbangan termodinamika. Katalis juga menurunkan rintangan energi atau menurunkan besaran energi aktivasi sebuah reaksi melalui aneka mekanisme fisikawi maupun kimiawi. Secara singkat, paling tidak terdapat dua fungsi katalis, yaitu untuk:

1. Mempercepat reaksi menuju kesetimbangan atau fungsi aktivitas
2. Meningkatkan hasil reaksi yang dikehendaki atau fungsi selektivitas

Walaupun katalis tidak secara permanen terlibat dalam reaksi kimia, namun ketika katalis melakukan fungsinya, maka katalis mengalami perubahan baik secara kimiawi maupun secara fisik yang sangat mempengaruhi kinerjanya. Oleh karena itu terdapat tiga parameter utama dari kinerja katalis, yaitu :

1. Selektifitas

Adalah kemampuan katalis untuk memberikan produk reaksi yang diinginkan (dalam jumlah tinggi) dari sekian banyak produk yang mungkin dihasilkan. Produk yang diinginkan tadi sering disebut sebagai *yield* sedangkan banyaknya bahan baku yang berhasil diubah menjadi aneka produk dikatakan sebagai *konversi*.

$$\text{Yield} = \% \text{selektifitas} \times \text{konversi}$$

2. Stabilitas

Kemampuan sebuah katalis untuk menjaga aktifitas, produktifitas dan selektifitasnya dalam jangka waktu tertentu.

3. Aktifitas

Kemampuan katalis untuk mengubah bahan baku menjadi produk atau aneka produk yang diinginkan (lebih dari satu).

$$\text{Aktifitas} = \frac{\text{massa (kg) bahan baku yang terkonversi}}{(\text{kg atau liter katalis} \times \text{waktu})}$$

Dari ketiga parameter penting di atas, jika diurutkan dari prioritasnya, maka pemilihan sebuah katalis seharusnya didasarkan pada urutan selektivitas > stabilitas > aktivitas.

Katalis dengan selektivitas tinggi dan stabilitas yang panjang adalah yang menjadi pilihan. Sedangkan aktivitas katalis bukan merupakan faktor utama pada katalis karena rekayasa desain reaktor lebih mudah dilakukan untuk meningkatkan

kinerja reaksi dalam hal meningkatkan konversi reaksi. Oleh karena itu, katalis yang sangat selektif namun memiliki aktivitas rendah dapat tetap menjadi pilihan.

2.3.2 Fungsi dan Manfaat TiO₂

Pada kenyataannya, TiO₂ tidak hanya digunakan sebagai katalis, namun TiO₂ juga dapat diaplikasikan untuk manfaat sebagai berikut :

1. Pigmen

Titanium dioksida secara luas digunakan sebagai *white pigment* karena kecerahannya dan memiliki indeks refraktif yang tinggi.

2. *Sunscreen* dan *absorber* UV

Dalam produk kosmetik dan perawatan kulit, titanium dioksida digunakan sebagai pigment, *sunscreen*, dan pengental. Dalam *sunscreen* atau tabir surya digunakan TiO₂ karena memiliki indeks refraksi yang tinggi, kuat menyerap cahaya UV, dan memiliki ketahanan terhadap perubahan warna yang diakibatkan sinar *ultraviolet*.

3. Fotokatalis

Titanium oksida, khususnya dalam bentuk *anatase* merupakan fotokatalis yang baik untuk sinar *ultraviolet* (UV).

4. Media penyimpanan data elektronik

Peneliti di Universitas Tokyo, Jepang telah menciptakan Titanium Oksida 25 Terabyte berbasis disk.

Titanium oksida, khususnya dalam bentuk *anatase* merupakan fotokatalis yang baik untuk sinar *ultraviolet* (UV). Titanium dioksida memiliki potensi untuk digunakan dalam produksi energi sebagai fotokatalis, dapat melakukan hidrolisis, yaitu pemecahan air menjadi hidrogen dan oksigen. Titanium dioksida dapat menghasilkan listrik ketika dalam bentuk nanopartikel.

2.3.3 Mekanisme TiO₂ Sebagai Katalis

TiO₂ menawarkan potensi besar sebagai teknologi industri untuk detoksifikasi atau penanganan air limbah, karena beberapa faktor :

1. Proses ini terjadi sangat lambat di bawah kondisi *ambient*; paparan cahaya UV secara langsung mempercepat laju reaksi.
2. Pembentukan produk *intermediet* fotosiklis, berbeda dengan teknik fotolisis langsung dihindari.
3. Oksidasi substrat menjadi CO₂ secara sempurna.
4. Fotokatalis ini murah dan memiliki omset yang tinggi.
5. TiO₂ dapat didukung pada substrat reaktor yang cocok

Sifat fotokatalisis UV/TiO₂ merupakan hasil dari proses penyinaran sinar berenergi tinggi UV ke permukaan katalis TiO₂. TiO₂ merupakan suatu semikonduktor di mana tiap semikonduktor memiliki batas celah energi tertentu untuk dapat mengeksitasi elektron yang ada dari pita konduksi ke pita valensi dengan tingkat energi yang lebih tinggi. Absorpsi foton atau cahaya berenergi tinggi dapat mengakibatkan terjadinya eksitasi elektron pada permukaan semikonduktor. Penyinaran dengan energi ambang batas (*energy band gap*) semikonduktor dapat mengeksitasi elektron sehingga membentuk pasangan fotoelektron dan juga *hole*.

Fotoelektron dan *hole* hasil radiasi dapat bereaksi satu sama lain. Reaksi ini disebut sebagai reaksi rekombinasi di mana antara fotoelektron dan *hole* saling menetralkan satu sama lain sambil melepaskan panas. Pada permukaan semikonduktor, fotoelektron dapat menjadi reduktor sementara *hole* dapat menjadi oksidator. Reaksi rekombinasi harus diminimalkan agar penyinaran menjadi efektif. Reaksi rekombinasi dapat dicegah dengan melakukan penambahan *hole scavenger*. *Hole scavenger* adalah suatu senyawa yang dapat mengikat *hole* sehingga fotoelektron dapat digunakan untuk reduksi Cr (VI) secara optimum.

2.4 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan suatu proses yang terjadi saat sejumlah gas atau cairan terkonsentrasi pada suatu permukaan padatan atau cairan, membentuk lapisan molekular atau pun atomik. Istilah adsorpsi biasanya digunakan untuk menggambarkan kecenderungan suatu molekul tertentu dari fasa fluida untuk melekat (tertarik) pada permukaan suatu padatan (Maron, 1974; Yang, 1987).

Molekul-molekul pada zat padat dan cair mempunyai gaya dalam keadaan tidak seimbang (*unbalance*) yang cenderung tertarik ke arah dalam (gaya kohesi > gaya adhesi) sehingga juga menyebabkan zat tersebut cenderung menarik zat atau gas lain yang bersentuhan pada permukaannya (Coulson, 1997; Slamet, 2007). Fenomena tertariknya atau terkonsentrasikannya zat pada permukaan cairan atau padatan dinamakan adsorpsi. Zat yang terkonsentrasikan atau substansi yang teradsorb dan berada pada fasa teradsorpsi disebut adsorbat, sedangkan padatan atau cairan yang mengadsorp substansi disebut adsorben. Adsorben yang saat ini dikenal antara lain: karbon aktif, alumina aktif, silica gel dan zeolit (Yang, 1987).

Adsorpsi biasanya dinyatakan dalam *isotherm*, suatu istilah yang menyatakan jumlah adsorbat yang diserap oleh adsorben yang dinyatakan dalam tekanan (untuk gas) dan konsentrasi (untuk cairan). Banyaknya adsorbat gas yang diserap oleh adsorben padat dipengaruhi oleh hal-hal berikut (Maron, 1974), yaitu: jenis adsorben, gas adsorbat, luas permukaan adsorben, temperatur gas, dan tekanan gas.

2.4.1 Zeolit alam

Zeolit adalah mineral alam yang pada keadaan normal ruang hampa dalam kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang membentuk bulatan di sekitar kation. Bila Kristal tersebut dipanaskan selama beberapa jam, biasanya pada temperatur 250 – 900 °C, maka Kristal zeolit yang bersangkutan berfungsi menyerap gas atau cairan. Daya serap (absorbansi) zeolit tergantung dari jumlah ruang hampa dan luas permukaan. Biasanya mineral zeolit mempunyai luas

permukaan beberapa ratus meter persegi untuk setiap gram berat. Beberapa jenis mineral zeolit mampu menyerap gas sebanyak 30% dari beratnya dalam keadaan kering.

Zeolit alam terbentuk dari reaksi antara batuan tufa asam berbutir halus dan bersifat riolitik dengan air pori atau air meteorik. Penggunaan zeolit adalah untuk bahan baku water treatment, pembersih limbah cair dan rumah tangga, untuk industri pertanian, peternakan, perikanan, industri kosmetik, industri farmasi, dan lain-lain. Zeolit terdapat di beberapa daerah di Indonesia yang diperkirakan mempunyai cadangan zeolit sangat besar dan berpotensi untuk dikembangkan, yaitu Jawa Barat dan Lampung. Nama dan rumus zeolite dapat dilihat di table dibawah ini

Tabel 2.2 Nama dan Rumus Kimia Zeolit

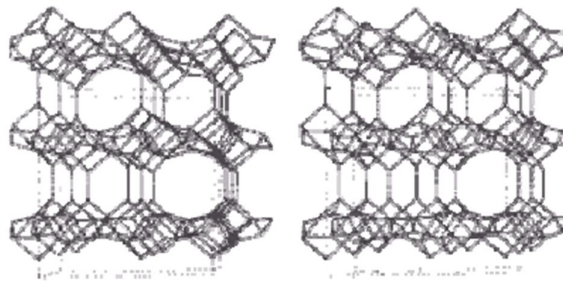
Nama Mineral	Rumus Kimia Unit Sel
Analsim	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
Kabazit	$(\text{Na}_2, \text{Ca})_6 (\text{Al}_{12}\text{Si}_{24}\text{O}_{72}) \cdot 40\text{H}_2\text{O}$
Klipnoptilolit	$(\text{Na}_4\text{K}_4)(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
Erionit	$(\text{Na}, \text{Ca}_5\text{K}) (\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}) \cdot 27\text{H}_2\text{O}$
Ferrierit	$(\text{Na}_2\text{Mg}_2)(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}) \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
Hculandit	$\text{Ca}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
Laumonit	$\text{Ca}(\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
Mordenit	$\text{Na}_8(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
Filipsit	$(\text{Na}, \text{K})_{10}(\text{Al}_{10}\text{Si}_{22}\text{O}_{64}) \cdot 20\text{H}_2\text{O}$
Natrolit	$\text{Na}_4(\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{20}) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Wairakit	$\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

2.4.1.1 Struktur Kristal Zeolit Alam

Zeolit pada umumnya banyak digunakan sebagai adsorben untuk senyawa-senyawa organik yang ada. Kerangka dasar struktur zeolit terdiri dari unit-unit tetrahedral $[\text{AlO}_4]$ dan $[\text{SiO}_4]$ yang saling berhubungan melalui atom O (Barrer, 1987).

Seperti halnya mineral kwarsa dan felspar, maka mineral zeolit mempunyai struktur kristal 3 dimensi tetrahedra silikat (Si_4^{-4}) yang biasa disebut tectosilicate. Dalam struktur ini sebagian silikon (tidak bermuatan atau netral) terkadang diganti oleh aluminium bermuatan listrik, sehingga muatan listrik kristal zeolit tersebut bertambah. Kelebihan muatan ini biasanya diimbangi oleh kation-kation logam K, Na, dan Ca yang menduduki tempat tersebar dalam struktur zeolit alam yang bersangkutan. Dalam susunan kristal zeolit alam terdapat dua jenis molekul air, yaitu molekul air yang terikat kuat dan molekul air yang bebas.

Berbeda dengan struktur kisi kristal kwarsa yang kuat dan pejal, maka struktur kisi kristal zeolit terbuka dan mudah terlepas. Volume ruang hampa dalam struktur zeolit cukup besar kadangkadang mencapai 50 Angstrom, sedangkan garis tengah ruang hampa tersebut bermacam-macam, berkisar antara 2A hingga lebih dari 8A, tergantung dari jenis mineral zeolit yang bersangkutan. Dibawah ini struktur stereotip clinoptilolite.



Gambar 2.3 Struktur *stereotip clinoptilolite*

Zeolit juga sering disebut sebagai *molecular sieve/molecular mesh* (saringan molekuler) karena zeolit memiliki pori-pori berukuran molekuler sehingga mampu memisahkan/menyaring molekul dengan ukuran tertentu. Zeolit alam mempunyai beberapa sifat antara lain: mudah melepas air akibat pemanasan, tetapi juga mudah mengikat kembali molekul air dalam udara lembab. Oleh sebab sifatnya tersebut maka zeolit alam banyak digunakan sebagai bahan pengering. Disamping itu zeolit juga mudah melepas kation dan diganti dengan

kation lainnya, misal zeolit alam melepas natrium dan digantikan dengan mengikat kalsium atau magnesium. Sifat ini pula menyebabkan zeolit alam dimanfaatkan untuk melunakkan air. Zeolit alam dengan ukuran rongga tertentu digunakan pula sebagai katalis untuk mengubah alkohol menjadi hidrokarbon sehingga alkohol dapat digunakan sebagai bensin.

2.4.1.2 Sifat Zeolit Alam

Zeolit alam mempunyai sifat dehidrasi (melepaskan molekul H_2O) apabila dipanaskan. Pada umumnya struktur kerangka zeolite alam akan menyusut. Tetapi kerangka dasarnya tidak mengalami perubahan secara nyata. Disini molekul H_2O seolah-olah mempunyai posisi yang spesifik dan dapat dikeluarkan secara reversibel. Sifat zeolite alam sebagai adsorben dan penyaring molekul, dimungkinkan karena struktur zeolite alam yang berongga, sehingga zeolit alam mampu menyerap sejumlah besar molekul yang berukuran lebih kecil atau sesuai dengan ukuran rongganya. Selain itu kristal zeolite alam yang telah terdehidrasi merupakan adsorben yang selektif dan mempunyai efektivitas adsorpsi yang tinggi.

Kemampuan zeolite alam sebagai katalis berkaitan dengan tersedianya pusat-pusat aktif dalam saluran antar zeolit. Pusat-pusat aktif tersebut terbentuk karena adanya gugus fungsi asam tipe Bronsted maupun Lewis. Perbandingan kedua jenis asam ini tergantung pada proses aktivasi zeolite alam dan kondisi reaksi. Pusat-pusat aktif yang bersifat asam ini selanjutnya dapat mengikat molekul-molekul basa secara kimiawi. Sedangkan sifat zeolite alam sebagai penukar ion karena adanya kation logam alkali dan alkali tanah. Kation tersebut dapat bergerak bebas didalam rongga dan dapat dipertukarkan dengan kation logam lain dengan jumlah yang sama. Akibat struktur zeolite alam berongga, anion atau molekul berukuran lebih kecil atau sama dengan rongga dapat masuk dan terjebak.

2.4.1.3 Pemanfaatan Zeolit Alam

Berdasarkan penelitian, kemampuan karbon aktif dan silika gel sebagai bahan penyerap ternyata tidak melebihi zeolit alam. Zeolit alam sintetik dapat lebih murni dan mempunyai kemampuan lebih luas dibandingkan dengan zeolit alam, terutama sebagai bahan katalis. Zeolit alam sintetik jauh lebih disukai dibandingkan dengan zeolit Alam, disamping karena keaktifan, dan selektifannya yang lebih baik juga kestabilannya. Kinerja ini terutama ditentukan oleh kemurnian, struktur kristal, dan komposisi kimia dari zeolit alam tersebut. Dalam pemanfaatan zeolit alam telah mengalami pengembangan sedemikian rupa sehingga dapat digunakan untuk beberapa keperluan dalam industri dan pertanian, juga bagi lingkungan, terutama untuk menghilangkan bau, karena zeolit alam dapat menyerap molekul-molekul gas seperti CO, CO₂, H₂S dan lainnya. Zeolit alam merupakan bahan galian non logam atau mineral industri multi guna karena memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang unik yaitu sebagai penyerap, penukar ion, penyaring molekul dan sebagai katalisator. (Rodiana, Herry, 2007)

Agar dapat dimanfaatkan zeolit alam harus mempunyai spesifikasi tertentu berkaitan dengan hal tersebut kualifikasi zeolit alam ditentukan oleh daya serap, daya tukar kation (KTK) maupun daya katalis. Oleh sebab itu untuk memperoleh zeolit alam dengan kemampuan tinggi diperlukan beberapa pengolahan antara lain:

1. **Preparasi**, Tahap ini bertujuan untuk memperoleh ukuran produk yang sesuai dengan tujuan penggunaan. Preparasi terdiri dari tahap peremukan (crushing), sampai penggerusan (*grinding*).
2. **Aktivasi**, Proses ini bertujuan untuk meningkatkan sifat-sifat khusus zeolit alam dengan cara menghilangkan unsur-unsur pengotor dan menguapkan air yang terperangkap dalam pori kristal zeolit. Ada dua cara yang umum digunakan dalam proses aktivasi zeolit, yaitu pemanasan pada suhu 200-

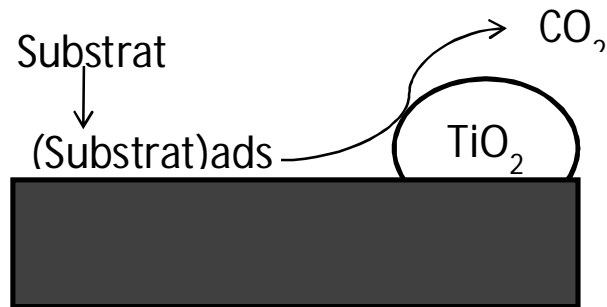
400°C selama 2-3 jam, dan kimia dengan menggunakan pereaksi NaOH atau H₂SO₄.

3. **Modifikasi**, Proses modifikasi dimaksudkan untuk mengubah sifat permukaan zeolit alam dengan cara melapiskan polimer organik (sintetis dan alamiah) pada zeolit alam tersebut.

2.4.2 Adsorben sebagai Penyangga TiO₂

Penyangga katalis TiO₂ harus memiliki konfigurasi dan luas area yang besar sehingga memungkinkan radiasi UV ke seluruh partikel katalis berlangsung efisien (meningkatkan luas reaksi dan luas penyinaran) (Tomovska, 2007). Salah satu tahap kritis dalam reaksi oksidasi senyawa organik adalah tahap inisiasi pembentukan radikal hidroksil (oksidator polutan) yang diproduksi di permukaan fotokatalis. Oleh karenanya, adsorbabilitas polutan ke permukaan fotokatalis adalah suatu faktor yang penting dalam mengevaluasi efisiensi reaksi fotokatalitik.

Peningkatkan efisiensi dekomposisi, fotokatalis sebaiknya dimuati dengan adsorben tertentu untuk mengkonsentrasikan polutan pada permukaan fotokatalis. Pemilihan adsorben yang tepat dengan kemampuan adsorpsi yang lebih baik perlu dilakukan (Lu, 1999). Ide penggunaan adsorben dengan luas permukaan yang besar dan kapasitas adsorpsi tinggi, misalnya zeolit, karbon aktif, dan silika terbukti mampu meningkatkan aktivitas katalis. Dengan penggunaan adsorben, adsorpsi senyawa objek pada permukaan penyangga dan difusi pada permukaan interfasa antara sisi aktif fotokatalisis dan sisi inert yang adsorptif akan terjadi seperti yang terlihat pada



Gambar 2.4 Mekanisme Degradasi dengan Adsorben sebagai Penyangga TiO₂

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan manfaat penggunaan adsorben sebagai penyangga TiO₂ adalah (Matsuoka dan Anpo, 2003; Yoneyama, 2000):

1. Meningkatkan kemampuan adsorpsi katalis. Bila kemampuan adsorpsi meningkat maka kinetika fotokatalitik meningkat karena fotokatalis dapat langsung mengoksidasi senyawa organik tersebut.
2. Penggunaan penyangga dapat mendispersikan fotokatalis TiO₂ sehingga luas permukaan katalis menjadi lebih besar dan fotokatalis menjadi lebih aktif.
3. Senyawa organik akan teradsorpsi oleh penyangga kemudian dioksidasi oleh fotokatalis sehingga intermediate yang terbentuk pun akan teradsorpsi oleh penyangga kemudian akan dioksidasi lagi oleh fotokatalis. Sehingga adsorben diregenerasi secara insitu oleh fotokatalis, sehingga proses degradasi polutan dapat berlangsung dalam waktu yang cukup lama dan lebih efisien.

2.4.3 Kombinasi Proses Fotokatalisis-Adsorpsi

Proses fotokatalisis terjadi jika antara dengan polutan/limbah terjadi kontak. Hal ini menjadi masalah kebanyakan semikonduktor fotokatalisis, termasuk TiO₂, memiliki daya adsorpsi yang lemah. Untuk menutupi kekurangan

ini, fotokatalisis semikonduktor perlu dimodifikasi dengan adsorben sebagai penyangga. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa penggunaan adsorben sebagai penyangga dapat meningkatkan laju fotodegradasi berbagai polutan (Torimoto, 1996). Adsorben yang digunakan merupakan media berpori, sehingga fotokatalis dapat pula masuk ke dalam pori atau menempel di permukaan adsorben. Kombinasi TiO_2 -Zeolit alam maupun TiO_2 -karbon aktif terbukti mampu mendegradasi senyawa organik, seperti toluene (Catherine, 2001), fenol (Selamet, 2007), asetaldehida (Ichiura, 2002), benzene (Hisanaga, 2002), metilen biru (Fu, 2004), dan VOC (Volatile Organic Compound) lain. Adsorben yang digunakan pada penelitian ini adalah zeolite alam lampung sebagai bahan local asli Indonesia yang ketersediaannya melimpah

Fotokatalis dalam pori maupun pada permukaan adsorben secara aktif membantu reaksi fotokatalitik. Manfaat penggunaan adsorben sebagai penyangga proses fotokatalis antara lain sebagai berikut (Slamet, 2007).

- a. Meningkatkan konsentrasi polutan pada ruang sekitar fotokatalis, sehingga dapat meningkatkan laju reaksi.
- b. Mendispersikan fotokatalis, sehingga luas permukaan katalis menjadi lebih besar dan fotokatalis menjadi lebih aktif.
- c. Meningkatkan kemampuan adsorpsi katalis.

Kinerja kombinasi fotokatalisis-adsorpsi ditentukan oleh daya adsorpsi adsorben dan kemampuan difusi adsorbat ke fotokatalis TiO_2 (Torimoto, 1996). Semakin tinggi daya adsorpsi, maka laju degradasi polutan/limbah juga akan meningkat. Aktivitas juga akan semakin baik jika fotokatalis terdispersi merata ke seluruh permukaan adsorben (Motsuoka, 2003). Adsorben diregenerasi secara *insitu* oleh fotokatalis karena polutan teradsorpsi dapat langsung dioksidasi oleh fotokatalis menjadi jenuh, sehingga proses degradasi berlangsung lebih lama dan lebih efisien.

2.5 Proses Pembuatan Nanokomposit TiO₂:Zeolit alam

Proses pembuatan nanokomposit TiO₂:Zeolit alam terdiri dari 2 tahapan yaitu :

1. proses sonikasi

Proses sonikasi dimaksudkan untuk mencegah aglomerisasi (penggumpalan kembali partikel nano dari komposit yang akan terbentuk). Sonikasi adalah teknologi pemisahan dengan menggunakan getaran ultrasonik. Nanopartikel akan dipaksa untuk bergetar sehingga menjadi lebih terdispersi.

2. Proses penguapan air

proses penguapan air menggunakan hot plate. Proses ini bertujuan agar nanokomposit yang di dapat tidak mengandung banyak air. Nanokompositi TiO₂:Zeolit alam yang sudah di sonikasi dipanaskan di hot plate dan di aduk menggunakan stirrer sampai mengental.

2.6 Fenol

Fenol merupakan salah satu polutan organik yang berpotensi merusak lingkungan dan kesehatan. Dalam konsentrasi tertentu keberadaan senyawa ini dapat menyebabkan gangguan fisiologis terhadap ikan, menghambat beberapa aktivitas mikroorganisme dan beberapa biota laut pada proses nitrifikasi.

Senyawa ini juga memberi efek yang berbahaya pada kesehatan manusia. Sebagai limbah, fenol memiliki karakteristik yang sangat beracun, sulit terdegradasi, dan menyebabkan bau pada air. Fenol dan turunannya merupakan polutan yang banyak dijumpai dalam air limbah dari berbagai industri seperti tekstil, petrokimia, kimia, farmasi, pestisida, plastik dan kertas. Senyawa fenol (C₆H₅OH) tidak pernah dijumpai dalam keadaan murni tetapi pada umumnya bergabung dengan senyawa-senyawa turunan seperti pentaklorofenol (PC), 2,4,6-triklorofenol (TCP), nitrofenol, dinitrofenol (DNP). Senyawa fenol murni memiliki rumus molekul C₆H₅OH dan nama lain seperti asam karbolat dan asam fenilik. Warna fenol mudah menjadi kemerahan, jika terkena sinar matahari atau

dalam keadaan tidak murni. Berikut ini merupakan tabel sifat fisika dan kimia dari senyawa fenol:

Tabel 2.3 Sifat Kimia dan Fisika Fenol (sumber:BPDL)

Sifat	Nilai
Rumus Kimia	C_6H_5OH
Berat Molekul, g/mol	94,11
Titik didih, C	181,84
Titik lebur, C	40,91
Specific Gravity (pada 25 C)	1,07
Kelarutan pada 100 gram air (g/100g)	9,3
Indeks Bias	1,5

2.6.1 Toksisitas Senyawa Fenol

Fenol merupakan salah satu senyawa organik pencemar dalam air. Limbah fenol biasanya berasal dari industri-industri polimer, plastic, kaca,kertas, organik pestisida dan tekstil. Pemerintah Indonesia melalui SK Menteri Lingkungan Hidup No : KEP 51/MENLH/10/1995 memberikan ambang batas fenol untuk lingkungan hidup adalah pada ambang batas 0,5-1 mg/l dan untuk air bahan baku air minum adalah sebesar 0,002 mg/l.Berikut ini merupakan tabel baku mutu limbah cair fenol untuk beberapa industri:

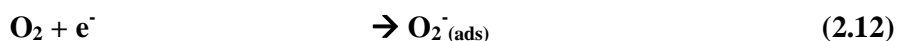
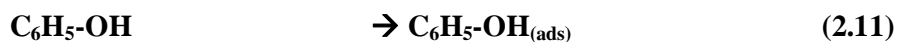
Tabel 2.4 Baku mutu limbah cair fenol untuk beberapa industri

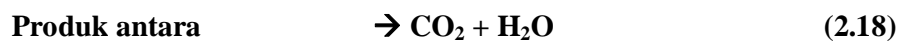
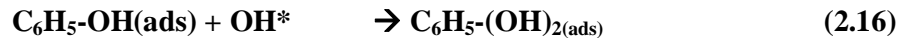
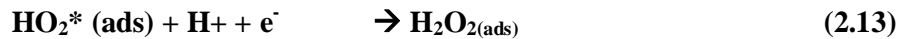
Jenis Industri	Kadar Maksimum fenol (mg/L)	Beban Pencemaran Maksimum
Industri Tekstil	0,5	0,15 kg/ton
Industri Kayu Lapis	1	2,8 gram/m ³
Industri Cat	0,25	0,2 gram/m ³

Fenol pada konsentrasi tinggi dapat menyebabkan kematian bila tertelan, terhisap atau terserap oleh kulit. Senyawa ini menyebabkan iritasi pada kulit tetapi memiliki efek anestetik. Fenol juga dapat menyebabkan penyakit yang bersifat akut maupun kronis. Gejala akut ditandai dengan kulit terkelupas, gangguan pada kornea mata, gangguan sistem pencernaan, rasa mual, gangguan pernapasan, kerusakan ginjal dan liver. Gejala kronis ditandai dengan sakit kepala, nafsu makan berkurang sulit tidur.

2.6.2 Degradasi senyawa fenol secara fotokatalisis

Pada proses fotokatalisis akan terbentuk pasangan elektron-hole yang terjadi pada saat semikonduktor TiO₂ menerima energi foton. *Hole* akan mengadsorb molekul-molekul organik yang terdapat pada permukaan katalis dan membentuk radikal OH*. Radikal OH* inilah yang akan memutus cincin fenol sehingga akan terbentuk senyawa *intermediet* yang kemudian akan terdegradasi menjadi senyawa mineral lainnya seperti CO₂ dan H₂O (Wang, 2004). Berikut ini merupakan mekanisme degradasi senyawa fenol dengan menggunakan fotokatalisis:





2.7 Nanokomposit

Secara umum nanokomposit memiliki keuntungan dalam sifat-sifat kimia, mekanis dan fisiknya. Mengenai sifat-sifat mekanis nano-komposit, telah dikenal luas bahwa nanokomposit memiliki kelebihan dalam stabilitasnya terhadap panas sehingga tidak mengalami distorsi yang signifikan, selain itu tidak menghasilkan emisi gas saat terjadi pembakaran. Nanokomposit juga memiliki ketahanan atau konduktivitas listrik yang baik. Pada bahan kimia, nanokomposit memiliki resistensi terhadap beberapa zat kimia untuk tidak mengalami korosi.

Dengan kelebihan pada sifat-sifat yang dimiliki oleh nanokomposit tersebut, tentu akan memberikan keuntungan dalam aplikasinya dalam pengemasan selain sebagai barrier gas. Dengan resistensinya terhadap panas serta tidak mudah rapuh, memberikan kemampuannya dalam proses pada microwave, pasteurisasi, serta sterilisasi yang membutuhkan suhu yang tinggi.

2.8 Fotoreaktor Alir

Fotoreaktor alir merupakan tempat di mana berlangsungnya suatu proses kombinasi reaksi fotokimia yang memerlukan unsur cahaya dan katalis untuk mempercepat terjadinya transformasi kimia. Proses yang berlangsung secara tertutup agar tidak ada kontak atau pengaruh dari lingkungan yang mengganggu proses degradasi limbah fenol.

2.9 Spektrofotometer

Spektrofotometer adalah alat untuk mengukur transmittansi atau absorbansi suatu sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrofotometer merupakan gabungan dari alat optik dan elektronika serta sifat-sifat kimia fisiknya dimana detektor yang digunakan secara langsung dapat mengukur intensitas dari cahaya yang dipancarkan dan secara tidak langsung cahaya yang diabsorpsi, jadi tergantung pada spektrum elektromagnetik yang diabsorb (serap) oleh benda. Tiap media akan menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu tergantung pada senyawaan atau warna terbentuk. Nilai absorbansi dari cahaya yang dilewatkan akan sebanding dengan konsentrasi larutan di dalam kuvet. Secara garis besar spektrofotometer terdiri dari 4 bagian penting yaitu :

a) Sumber Cahaya

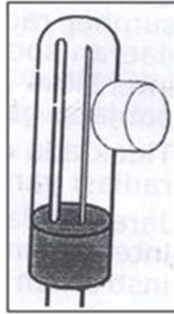
Sebagai sumber cahaya pada spektrofotometer, haruslah memiliki pancaran radiasi yang stabil dan intensitasnya tinggi. Sumber energi cahaya yang biasa untuk daerah tampak, ultraviolet dekat, dan inframerah dekat adalah sebuah lampu pijar dengan kawat rambut terbuat dari wolfram (tungsten). Lampu ini mirip dengan bola lampu pijar biasa, daerah panjang gelombang (λ) adalah 350 – 2200 nanometer (nm).



Gambar 2.5 Lampu wolfram

Di bawah kira-kira 350 nm, keluaran lampu wolfram itu tidak memadai untuk spektrofotometer dan harus digunakan sumber yang berbeda. Paling lazim adalah lampu tabung tidak bermuatan (discas) hidrogen (atau deuterium) 175 ke

375 atau 400 nm. Lampu hidrogen atau lampu deuterium digunakan untuk sumber pada daerah ultraviolet (UV).



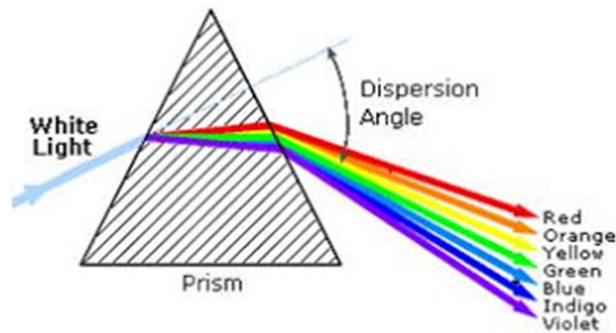
Gambar 2.6 Lampu deuterium

Kebaikan lampu wolfram adalah energi radiasi yang dibebaskan tidak bervariasi pada berbagai panjang gelombang. Sumber cahaya untuk spektrofotometer inframerah, sekitar 2 ke 15 μm menggunakan *pemijar Nernst* (Nernst glower).

b) Monokromator

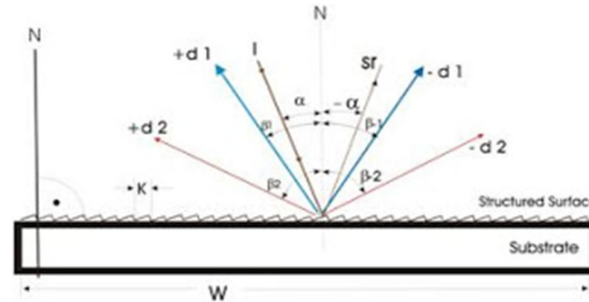
Monokromator adalah alat yang berfungsi untuk menguraikan cahaya polikromatis menjadi beberapa komponen panjang gelombang tertentu (monokromatis) yang berbeda (terdispersi). Ada 2 macam monokromator yaitu :

1) Prisma



Gambar 2.7 Prisma

2) Grating (kisi difraksi)



Gambar 2.8 Grating

Keuntungan menggunakan kisi difraksi :

- Dispersi sinar merata
- Dispersi lebih baik dengan ukuran pendispersi yang sam
- Dapat digunakan dalam seluruh jangkauan spectrum

Cahaya monokromatis ini dapat dipilih panjang gelombang tertentu yang sesuai untuk kemudian dilewatkan melalui celah sempit yang disebut slit. Ketelitian dari monokromator dipengaruhi juga oleh lebar celah (slit width) yang dipakai.

c) Cuvet

Cuvet spektrofotometer adalah suatu alat yang digunakan sebagai tempat contoh atau cuplikan yang akan dianalisis. Cuvet harus memenuhi syarat- syarat sebagai berikut :

1. Tidak berwarna sehingga dapat mentransmisikan semua cahaya.
2. Permukaannya secara optis harus benar- benar sejajar.
3. Harus tahan (tidak bereaksi) terhadap bahan- bahan kimia.

4. Tidak boleh rapuh.
5. Mempunyai bentuk (design) yang sederhana.

Cuvet biasanya terbuat dari kwars, plexiglass, kaca, plastic dengan bentuk tabung empat persegi panjang 1 x 1 cm dan tinggi 5 cm. Pada pengukuran di daerah UV dipakai cuvet kwarsa atau plexiglass, sedangkan cuvet dari kaca tidak dapat dipakai sebab kaca mengabsorbsi sinar UV. Semua macam cuvet dapat dipakai untuk pengukuran di daerah sinar tampak (visible).



Gambar 2.9 Cuvet

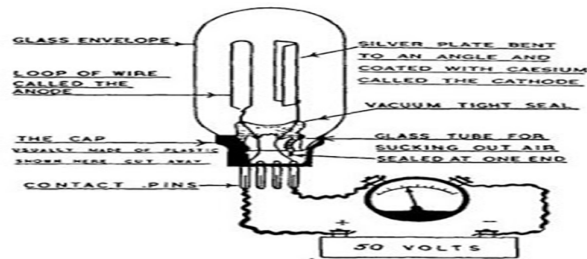
d) Detektor

Peranan detektor penerima adalah memberikan respon terhadap cahaya pada berbagai panjang gelombang. Detektor akan mengubah cahaya menjadi sinyal listrik yang selanjutnya akan ditampilkan oleh penampil data dalam bentuk jarum penunjuk atau angka digital. Syarat-syarat ideal sebuah detektor :

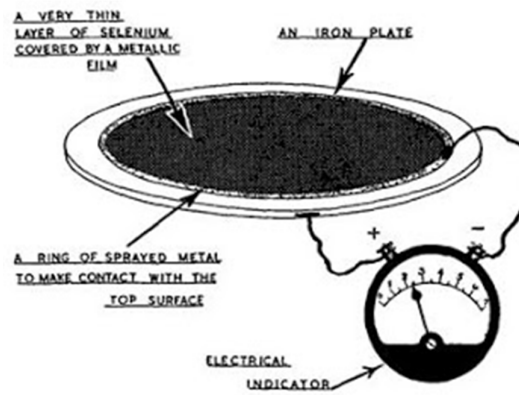
1. Kepekan yang tinggi
2. Perbandingan isyarat atau signal dengan bising tinggi
3. Respon konstan pada berbagai panjang gelombang.
4. Waktu respon cepat dan signal minimum tanpa radiasi.
5. Signal listrik yang dihasilkan harus sebanding dengan tenaga radiasi.

Sebagai detektor untuk Spektrofotometer UV - Vis biasanya digunakan :

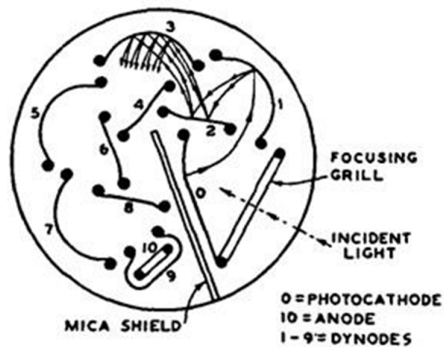
1) Photo tube



2) Barrier Layer Cell



3) Photo Multiplier Tube



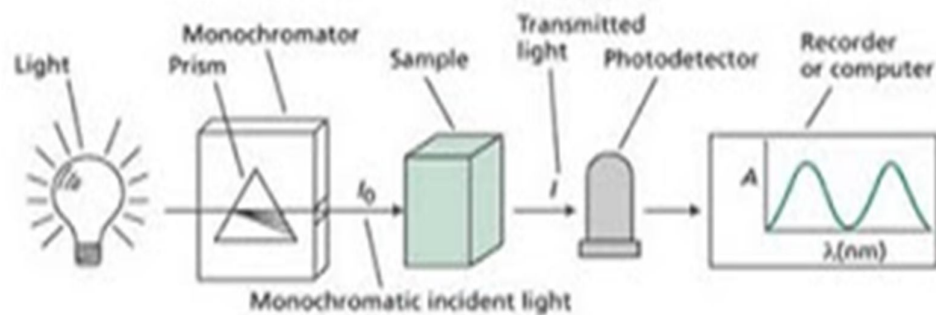
Arus listrik yang dihasilkan oleh detektor kemudian diperkuat dengan amplifier dan akhirnya diukur oleh indikator biasanya berupa recorder analog atau komputer.

Jenis Spektrofotometer

Berdasarkan sistem optiknya terdapat 2 jenis spektrofotometer.

a. Spektrofotometer single beam (berkas tunggal)

Pada spektrofotometer ini hanya terdapat satu berkas sinar yang dilewatkan melalui cuvet. Blanko, larutan standar dan contoh diperiksa secara bergantian.



Gambar 2.10 Proses di Spektrofotometer

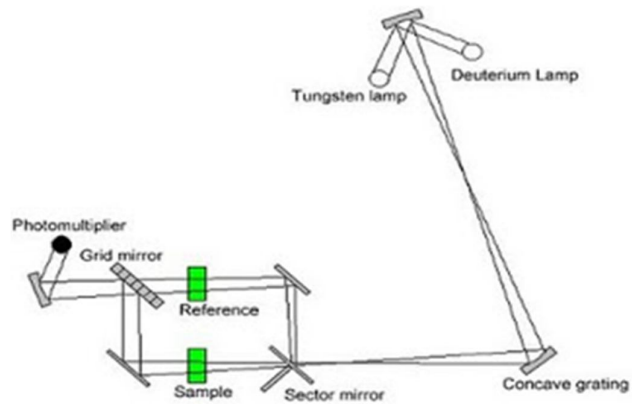
b. Spektrofotometer double beam (berkas ganda)

Pada alat ini sinar dari sumber cahaya dibagi menjadi 2 berkas oleh cermin yang berputar (chopper).

- Berkas pertama melalui cuvet berisi blanko
- Berkas kedua melalui cuvet berisi standar atau contoh

Blanko dan contoh diperiksa secara bersamaan seperti terlihat pada gambar. Blanko berguna untuk menstabilkan absorpsi akibat perubahan voltase atau I_0 dari sumber cahaya. Dengan adanya blanko dalam alat kita tidak lagi

mengontrol titik nolnya pada waktu-waktu tertentu, hal ini berbeda jika pada single beam.



Gambar 2.11 Proses di Spektrofotometer

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Bahan dan Alat Penelitian

3.1.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam percobaan ini terdiri dari bahan kimia padat dan bahan kimia cair, yang akan disebutkan sebagai berikut :

Bahan:

1. Bubuk TiO₂ Degussa-P25.
2. Zeolit Alam
3. Air Demin (*Aquadesh*)
4. Larutan K₃Fe(CN)₆
5. Larutan Induk fenol 10 ppm (dalam 20L)
6. Larutan NH₄Cl 5%
7. Larutan amoniak
8. Larutan 4-aminoantipirin 2%
9. Larutan NH₄OH
10. Larutan Buffret fospat
11. HCL pekat
12. HF pekat
13. TEOS (*tetraethylenorthosilicate*)
14. Kertas Saring NO.41
15. Panel keramik

3.1.2 Gambar Bahan

Bahan utama yang dipergunakan dalam penelitian ini, diantaranya adalah sebagai berikut :

a. Zeolit Alam

Zeolit alam merupakan mineral alumina silikat terhidrat yang tersusun atas tetrahedral-tetrahedral alumina (AlO_4^{5-}) dan silika (SiO_4^{4-}) yang membentuk struktur bermuatan negatif dan berongga terbuka/berpori. Zeolit berfungsi sebagai adsorben.

b. Titanium Dioxida

Titanium Dioxida juga bisa disebut Titania atau Titanium (IV) oksida adalah merupakan bentuk oksida dari titanium secara kimia dapat dituliskan TiO_2 . Senyawa ini biasa digunakan sebagai pigmen pada cat tembok, sunscreen dan pada makanan. Titanium Dioksida murni tidak terdapat di alam tetapi berasal dari bijih ilmenite atau leucocene bijih ini adalah bahan utama yang digunakan untuk produksi Titanium Oksida. TiO_2 berfungsi sebagai penyangga dan katalis.

c. Panel Keramik



Gambar 3.1 Panel Keramik

Panel keramik yang digunakan disusun dengan unsur Si, Ti, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, P, S, Zn, Cu, Cr, Sn. Komposisi dalam pembuatan panel keramik ini masih di rahasiakan dan belum di publikasikan.

3.1.3 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari alat-alat gelas, alat-alat instrumen, dan alat-alat pembantu, yang terdiri dari:

1. Spektrofotometer *double beam* untuk fenol
2. Sonikator
3. Hot plate
4. Corong
5. Test tube
6. Gelas ukur 300ml
7. Pipet gondok 1 ml
8. Pipet gondok 5 ml
9. Pipet gondok 10 ml
10. Stirrer
11. Botol penampung 500ml
12. Bak penampung 40L
13. Reaktor fotokatalitik
14. Oven
15. Furnace
16. Reaktor alir fotokatalitik

3.1.4 Gambar Alat

Alat-alat utama yang dipergunakan dalam penelitian ini, diantaranya adalah sebagai berikut:

a. Alat Sonikasi



Gambar 3.2 Alat Sonikasi Ultrasonic ChromTech

Proses sonikasi dimaksudkan untuk mencegah aglomerisasi (penggumpalan kembali partikel nano dari komposit yang akan terbentuk). Sonikasi adalah teknologi pemisahan dengan menggunakan getaran ultrasonik. Nanopartikel akan dipaksa untuk bergetar sehingga menjadi lebih terdispersi.

b. *Hotplate*



Gambar 3.3 *Hotplate*

Hotplate adalah teknologi memutar dan menghantarkan panas dengan menggunakan getaran Stirerr. Nanopartikel akan dipaksa untuk bergetar sehingga menjadi lebih terdispers.

c. Spektrofotometer



Gambar 3.4 Spektrofotometer visible

Sesuai dengan namanya spektrofotometer UV-Vis merupakan gabungan antara spektrofotometer UV dan Visible. Pada spektrofotometer UV-Vis menggunakan dua buah sumber cahaya berbeda yakni sumber cahaya UV dan sumber cahaya visible.

d. Oven



Gambar 3.5 Oven

Oven adalah suatu peralatan yang berfungsi untuk memanaskan ataupun mengeringkan. Biasanya digunakan untuk mengeringkan peralatan gelas laboratorium, zat-zat kimia maupun pelarut organik. Dapat pula digunakan untuk mengukur kadar air. Tidak semua alat gelas dapat dikeringkan didalam oven,

hanya alat gelas dengan spesifikasi tertentu saja yang dapat dikeringkan, yaitu alat gelas dengan ketelitian rendah. Oven juga merupakan alat sterilisasi menggunakan udara kering bertemperatur tinggi. Oven termasuk alat sterilisasi secara fisik karena menggunakan suhu dan tekanan.

e. Furnace

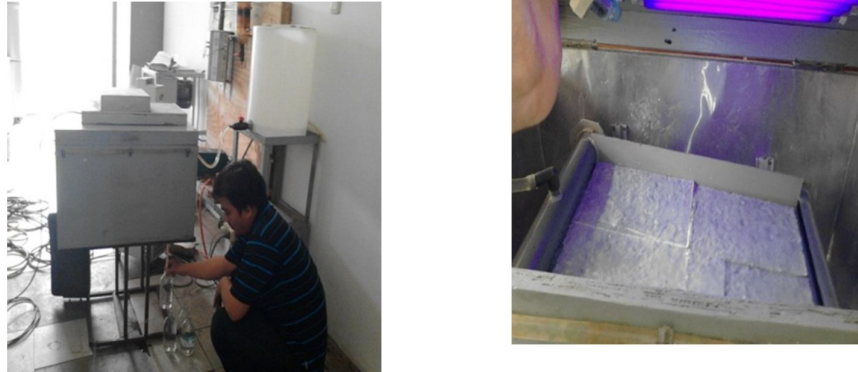


Gambar 3.6 Furnace

Furnace atau tungku adalah sebuah peralatan yang digunakan untuk melelehkan logam untuk pembuatan bagian mesin (casting) atau untuk memanaskan bahan serta mengubah bentuknya (misalnya rolling/penggulungan, penempaan) atau merubah sifat-sifatnya (perlakuan panas).

Berdasarkan metode Penghasilan panas, furnace secara luas diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu jenis pembakaran (menggunakan bahan bakar) dan jenis listrik. Furnace jenis pembakaran bergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan. Diantaranya furnace yang menggunakan bahan bakar minyak, batu bara, atau gas.

f. Rangkaian Alat Reaktor Alir Fotokatalitik



Gambar 3.7 rangkaian alat reaktor alir fotokatalitik

Reaktor alir fotokatalitik merupakan tempat di mana berlangsungnya suatu proses kombinasi reaksi fotokimia yang memerlukan unsur cahaya dan katalis untuk mempercepat terjadinya transformasi kimia.

3.2 Variabel

Variabel yang digunakan dalam penelitian terdiri dari tiga, yaitu variabel kontrol, variabel *dependent* (terikat) dan variabel *independent* (bebas).

3.2.1 Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dijaga konstan dan tidak berubah untuk mendapatkan hubungan antara dua variabel lain. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah komposisi komposit fotokatalis TiO_2 :zeolite(3:2) dan panel.

3.2.2 Variabel *Independent* (bebas)

Variabel Independent (bebas) adalah variabel yang tidak dapat dipengaruhi oleh variabel lain dan merupakan variabel yang menyebabkan variasi bagi variabel *dependent*. Pada penelitian ini, variabel tersebut adalah penggunaan panel keramik dengan nanokomposit TiO_2 :Zeolit alam yang sama berulang-ulang untuk degradasi limbah fenol.

3.2.3 Variabel *Dependent* (terikat)

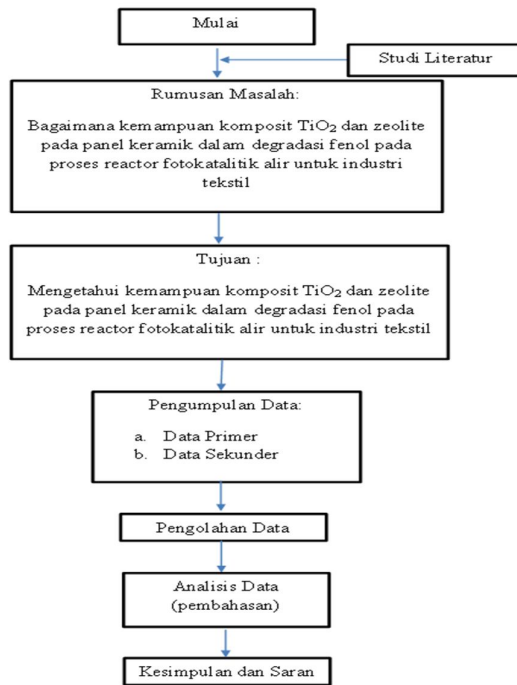
Variabel *dependent* (terikat) merupakan variabel yang dipengaruhi atau menjadi akibat dari variabel independent. Variabel ini merupakan fokus utama dalam penelitian yang nilainya diamati atau diukur untuk menentukan pengaruh dari variabel *independent* (variabel bebas). Variabel *dependent* dalam penelitian ini adalah konsentrasi fenol dan volume limbah .

Konsentrasi fenol : dinyatakan dalam ppm.

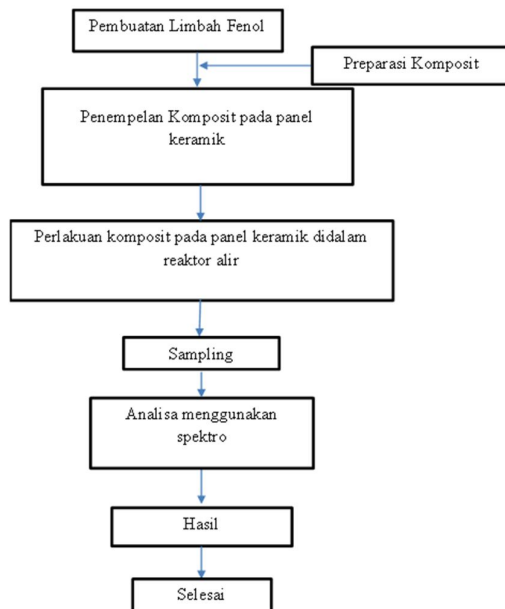
Volume air limbah : dinyatakan dalam L.

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu tahap persiapan, tahap perencanaan dan pelaksanaan, tahap pengolahan dan analisis data, serta tahap pengambilan kesimpulan. Prosedur penelitian disajikan dalam bentuk *flow chart* sebagai berikut:



Gambar 3.8 Kerangka Berfikir Penelitian



Gambar 3.9 Diagran alir Penelitian

3.4 Tahap Persiapan

Tahap persiapan penelitian meliputi studi literatur dan persiapan pengadaan material.

3.4.1 Studi literatur

Literatur – literatur yang digunakan dalam penelitian ini didapat dari berbagai sumber, seperti misalnya jurnal yang terdapat di internet, buku-buku yang terdapat di perpustakaan STMI ataupun perpustakaan Balai Besar Kimia dan Kemasan (BBKK), serta dari tugas akhir atau skripsi penelitian terdahulu.

3.4.2 Pengadaan material

Material digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Balai Besar Kimia dan Kemasan (BBKK). Pengadaan material meliputi persiapan alat dan larutan fenol (10 ppm/20 L).

3.5 Tahap Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan penelitian terdiri dari beberapa tahap :

1. Aktivasi zeolit alam.
2. Pembuatan HCL 6 M 100 ml.
3. Pembuatan HF 1% 500 ml.
4. Pembuatan nanokomposit TiO₂:Zeolit alam.
5. Pembuatan panel keramik dan melapisinya dengan nanokomposit.
6. Pengolahan limbah dengan uji efektivitas fotokatalis TiO₂:Zeolit alam.

3.5.1 Aktivasi Zeolit Alam

Cara kerja aktivasi zeolit adalah sebagai berikut :

1. Ditimbang 50 gram zeolit alam
2. Dilarutkan dengan HF 2% sebanyak 200 ml
3. Dilakukan sentrifusi selama 10 menit

4. Dilakukan pencucian bebas asam dengan *aquadest* sampai larutan atasnya menjadi jernih tak berwarna
5. Ditambahkan HCl 6M sebanyak 200 ml
6. Dilakukan refluks pada suhu 90 °C selama 30 menit
7. Dilakukan sentrifusi selama 10 menit
8. Dilakukan pencucian bebas Cl⁻ dengan *aquadest* sampai larutan atasnya jernih tak berwarna.
9. Endapan diambil dan dimasukkan ke dalam Erlenmeyer
10. Ditambahkan NH₄Cl 0,1M 200 ml
11. Endapan direndam sehari semalam
12. Dilakukan refluks terhadap endapan tersebut selama 3 jam/hari selama 5 hari berturut-turut.

3.5.2 Pembuatan HCl 6 M 1000ml

HCl pekat 37% = 12.06 M

Cara kerja pembuatan HCl 6 M sebanyak 1000 ml adalah sebagai berikut :

1. Disiapkan labu ukur 1000 ml, diisi dengan *aquadest* sebanyak 250 ml
2. Diambil secara teliti 500 ml pekat dari ruang asam
3. Dituangkan kedalam labu ukur secara perlahan dan sedikit demi sedikit
4. Dibilas dinding labu ukur dengan *aquadest* untuk mengurangi panas yang timbul karena pelarutan
5. Ditepatkan dengan *aquadest* sampai tanda tera 1000 ml
6. Ditutup dan dihomogenkan.

3.5.3 Pembuatan HF 1% 500 ml

HF pekat = 48%

Cara kerja pembuatan HF 1% 500ml adalah sebagai berikut :

1. Disiapkan labu ukur 500ml, diisikan dengan *aquadest* secukupnya

2. Diambil secara teliti 12,5 ml HF pekat dari ruang asam
3. Dituangkan secara perlahan ke dalam labu ukur sedikit demi sedikit
4. Ditepatkan dengan *aquadest* sampai tanda tera 500 ml
5. Ditunggal dan dihomogenkan.

3.5.4 Pembuatan Nanokomposit TiO₂ : Zeolit Alam Dengan Perbandingan Yang Ditentukan

Cara kerja pembuatan nanokomposit TiO₂ dan Zeolit alam adalah sebagai berikut

1. Ditimbang masing-masing TiO₂ 3gr dan Zeolit alam 2gr secara terpisah
2. TiO₂ yang telah ditimbang dilarutkan dengan 100 ml *aquadest*
3. Disonikasi selama 30 menit
4. Ditambahkan TEOS (*Tetraethylenorthosilicate*) 0,15 ml (3 tetes)
5. Disonikasi selama 2 menit
6. Ditambahkan adsorben yang telah ditimbang .
7. Diaduk sampai homogen
8. Disonikasi selama 30 menit
9. Dipisahkan antara air dan nanokomposit yang terbentuk
10. Dipanaskan di atas hot plate pada suhu 80 – 90 °C sambil diaduk dengan stirrer sampai kental.

3.5.5 Cara Membuat Panel Keramik dan Melapisi dengan Nanokomposit TiO₂:ZEOLIT Alam

Cara kerja pembuatan panel keramik dan melapisi dengan nanokomposit

TiO₂:Zeolit alam sebagai berikut :

1. Panel keramik di siapkan secukupnya
2. Cetak panel keramik dengan cetakan segiempat yang ketebalannya 2 mm
3. Diamkan di tempat terbuka selama 3 hari agar kering dengan proses alami
4. Nanokomposit TiO₂:Zeolit alam yang sudah mengental di olesi secara merata pada panel keramik

5. Masukkan ke dalam oven untuk menghilangkan kadar air selama 30 menit dengan suhu 100°C .
6. Masukkan ke dalam furnise dengan suhu $250\text{-}300^{\circ}\text{c}$ selama 2 jam.

3.5.6 Pengolahan Limbah Dengan Uji Effektivitas Fotokatalitis TiO_2 : Zeolit Alam

Cara kerja pengolahan limbah dengan reaktor fotokatalitik adalah sebagai berikut:

1. Air Demin (*Aquadesh*) dimasukkan ke dalam bak penampung sebanyak 20L
2. Limbah buatan fenol 10 ppm dimasukkan ke dalam bak penampung
3. Di aduk secara merata.
4. Panel keramik yang terdapat nanokoposit TiO_2 :Zeolit alam di masukkan ke dalam reactor alir fotokatalitik.
5. Di panaskan 1 jam
6. Dilakukan sampling

3.6 Prosedur analisa fenol

Prosedur analisa fenol memiliki 3 tahapan yaitu prosedur pembuatan larutan standar, prosedur kalibrasi fenol, prosedur analisa fenol.

3.6.1 Prosedur Pembuatan Larutan Standar

Pembuatan larutan standar yang digunakan untuk analisis phenol sebagai berikut:

1. Larutan NH_4OH 0.5 M dibuat dengan mengencerkan larutan NH_4OH pekat.
2. Larutan Buffret Phospat dibuat dengan melarutkan 10.45 gr K_2HPO_4 dan 7.23 gram KH_2PO_4 dalam 100 ml aquadest
3. Larutan 4-aminoantipirin 2% dibuat dengan melarutkan 0.06 gram Kristal 4-aminoantipirin dalam 3ml aquadest
4. Larutan $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 8% dibuat dengan melarutkan 0.24 gram Kristal $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ dalam 3 ml aquadest

3.6.2 Prosedur Kalibrasi Spektrofotometer

Sebelum melakukan analisa, harus dilakukan kalibrasi spectrometer untuk larutan standar fenol, yaitu dengan terlebih dahulu membuat larutan fenol 100 ppm dari 1 ml larutan induk 10000 ppm diencerkan dengan aquadest dalam labu ukur 100 ml. Dari larutan fenol 100 ppm diambil 0,25.0,5.0,75.1.1,25 dan 1,5 ml yang masing-masing diencerkan sampai volume 10ml. kelima larutan tersebut mempunyai konsentrasi 2,5.5.7,5 dan 10 ppm. Masing-masing sampel diambil 1 ml dan ditambahkan 9 ml aquadest kemudian ditambahkan 0,24 ml larutan buffret fosfat, kemudia 0,1 ml larutan 4aminoantipirin 2% dan terakhir 0,1 ml larutan $K_3Fe(CN)_6$ 8% sampai terbentuk warna kemerahan. Setelah itu dimasukan kedalam Spektrometer untuk dianalisa. Untuk fenol panjang gelombang (λ) yang digunakan 500 nm.

3.6.3 Prosedur Analisa Fenol

Prosedur analisa limbah fenol adalah sebagai berikut:

- a. Masukan secara urut 1 ml hasil 9 ml aquadest 0,26 NH_4OH , 0,1 M, 0,24 ml buffret fosfat, 0,1 ml aminoantipirin 2% dan 0,1 ml $K_3Fe(CN)_6$ 8%
- b. Setelah dimasukan semua, kocok hingga larutan tercampur secara homogen dan diamkan hingga 15 menit kemudian dilakukan analisa dengan menggunakan Spektrofotometer visible.

3.7 Cara Memperoleh Data

Dalam penelitian ini, data yang dibutuhkan terdiri dari data primer dan data sekun

3.7.1 Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh langsung maupun hasil perhitungan dari percobaan di laboratorium Balai Besar kimia Kemasan (BKK).

Data primer tersebut diantaranya ;

1. Konsentrasi fenol

2. Volume HCl_(p) untuk pembilasan
3. Volume HF_(p) untuk pembilasan
4. Bobot NH₄Cl untuk pembilasan

3.7.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari studi literatur yang dapat mendukung berlangsungnya penelitian dan menunjang data primer sehingga data dapat diolah dan mendapatkan hasil yang diharapkan. Data sekunder itu diantaranya adalah :

1. Konsentrasi HCl pekat, yaitu 37%
2. Konsentrasi HF pekat adalah 48%
3. Bobot molekul NH₄Cl adalah 53.5 gram/mol
4. Instruksi kerja penetapan kadar zat organik berdasarkan SNI 06-6989.22-2004

3.8 Tahap Pengambilan Kesimpulan

Pengambilan kesimpulan merupakan upaya memaknai data yang disajikan dengan mencermati pola-pola keteraturan penjelasan, konfigurasi, dan hubungan sebab akibat. Dalam melakukan penarikan kesimpulan, perlu diamati data-data yang disajikan dan penjelasan terkait dari literatur yang diperoleh seperti karakteristik material yang digunakan dan kondisi operasi optimum yang dilakukan. Kesimpulan awal yang dikemukakan masih bersifat awal, karena berubah atau tidaknya kesimpulan bergantung pada bukti di lapangan.

Format kesimpulan yang diambil dalam bentuk analisis kuantitatif nilai maksimum dan minimum masing-masing pengujian yang berasal dari sajian data, hal ini dimaksudkan untuk mendukung analisis data sehingga dapat diketahui pengaruh yang terjadi terhadap sifat mekanik komposit yang dihasilkan akibat variasi berat serat kenaf dan *coupling agent* yang ditambahkan. Dijabarkan pula

nilai optimum yang dapat digunakan sebagai aplikasi tujuan pembuatan komposit tersebut.

3.9 Jadwal Penelitian

Penelitian ini dilakukan atas kerjasama dengan pihak Balai Besar Kimia Kemasan (BBKK) di Laboratorium Cemarairan Balai Besar Kimia Kemasan (BBKK) Pasar Rebo, Jakarta Timur.

Tabel 3.1 Jadwal Penelitian

Keterangan	Maret				April				Mei				Juni			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Studi Literatur	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Pembuatan Proposal	■	■														
Penelitian	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
Pebuatan Laporan				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Untuk mendapatkan hasil penelitian, maka dibutuhkan variable yang didapatkan dari penelitian.

Variabel 1

Penggunaan panel keramik yang sama : 1, 2, 3

Berulang-ulang

Tabel 4.1 Data Hasil pengolahan Sampel Limbah fenol dengan penggunaan panel keramik nanokomposit berulang-ulang

Proses degradasi fenol	sampel	konsentrasi(ppm)
1	1	9,0677
	2	8,7916
	3	7,9501
	4	6,9053
	5	5,8006
	6	5,0905
	7	4,2990
	8	3,5907
2	1	9,1089
	2	8,7049
	3	7,9739
	4	6,8997
	5	5,7089
	6	4,9947
	7	4,0344
	8	3,7087
3	1	9,2983
	2	8,8087
	3	7,9334

	4	7,0083
	5	6,1087
	6	5,3381
	7	4,5039
	8	3,8809

Sumber: Data Percobaan di Laboratorium

Konsentrasi awal limbah fenol buatan 10 ppm/20 L. Terjadi penurunan limbah fenol. Pada pemakaian panel keramik 1 terjadi penurunan dari 10 ppm sampai 3,5907 ppm, pemakaian yang ke-2 terjadi penurunan dari 10 ppm sampai 3,7083 ppm dan pemakaian yang ke-3 terjadi penurunan dari 10 ppm sampai 3,8809 ppm.

4.2 Pembahasan

Dalam fotokatalis, kemampuan sinar UV dalam menurunkan kadar fenol sangat dipengaruhi oleh keberadaan katalis, yang dalam penelitian ini digunakan TiO_2 sebagai katalis. Penggunaan TiO_2 sebagai katalis heterogen sangat mempengaruhi laju adsorpsi reaktan ke dalam permukaan katalis untuk selanjutnya dapat bereaksi.

Laju adsorpsi reaktan ke dalam permukaan katalis juga sangat mempengaruhi waktu yang dibutuhkan oleh sinar UV dengan bantuan katalis (fotokatalis) untuk menurunkan kadar, waktu yang dibutuhkan tentu akan mempengaruhi keefektifan dan keefisienan reaksi penurunan kadar fenol. Oleh karena kinerja TiO_2 sangat berpengaruh pada laju adsorpsi reaktan, maka digunakan adsorben yang berfungsi sebagai zat yang membantu mempercepat laju adsorpsi reaktan ke permukaan TiO_2 .

Meskipun dari sisi kinerja nanokomposit tidak menunjukkan aktivitas fotokatalitik yang tinggi, hasil ini bisa menjadi titik awal untuk memanfaatkan Zeolit (yang merupakan bahan lokal) dalam aplikasi degradasi polutan, meskipun penambahan sedikit saja TiO_2 dapat meningkatkan kinerja proses degradasi secara signifikan.

Selain itu dari aspek aplikasi penggunaan Zeolit alam sebagai penyangga pada nanokomposit TiO_2 – Zeolit alam memiliki nilai lebih dalam hal separasi katalis pada sistem limbah cair diakhir reaksi. Nano partikel TiO_2 cenderung seperti larut didalam limbah cair sehingga sulit dipisahkan diakhir reaksi. Sebaliknya jika TiO_2 dibuat dalam bentuk nanokomposit TiO_2 – Zeolit alam, maka akan cenderung mudah membentuk endapan diakhir reaksi sehingga proses pemisahan katalis dari limbah mudah dilakukan

Dari hasil data percobaan di atas penggunaan panel keramik bisa berulang-ulang. Kinerja panel keramik nanokomposit TiO_2 :Zeolit alam untuk degradasi fenol menurun karna nanokomposit yang di lapiasi pada panel keramik mulai mengelupas dari panel keramik yang membuat degradasi fenol menjadi menurun.

Pada hasil pemakaian panel keramik 1 didapat penurunan fenol pada sampel akhir 3,5907 ppm, pemakaian ke-2 pada sampel akhir 3,7087 ppm dan ke-3 pada sampel akhir 3,8809 ppm. Penurunan yang signifikan di dapat karna laju alir limbah fenol yang melewati reactor fotokatalitik melambat. Laju alir yang melambat membuat proses fotokatalitik menjadi lebih lama di dalam reaktor.

Pemasangan panel keramik nanokomposit di lakukan selama satu jam untuk mengaktifkan nanokomposit TiO_2 :Zeolit alam untuk siap di gunakan dalam degradasi limbah fenol buatan. Komposisi TiO_2 :Zeolit alam di dapatkan dari hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan perbandingan 3:2 yang lebih efektif dan efisien. Degradasi limbah fenol dengan menggunakan reactor alir fotokatalitik harus di lakukan berulang-ulang sampai kadar fenol mencapai baku mutu limbah cair fenol.

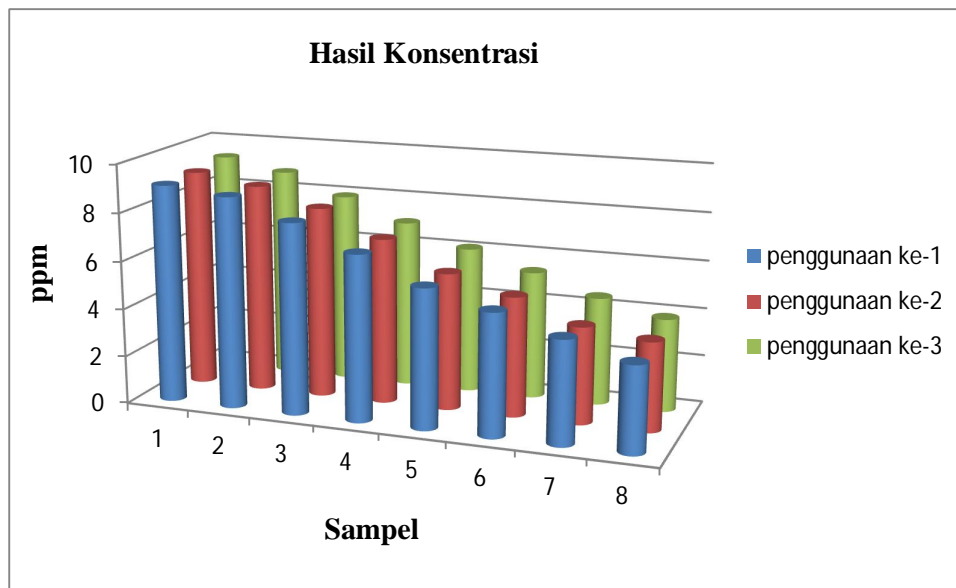
4.2.1 Uji Degradasi Fenol dengan Penggunaan Panel Keramik berulang-ulang

Panael keramik bisa di pakai berulang-ulang kali karna panel keramik tidak ikut beraksi hanya sebagai wadah atau tempat TiO_2 :Zeolit alam. Panel keramik berfungsi sebagai tempat penyimpanan panas dari sinar UV.panas yang tersimpan di panel keramik membantu laju reaksi degradasi fenol, Karen dalam proses degradasi fenol ini membutuhkan panas sinar UV. Dalam 3 kali penggunaan panel keramik nanokomposit yang sama terjadi penurunan kinerja dalam degradasi limbah fenol buatan. Penurunan kinerja panel keramik nanokomposit karena, nanokomposit yang menempal di permukaan panel keramik mengelupas yang menyebabkan penurunan kinerja dalam degradasi limbah fenol.

Panel keramik dengan nanokomposit TiO_2 :Zeolit alam pada percobaan ke-1 dapat menurunkan kadar fenol sebesar 70% itu di karnakan penyebaran nanokomposit TiO_2 :Zeolit alam pada panel keramik masih merata. Nanokomposit TiO_2 :Zeolit alam yang merata pada panel keramik membuat kinerja penurunan yang optimal terhadap penurunan kadar fenol. Pada percobaan ke-2 dan ke-3 penurunan fenol tidak sebgus pada percobaan ke-1 karena, nanokomposit TiO_2 :Zeolit alam yang terdapat pada panel keramik sedikit banyak terbawa aliran limbah fenol yang membuat penyebaran nanokomposit TiO_2 :Zeolit alam menjadi tidak merata dan mengakibatkan penurunan kenerja. Penyebab lainnya yang membuat nanokomposit pada panel keramik menjadi tidak merata yaitu saat pembilasan panel keramik dengan air untuk menghilangkan sisa-sisa limbah fenol yang menempel pada panel keramik.

Pada percobaan ke-2 dan ke-3 tidak diketahui seberapa banyak kadar fenol yang masih menempel pada panel keramik sehingga tidak di ketahui dengan pasti penurunan kadar fenol pada percobaan ke-2 dan ke-3. Panel keramik yang digunakan dengan 3 kali percobaan masih sangat baik digunakan dan untuk meningkatkan kembali kinerja nanokomposit TiO_2 :Zeolit alam dapat dilakukan pelapisan kembali yang membuat nanokomposit TiO_2 :Zeolit alam tersebar secara merata pada permukaan panel keramik.

Dari percobaan ke 1-3 didapat penurunan fenol dengan kadar terendah pada sampel ke-8 karena, proses yang berjalan di dalam reaktor alir terjadi lebih lambat dan membuat reaksi fotokatlitik menjadi lebih lama dan dapat menurunkan fenol dengan signifikan. Untuk menghasilkan kadar fenol sesuai dengan ketentuan atau ambang batas yang diperbolehkan maka harus dilakukan Degradasi limbah fenol dengan fotoreaktor alir menggunakan nanokomposit TiO_2 -Zeolit alam pada panel keramik dilakukan berulang-ulang sampai di dapat kadar fenol yang memenuhi syarat untuk di buang ke lingkungan.



Gambar 4.1 Penurunan Fenol Dengan Pemakaian panel keramik nanokomposit yang berulang-ulang

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1.A Degradasi limbah fenol dapat dilakukan dengan menggunakan proses reaktor alir fotokatalitik dengan nanokomposit TiO_2 :Zeolit alam pada panel keramik.
- 1.B Degradasi limbah fenol dengan reaktor alir fotokatalitik di lakukan berulang-ulang untuk mencapai bakumutu limbah cair.
2. Panel keramik dengan nanokomposit TiO_2 :Zeolit alam bisa digunakan berulang-ulang dalam proses degradasi limbah fenol.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan penulis berdasarkan hasil penelitian ini:

1. Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut pengaruh laju alir untuk mendegradasi limbah fenol dalam proses reaktor alir fotokatalitik.
2. Untuk penelitian lebih lanjut membuat nanokomposit TiO_2 :Zeolit pada permukaan panel keramik agar tidak mudah terbawa aliran limbah.
3. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya melakukan percobaan pengaruh kecepatan laju alir terhadap degradasi fenol agar lebih efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1994, Limbah Cair Berbagai Industri di Indonesia, Proyek EMDI-CIDA, EMDIBAPPEDAL
- Atkins, P.W. 1997. *Kimia Fisika Jilid 2*. Jakarta : Erlangga
- Bhatkhande, D.S., Pangarkar, V.G. dan Beenackers, A.A.C.M. (2001). Photocatalytic degradation for environmental applications – a review. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 77, 102-116
- Cho, H. dan Shi, H. (2004). Titanium Oxide Photocatalyst. *Three Bond Technical News*. vol. 62.
- Coulson, J.M. dan Richardson, J.F.(1997).*Chemical Engineering*, Vol.2. New York: Pergamon Press.
- Ermawati, rahyani dan Siti Naima. *Efektifitas Fotokatalis Nano Tio₂ Dalam Menurunkan Logam Chrom Dari Limbah Industri Elektroplating Yang Dikompositkan Dengan Material Karbon Aktif Dan Precipitated Calcium Carbonat*. BBKK : Jakarta
- Garcia, J.C., Takashima, K. (2003). Photocatalytic degradation of imazaquin in an aqueous suspension of titanium dioxide. *Journal of Photochemistry and Photobiology.*, 155, 215–222.
- Mantzavinos, D., Psillakis, E. (2004). Enhancement of biodegradability of industrial wastewaters by chemical oxidation pretreatment. *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, 79, 431–454.
- Maron, S.H., Lando, J. (1974). *Fundamental of Physical Chemistry* (3rd ed). London: Macmillan Publishing Co. Inc.

- Matsuoka, M., dan Anpo, M. (2003). Local structures, excited states, and photocatalytic reactivities of highly dispersed catalyst constructed within zeolites. *J. Photochem. and Photobiol. C: Photochem. Rev.*, 3, 225-252.
- Ida Nur Apriani dan Irena Yuliedtra, (2012). *Efektifitas Nanokomposit TiO₂-Zeolit Alam untuk Degradasi Limbah Fenol*. Laporan Penelitian Sekolah Tinggi Manajemen Industri : Jakarta
- Parent, Y., Blake, D. (1996). Solar Photocatalytic Process for the Purification of Water: State of Development and Barriers to Commercialization. *Solar Energy*, 56, 429-437.
- Rahyani dan Siti Naima. Naima. *Efektifitas Fotokatalis Nano TiO₂ Yang Dikompositkan Dengan Karbon Aktif Dan Precipitated Calcium Carbonat Dalam Menurunkan Chrom Dari Limbah Industri Elektropelting*. BBKK : Jakarta
- Slamet, Bismo, Rita, A., (2005). *Modifikasi Zeolit Alam dan Karbon Aktif dengan TiO₂ serta Aplikasinya sebagai Bahan Adsorben dan Fotokatalis untuk Degradasi Polutan Organik*. Laporan Penelitian Hibah Bersaing Universitas Indonesia.
- Slamet, R, Arbianti., Daryanto. (2008). Pengolahan Limbah Organik (Fenol) dan Logam Berat (Cr⁶⁺ atau Pt⁴⁺) Secara Simultan dengan Fotokatalis TiO₂, ZnO-TiO₂, dan CdS-TiO₂. *Jurnal Teknologi*, 1, 59-68.
- Tjahjanto, R.T., dan Gunlazuardi, J. (2001). *Preparasi Lapisan Tipis TiO₂ sebagai Fotokatalis: Keterkaitan antara Ketebalan dan Aktivitas Fotokatalis*, *Jurnal Penelitian Universitas Indonesia*, 5:2, 81-91.
- Underwood. *Analisis Kimia Kuantitatif edisi kelima Terjemahan*. Jakarta : Erlangga

Yang, R.T. (1987). *Gas separation by adsorption processes*. Stoneham:
Butterworth Publisher.