

**Degradasi *Methyl Orange* dengan Oksidator H_2O_2 dan
Fotokatalis TiO_2 -Zeolit**

SKRIPSI

oleh :

**APRILYA PUTRI AZIZTYANA
0810920024**



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2012**

**Degradasi *Methyl Orange* dengan Oksidator H_2O_2 dan
Fotokatalis TiO_2 -Zeolit**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Kimia

oleh :

APRILYA PUTRI AZIZTYANA

0810920024



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2012**

**Degradasi *Methyl Orange* dengan Oksidator H_2O_2 dan
Fotokatalis TiO_2 -Zeolit**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

oleh :

APRILYA PUTRI AZIZTYANA
0810920024

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Kimia

Pembimbing I

Pembimbing II

Dra. Sri Wardhani, M.Si
NIP. 19680226 199203 2 001

Yuniar Ponco Prananto, M.Sc
NIP. 19810620 200501 1 002

Mengetahui,
Ketua Jurusan Kimia
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

Dr. Sasangka Prasetyawan, MS.
NIP. 19630404 198701 1 001

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Aprilya Putri Aziztyana
NIM : 0810920024
Jurusan : Kimia
Penulis skripsi berjudul :
Degradasi *Methyl Orange* dengan Oksidator H_2O_2 dan Fotokatalis
 TiO_2 -Zeolit

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Isi dari tugas akhir yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam tugas akhir ini.
2. Apabila di kemudian hari ternyata tugas akhir yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, Agustus 2012

Yang menyatakan,

(Aprilya Putri Aziztyana)
NIM. 0810920024

Degradasi *Methyl Orange* dengan Oksidator H₂O₂ dan Fotokatalis TiO₂-Zeolit

ABSTRAK

Limbah tekstil yang mengandung zat warna *methyl orange* dapat menimbulkan pencemaran lingkungan jika tidak diolah dengan baik. Pengurangan kadar *methyl orange* dalam perairan dapat dilakukan melalui degradasi fotokatalitik dengan semikonduktor. Tujuan dari penelitian ini adalah mengkarakterisasi kandungan TiO₂ dalam fotokatalis TiO₂-zeolit dengan menggunakan XRF, mengkaji pengaruh konsentrasi H₂O₂ dan lama penyinaran terhadap degradasi *methyl orange* dan pengaruh konsentrasi *methyl orange* awal terhadap konstanta laju reaksi. Tingkat efektifitas pemakaian ulang fotokatalis TiO₂-zeolit dalam degradasi *methyl orange* juga dikaji dalam penelitian ini. Impregnasi TiO₂ ke dalam zeolit dilakukan dengan mencampurkan zeolit alam teraktivasi dan TiO₂ dengan perbandingan 15 mmol TiO₂ dalam 1 gram zeolit. Konsentrasi H₂O₂ yang digunakan adalah 4, 8, 12, dan 16 %. Degradasi *methyl orange* dilakukan dengan fotokatalis TiO₂-zeolit dan H₂O₂ selama 20, 30, 40, 50, dan 60 menit. Konsentrasi *methyl orange* awal yang digunakan adalah 10, 20, dan 30 mg/L. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa kadar TiO₂ dalam fotokatalis TiO₂-zeolit sebesar 82,04%. Konsentrasi H₂O₂ berpengaruh terhadap degradasi *methyl orange*, konsentrasi H₂O₂ optimum adalah 8% dengan persen degradasi *methyl orange* sebesar 84,58%. Lama penyinaran berpengaruh terhadap degradasi *methyl orange*, semakin lama waktu reaksi maka persen degradasi *methyl orange* semakin meningkat. Degradasi *methyl orange* 10 mg/L menghasilkan persen degradasi terbesar pada waktu 60 menit. Sedangkan persen degradasi *methyl orange* 20 dan 30 mg/L cenderung konstan setelah 50 menit. Konsentrasi *methyl orange* awal berpengaruh terhadap konstanta laju reaksi. Konstanta laju reaksi terbesar diperoleh pada konsentrasi *methyl orange* 10 mg/L, yaitu 0,015 menit⁻¹. Pemakaian ulang fotokatalis TiO₂-zeolit dalam degradasi *methyl orange* cukup efektif hingga pemakaian ke-4.

Kata kunci: *methyl orange*, fotokatalis, TiO₂-zeolit, H₂O₂

Methyl Orange Degradation using H_2O_2 as Oxidizing Agent and Photocatalyst of TiO_2 -Zeolite

ABSTRACT

Textile wastewater containing methyl orange dye can cause environmental pollution if not treated properly. Reduction of methyl orange concentration in water can be done through semiconductor photocatalytic degradation. The aim of this research were to characterize TiO_2 in TiO_2 -zeolite photocatalyst using XRF, to examine the influence of H_2O_2 concentration and long exposure toward methyl orange degradation and to study the influence of methyl orange initial concentration toward reaction rate constant. The effectiveness of reused photocatalyst of TiO_2 -zeolite in methyl orange degradation was also investigated. Impregnation of TiO_2 into the zeolite was done by mixing activated natural zeolite and TiO_2 with a ratio of 15 mmol of TiO_2 in 1 gram of zeolite. H_2O_2 concentrations that used were 4, 8, 12, and 16%. Degradation of methyl orange using TiO_2 -zeolites photocatalyst and H_2O_2 were conducted in 20, 30, 40, 50, and 60 minutes. Methyl orange initial concentrations that used were 10, 20, and 30 mg/L. The results revealed that the concentration of TiO_2 in TiO_2 -zeolite photocatalysts was 82.04%. Concentration of H_2O_2 influences the methyl orange degradation, in which optimum H_2O_2 concentration was obtained at 8% with percent degradation of methyl orange of 84.58%. Irradiation time was also affecting the methyl orange degradation, in which methyl orange degradation percentage was increased with the increasing of reaction time. Degradation of 10 mg/L methyl orange gives the highest degradation percentage in 60 minutes. While the degradation percentage of 20 and 30 mg/L of methyl orange were remains constant after 50 minutes. Moreover, the reaction rate constant was also influenced by initial concentration of methyl orange. The highest reaction rate constant was obtained at methyl orange concentration of 10 mg/L, which is 0.015 minutes⁻¹. Reuse of TiO_2 -zeolite photocatalyst in the methyl orange degradation was also effective until the fourth use.

Keywords: methyl orange, photocatalyst, TiO_2 -zeolite, H_2O_2 .

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas rahmat dan kasihNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul: **Degradasi *Methyl Orange* dengan Oksidator H_2O_2 dan Fotokatalis TiO_2 -Zeolit**

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, untuk itu penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dra. Sri Wardhani, M.Si selaku pembimbing I dan Yuniar Ponco Prananto, M.Sc selaku pembimbing II atas bimbingan, pengarahan, dan kesabaran yang diberikan selama penyusunan skripsi.
2. Dr. Sasangka Prasetyawan, MS selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya.
3. Dr. Soebiantoro, Apt, M.Sc selaku Dosen Penasehat Akademik yang telah memberikan arahan kepada penulis selama menempuh studi di Jurusan Kimia Universitas Brawijaya
4. Seluruh Bapak dan Ibu dosen yang selama ini membimbing penulis.
5. Seluruh staf pengajaran dan laboran yang telah membantu keperluan penulis dalam menyelesaikan skripsi.
6. Bapak, Ibu, dan adik-adikku tercinta yang selalu memberikan dukungan baik moril maupun materiil.
7. Teman-teman Kimia 2008 dan rekan-rekan lain atas segala bantuan, dukungan dan doa-nya.

Akhirnya dengan segala keterbatasan, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak untuk perbaikan naskah skripsi ini sehingga dapat berguna bagi pembaca.

Malang, Agustus 2012

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Zeolit	5
2.2 Semikonduktor	7
2.3 TiO ₂ sebagai Fotokatalis	8
2.4 Pengembangan TiO ₂	10
2.5 <i>Methyl Orange</i>	11
2.6 Pengaruh Penambahan H ₂ O ₂	13
2.7 Kinetika Reaksi Degradasi Zat Warna	14
2.8 Spektrofotometri UV-Vis	15
2.9 Fluoresensi Sinar X (XRF).....	15
BAB III METODOLOGI	17
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	17
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	17
3.2.1 Alat-alat Penelitian	17
3.2.2 Bahan Penelitian	17
3.3 Tahapan Penelitian	17
3.4 Prosedur Kerja Penelitian	18

3.4.1	Preparasi Zeolit Alam dengan Aktivasi Asam	18
3.4.2	Pengembangan TiO ₂ pada Zeolit Hasil Preparasi.	18
3.4.3	Uji Fotokatalitik	19
3.4.3.1	Penentuan Panjang Gelombang Maksimum <i>Methyl Orange</i>	19
3.4.3.2.	Pembuatan Kurva Baku <i>Methyl Orange</i>	19
3.4.3.3.	Efektifitas H ₂ O ₂ dalam Degradasi <i>Methyl Orange</i> dengan Fotokatalis TiO ₂ -Zeolit.....	19
3.4.3.4.	Pengaruh Konsentrasi H ₂ O ₂ terhadap Degradasi <i>Methyl Orange</i> Menggunakan Fotokatalis TiO ₂ -Zeolit	20
3.4.3.5.	Pengaruh Lama Penyinaran terhadap Degradasi <i>Methyl Orange</i> Menggunakan Fotokatalis TiO ₂ -Zeolit	20
3.4.3.6.	Pengaruh Konsentrasi <i>Methyl Orange</i> Awal terhadap Konstanta Laju Reaksi Degradasi <i>Methyl Orange</i>	21
3.4.3.7.	Efektifitas Pemakaian Ulang Fotokatalis TiO ₂ -Zeolit dalam Degradasi <i>Methyl Orange</i>	21
3.4.4	Karakterisasi TiO ₂ -Zeolit dengan Menggunakan Fluoresensi Sinar X	21
3.4.5	Analisis Data.....	22
3.4.5.1	Penentuan Persen <i>Methyl Orange</i> terdegradasi	22
3.4.5.2	Penentuan Konstanta Laju Reaksi Fotodegradasi	22
3.4.5.3	Uji F	23
3.4.5.4	Uji Beda Nyata Terkecil (BNT)	23
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1	Sintesis TiO ₂ – Zeolit	24
4.2	Uji Efektifitas H ₂ O ₂ dalam Degradasi <i>Methyl Orange</i> dengan Fotokatalis TiO ₂ – Zeolit	26
4.3	Pengaruh Konsentrasi H ₂ O ₂ pada Degradasi <i>Methyl Orange</i> dengan Fotokatalis TiO ₂ – Zeolit.....	29
4.4	Pengaruh Lama Penyinaran terhadap Degradasi <i>Methyl Orange</i> dengan Fotokatalis TiO ₂ -Zeolit	31

4.5 Pengaruh Konsentrasi <i>Methyl Orange</i> Awal terhadap Konstanta Laju Reaksi Degradasi <i>Methyl Orange</i>	33
4.6 Efektifitas Pemakaian Ulang Fotokatalis TiO ₂ -Zeolit pada Degradasi <i>Methyl Orange</i>	34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	36
5.1 Kesimpulan	36
5.2 Saran	36
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN	45



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1.1 Struktur Tiga Dimensi Zeolit	5
Gambar 2.1.2 Akitivasi Zeolit dengan HCl	7
Gambar 2.3.1 Proses Fotokatalisis	9
Gambar 2.3.2 Struktur Kristal Anatase dan Rutil	9
Gambar 2.5.1 <i>Methyl Orange</i>	11
Gambar 2.5.2 Tahapan Reaksi Degradasi Senyawa Azo <i>Methyl Orange</i>	12
Gambar 4.2.1 Grafik Hubungan Perlakuan Sampel terhadap Degradasi <i>Methyl Orange</i>	26
Gambar 4.3.1 Grafik Hubungan Konsentrasi H ₂ O ₂ terhadap Degradasi <i>Methyl Orange</i>	30
Gambar 4.4.1 Grafik Hubungan Lama Penyinaran terhadap Degradasi <i>Methyl Orange</i>	32
Gambar 4.5.1 Grafik Hubungan antara ln(C ₀ /C _t) terhadap Waktu dengan Variasi Konsentrasi <i>Methyl Orange</i> Awal.....	33
Gambar 4.6.1 Grafik Hubungan antara Pemakaian Fotokatalis TiO ₂ -Zeolit terhadap Degradasi <i>Methyl Orange</i>	35
Gambar L.C.1 Grafik Penentuan Panjang Gelombang Maksimum <i>Methyl Orange</i> dengan Spektrofotometer UV-Vis.....	48
Gambar L.C.2 Grafik Kurva Baku <i>Methyl Orange</i>	49
Gambar L.D.4 Grafik Hubungan antara Degradasi <i>Methyl Orange</i> terhadap Waktu	54
Gambar L.D.5 Grafik Hubungan antara ln (C ₀ /C _t) terhadap Waktu	56
Gambar L.E.1 Identifikasi Kadar Logam pada Zeolit Teraktivasi	58
Gambar L.E.2 Identifkasi Kadar Logam Oksida pada Zeolit Teraktivasi	59
Gambar L.E.3 Identifikasi Kadar Logam pada Fotokatalis TiO ₂ -Zeolit.....	60
Gambar L.E.4 Identifikasi Kadar Logam Oksida pada Fotokatalis TiO ₂ -Zeolit.....	60

Gambar L.F.1	Spektrum UV-Vis <i>Methyl Orange</i> 10 mg/L Sebelum Degradasi.....	61
Gambar L.F.2	Spektrum UV-Vis <i>Methyl Orange</i> 10 mg/L Setelah Degradasi	61
Gambar L.G.1	Reaktor UV	62

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.3.1 Perbedaan Struktur Kristal Anatase dan Rutil	10
Tabel 4.1.1 Tabel Perbandingan Kandungan Senyawa Oksida Logam pada Zeolit Alam Teraktivasi dan Fotokatalis TiO ₂ -Zeolit.....	25
Tabel 4.2.1 Hasil Analisis <i>Methyl Orange</i> Sebelum dan Setelah Degradasi Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis	29
Tabel 4.5.1 Tabel Konstanta Laju Reaksi Degradasi <i>Methyl Orange</i> dengan Variasi Konsentrasi <i>Methyl Orange</i> Awal	33
Tabel L.B.2 Perhitungan Pengenceran Larutan <i>Methyl Orange</i> 200 mg/L	46
Tabel L.C.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum <i>Methyl Orange</i>	48
Tabel L.C.2 Data Absorbansi Larutan <i>Methyl Orange</i> Standar (pH 6)	48
Tabel L.D.3 Konversi Konsentrasi H ₂ O ₂ dalam Larutan menjadi mol. L ⁻¹	52
Tabel L.D.4 Penentuan Persen Degradasi <i>Methyl Orange</i> tiap Satuan Waktu	53
Tabel L.D.5 Penentuan Nilai ln (C ₀ /C _t) tiap Satuan Waktu	55
Tabel L.D.6 Hasil Degradasi <i>Methyl Orange</i> dengan Pemakaian Ulang Fotokatalis TiO ₂ -Zeolit	57

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A	Diagram Alir Penelitian..... 45
Lampiran B	Perhitungan dan Pembuatan Larutan 46
Lampiran C	Penentuan Persen <i>Methyl Orange</i> Terdegradasi 48
Lampiran D	Data Pengukuran Persen <i>Methyl Orange</i> Terdegradasi 50
Lampiran E	Karakterisasi TiO ₂ -Zeolit dengan Fluoresensi Sinar X (XRF)..... 58
Lampiran F	Spektrum UV-Vis <i>Methyl Orange</i> 61
Lampiran G	Gambar Alat Penelitian 62



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dampak negatif yang ditimbulkan oleh adanya perkembangan industri adalah meningkatnya volume limbah yang dapat mencemari lingkungan. Industri tekstil sebagai salah satu industri yang sedang berkembang seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk serta kebutuhan sandang memiliki kontribusi yang besar terhadap pencemaran air yang diakibatkan oleh limbah cair yang dihasilkannya. Limbah cair mengandung bahan-bahan organik seperti zat warna, dioksin, pestisida, klorofenol, dan lainnya [1]. Limbah zat warna yang dihasilkan oleh industri tekstil umumnya merupakan senyawa organik *non biodegradable*, sehingga keberadaannya di perairan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan [2]. Senyawa yang paling banyak terdapat dalam limbah tekstil adalah zat warna azo dengan jumlah sekitar 60 – 70 % [3]. *Methyl orange* merupakan salah satu zat warna azo yang sering digunakan sebagai pewarna tekstil.

Beberapa metode pengolahan limbah seperti adsorpsi, osmosis, flokulasi, koagulasi, oksidasi maupun ozonisasi telah dilakukan untuk menghilangkan zat warna dari perairan. Saat ini, pengolahan limbah dengan metode fotokatalisis banyak dikembangkan. Fotokatalis merupakan suatu bahan yang dapat meningkatkan laju reaksi oksidasi maupun reduksi dengan adanya induksi cahaya [4]. Metode degradasi fotokatalisis dengan semikonduktor merupakan suatu metode baru yang efektif dan cepat dalam menghilangkan polutan dari perairan [5]. Keuntungan proses fotokatalisis dibandingkan dengan proses oksidasi kimia tradisional atau proses biologi adalah mampu mendegradasi berbagai senyawa kimia, dapat diterapkan pada medium cair maupun gas, serta memiliki potensi untuk memanfaatkan sinar matahari sebagai pengganti sinar UV [6].

Penggunaan semikonduktor dalam proses fotokatalisis telah banyak dipelajari, fotokatalisis berbasis semikonduktor dapat melakukan mineralisasi total terhadap polutan organik, biayanya terjangkau, prosesnya relatif cepat, tidak beracun dan dapat digunakan dalam jangka panjang [7]. Diantara semikonduktor lain

seperti Al_2O_3 , ZnO , CdO , dan SnO_2 [8], TiO_2 merupakan semikonduktor dengan kinerja terbaik karena efisiensi oksidasinya tinggi, murah dan ramah lingkungan [9].

Efisiensi pemakaian fotokatalis dalam pengolahan limbah dapat ditinjau dari kemampuannya untuk mendegradasi limbah secara berulang-ulang. Berdasarkan penelitian Pekakis, dkk [10] TiO_2 dapat digunakan kembali untuk mendegradasi limbah tekstil hingga pemakaian ke-3. Meskipun terjadi penurunan efisiensi degradasi tetapi pemakaian kembali fotokatalis hingga ketiga kalinya masih menunjukkan persen degradasi yang cukup tinggi.

Aktivitas katalitik semikonduktor dapat ditingkatkan melalui pengembanan pada suatu material berpori, misalnya zeolit [11,12,13]. Distribusi TiO_2 di permukaan dalam dan luar zeolit mengakibatkan luas permukaan spesifik dan volume total pori meningkat [11]. Penelitian Faghihian dan Bahranifard [12] menyebutkan bahwa pengembanan TiO_2 pada zeolit mampu meningkatkan persen degradasi *Safranin-O* sebesar 69% dibandingkan dengan TiO_2 tanpa diembankan.

Radiasi sinar UV terhadap TiO_2 akan mengeksitasi elektron pada pita valensi menuju ke pita konduksi, sehingga menghasilkan elektron pada pita konduksi dan *hole* pada pita valensi. Elektron pada pita konduksi akan bereaksi dengan O_2 terlarut untuk menghasilkan radikal superoksida. Sedangkan *hole* bereaksi dengan H_2O menghasilkan radikal hidroksil. Kedua radikal ini dapat mendegradasi dan memineralisasi senyawa organik [14]. Rekombinasi antara h^+_{vb} dan e^-_{cb} berlangsung dalam waktu beberapa nanosekon [15] sehingga peranan oksidator seperti H_2O_2 sebagai penangkap elektron sangat penting untuk mencegah terjadinya rekombinasi. Penambahan H_2O_2 berperan untuk menangkap elektron pada pita konduksi, sehingga H_2O_2 tereduksi dan menghasilkan radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$). $\bullet\text{OH}$ yang terbentuk akan mengoksidasi *methyl orange* dalam perairan sehingga dapat meningkatkan efisiensi degradasi. Akan tetapi, pada konsentrasi H_2O_2 yang tinggi efisiensi degradasi menurun karena H_2O_2 akan bereaksi dengan radikal hidroksil dan *hole* pada pita valensi menghasilkan $\text{HO}_2\bullet$ yang kurang reaktif [14,15] karena hanya memiliki potensial oksidasi sebesar 1,70 V [4]. Sedangkan $\bullet\text{OH}$ memiliki nilai potensial oksidasi sebesar 2,8 V [4] sehingga lebih efektif dalam mendegradasi senyawa organik. Adanya H_2O_2 berlebih juga dapat teradsorpsi pada partikel

TiO₂ sehingga sifat permukaannya berubah dan menurunkan aktivitas katalisisnya [18].

Penelitian yang telah dilakukan oleh Rashed dan El-Amin [19] menunjukkan bahwa konsentrasi *methyl orange* berpengaruh terhadap proses degradasi menggunakan fotokatalis TiO₂. Semakin besar konsentrasi *methyl orange*, maka konstanta laju reaksi degradasi akan menurun. Lama penyinaran berpengaruh terhadap banyaknya radikal hidroksil yang dihasilkan untuk mendegradasi zat warna. Semakin lama reaksi, interaksi antara foton dan fotokatalis semakin banyak, radikal hidroksil yang dihasilkan terus bertambah sehingga persen degradasi meningkat [2]. Banyaknya TiO₂ yang berperan sebagai katalis mempengaruhi efisiensi degradasi. Semakin besar kandungan TiO₂ dalam fotokatalis TiO₂-zeolit, pembentukan h⁺ pada pita valensi dan e⁻ pada pita konduksi semakin banyak. Radikal hidroksil dan superoksida yang dihasilkan pun semakin banyak sehingga jumlah *methyl orange* yang terdegradasi semakin besar [20]. Akan tetapi, jumlah katalis yang terlalu banyak dapat mengakibatkan penurunan aktivitas fotokatalis. Hal ini disebabkan oleh adanya agregasi pada permukaan fotokatalis sehingga luas permukaan spesifik menurun [12].

Berdasarkan hal tersebut di atas, penelitian ini akan mengkaji pengaruh lama penyinaran dan konsentrasi H₂O₂ dalam proses degradasi *methyl orange* dengan menggunakan fotokatalis TiO₂-zeolit serta pengaruh konsentrasi *methyl orange* awal terhadap konstanta laju reaksi degradasi. Karakterisasi TiO₂-zeolit dilakukan dengan menggunakan Fluoresensi Sinar X (XRF) untuk menganalisis kandungan TiO₂ pada TiO₂-zeolit hasil sintesis. Efektivitas fotokatalis TiO₂-zeolit untuk mendegradasi *methyl orange* diuji melalui pemakaian fotokatalis dalam proses degradasi *methyl orange* secara berulang.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan di atas, maka dapat dirumuskan beberapa masalah yaitu:

1. Berapa kadar TiO₂ dalam fotokatalis TiO₂-zeolit hasil sintesis?
2. Bagaimanakah pengaruh konsentrasi H₂O₂ dan lama penyinaran terhadap degradasi zat warna *methyl orange* menggunakan fotokatalis TiO₂-zeolit?

3. Bagaimanakah pengaruh konsentrasi *methyl orange* awal terhadap konstanta laju reaksi degradasi *methyl orange*?
4. Bagaimanakah efektifitas pemakaian ulang fotokatalis TiO₂-zeolit dalam degradasi *methyl orange*?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan perumusan masalah di atas, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Zeolit yang digunakan dalam penelitian ini adalah zeolit alam Turen dengan ukuran 120-150 mesh
2. Penentuan kadar *methyl orange* dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis
3. Reaktor yang digunakan berukuran 49,7cm x 47,2 cm x 40,7 cm dengan dua buah lampu UV Merk Sankyo 10 watt λ 352 nm
4. Penentuan kandungan Ti dan TiO₂dalam TiO₂-Zeolit dilakukan dengan menggunakan Fluoresensi Sinar X (XRF)

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kandungan TiO₂ dalam fotokatalis TiO₂-zeolit hasil sintesis
2. Mengetahui pengaruh konsentrasi H₂O₂ dan lama penyinaran terhadap degradasi *methyl orange* menggunakan fotokatalis TiO₂-zeolit
3. Mengetahui pengaruh konsentrasi *methyl orange* awal terhadap konstanta laju reaksi degradasi *methyl orange*
4. Mengetahui efektifitas pemakaian ulang fotokatalis TiO₂-zeolit dalam degradasi *methyl orange*

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang efektifitas penggunaan TiO₂-zeolit dalam proses degradasi zat warna *methyl orange* dengan adanya oksidator H₂O₂, memberikan solusi yang efektif dalam penanganan limbah cair berupa zat warna, dan mengoptimalkan pemanfaatan zeolit alam yang melimpah.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Zeolit

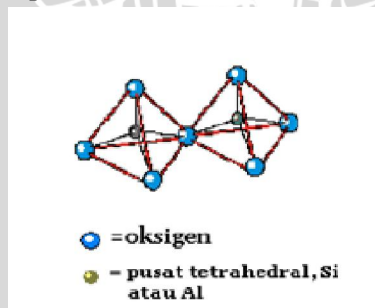
Zeolit merupakan mineral yang mengandung senyawa aluminasilikat dengan struktur kristal yang berbentuk rangka tiga dimensi, memiliki rongga di dalamnya yang terisi ion-ion logam seperti Na, K, Mg, Ca dan Fe serta molekul air [18,19]. Pemanfaatan zeolit sangat luas antara lain sebagai adsorben, penukar ion, dan katalis. Peranannya sebagai katalis didasarkan pada adanya ruang kosong yang dapat digunakan sebagai katalis maupun sebagai penyangga katalis untuk reaksi katalitik [21]. Penggunaan zeolit sebagai katalis telah digunakan secara luas diantaranya sebagai katalis dalam perengkahan minyak goreng [23] maupun sebagai katalis dalam proses konversi senyawa aseton-butanol-etanol (ABE) menjadi hidrokarbon [21]. Rumus kimia zeolit adalah sebagai berikut [21]:



Keterangan:

- M : kation (biasanya Na, K, Mg atau Ca)
n : valensi kation
c, d : jumlah total tetrahedral per unit sel
b : banyaknya molekul air yang terkandung

Berdasarkan struktur kimianya yang digambarkan pada Gambar 2.1.1, zeolit terdiri dari silika alumina terhidrat dengan kation yang dapat dipertukarkan [24].



Gambar 2.1.1. Struktur tiga dimensi zeolit

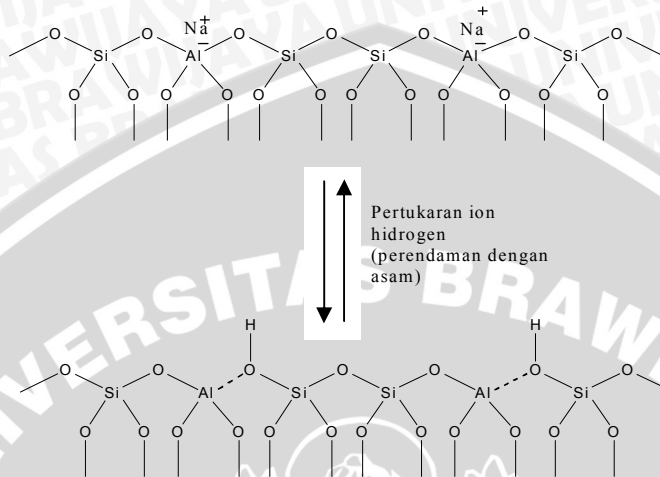
Zeolit memiliki 3 sifat yang mendasari penggunaannya sebagai katalis, yaitu [21]:

1. sebagai penyaring molekul, sifat ini dapat dimanfaatkan untuk menyeleksi reaktan, hasil antara dan produk akhir dalam suatu proses katalitik.
2. memiliki pusat asam, yang dapat memberikan medium yang lebih reaktif untuk proses katalitik.
3. adanya rasio Si/Al, semakin tinggi rasio Si/Al akan mengakibatkan tingkat keasaman yang tinggi.

Zeolit alam banyak bercampur dengan materi pengotor baik berupa kristalin maupun amorf. Oleh karena itu, zeolit alam perlu diaktivasi dan dimodifikasi untuk meningkatkan aktivitas katalitiknya [25]. Proses aktivasi zeolit dapat memurnikan zeolit dari pengotor, menghilangkan jenis kation logam tertentu dan molekul air yang terdapat dalam rongga, atau memperbesar volume pori, sehingga kapasitasnya lebih tinggi [26].

Aktivasi zeolit dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu secara fisik melalui pemanasan (kalsinasi) dan secara kimia melalui penambahan zat kimia. Pemanasan dapat menguapkan air yang terperangkap dalam pori-pori kristal zeolit sehingga jumlah pori dan luas permukaan spesifiknya bertambah [27]. Reagen kimia yang dapat digunakan untuk proses aktivasi zeolit alam adalah larutan asam. Setianingsih [28] telah melakukan aktivasi zeolit dengan menggunakan HCl. Adapun penelitian lain telah mempelajari aktivasi zeolit menggunakan HCl dengan berbagai variasi konsentrasi dimana daya adsorpsi optimum zeolit dihasilkan pada konsentrasi 0,4 M [29]. Pada proses aktivasi zeolit menggunakan HCl terjadi pertukaran kation dalam zeolit yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.2 [20].

Aktivasi dengan penambahan asam bertujuan untuk menggantikan semua kation-kation yang ada pada zeolit dengan ion H^+ . Ion H^+ tersebut yang akan mengaktifkan permukaan zeolit. Terbentuknya zeolit teraktivasi ini akan mempercepat pembentukan asam Lewis sehingga dapat menyerap kation dibandingkan dengan zeolit tanpa aktivasi [27].



Gambar 2.1.2. Aktivasi Zeolit dengan HCl

2.2 Semikonduktor

Ada tiga jenis klasifikasi zat padat berdasarkan kemampuannya menghantarkan listrik, yaitu konduktor, semikonduktor, dan isolator. Dalam teori pita zat padat, elektron-elektron tersusun pada tingkat energi yang disebut pita energi. Pita energi terbagi dalam dua macam yaitu pita valensi dan pita konduksi. Di antara dua pita tersebut terdapat suatu luangan energi (Energi Band Gap, E_g) dimana tidak ada orbital elektron sama sekali. Ketika elektron berada pada pita valensi maka suatu padatan akan bersifat isolator, sedangkan jika elektron menempati pita konduksi maka padatan akan bersifat konduktor. Padatan semikonduktor mempunyai luangan energi antara pita valensi dan pita konduksi yang sangat tipis, sehingga hanya dengan sedikit penambahan atau pengurangan energi, elektron dapat dengan mudah berpindah dari pita valensi ke pita konduksi [30].

Adanya overlapping orbital atom akan memberikan pelebaran dan penyempitan pita yang menghasilkan E_g . Hal ini menyebabkan suatu bahan dapat menyerap energi radiasi sebesar E_g yang dimiliki sehingga dapat meningkatkan kepekaan reaksi oksidasi reduksi yang diinduksi oleh cahaya, apabila terjadi penyerapan cahaya oleh E_g di antara kedua pita tersebut [31].

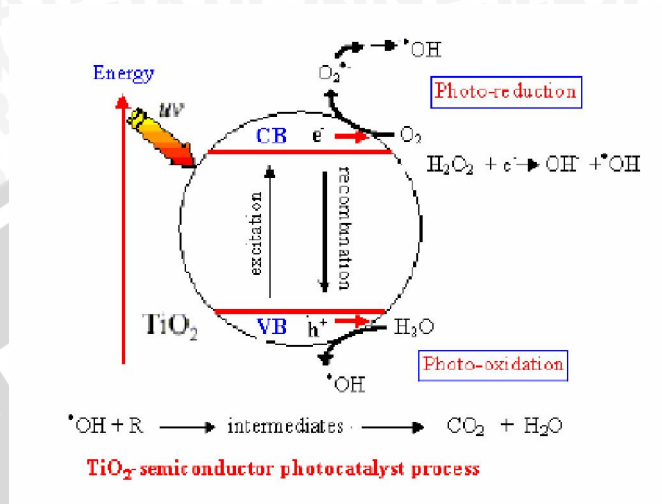
Di daerah pita valensi orbital tertinggi yang ditempati elektron pada suhu nol absolut disebut tingkat Fermi, yang terletak di sekitar tengah-tengah pita. Apabila temperatur naik atau dengan adanya eksitasi optik (cahaya) dengan energi yang melebihi E_g , elektron akan naik ke pita konduksi meninggalkan pita valensi, maka terjadilah hole atau muatan positif pada pita valensi. Pada TiO_2 luangan energinya sebanding dengan radiasi cahaya 388 nm (3,23 eV) yaitu pada daerah UV dekat[32]. *Hole* dapat bereaksi dengan donor elektron lainnya atau dengan ion hidroksida untuk menghasilkan spesies oksidator yang kuat seperti radikal hidroksil maupun superoksida[33].

Beberapa semikonduktor oksida yang mempunyai E_g pada daerah energi cahaya UV-Vis adalah TiO_2 , $SrTiO_3$, ZnO dan Fe_2O_3 . Di antara semikonduktor tersebut TiO_2 telah terbukti paling baik untuk mengatasi masalah lingkungan dan aman untuk lingkungan [30].

2.3 TiO_2 sebagai Fotokatalis

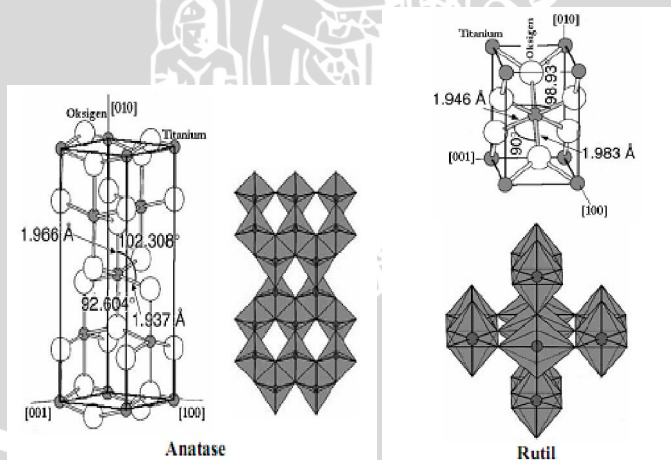
Titanium dioksida (TiO_2) telah dikenal sebagai suatu semikonduktor dalam aktivitas fotokatalitik. Tidak bersifat toksik, stabil dalam bentuk larutan encer, dan cukup murah. Ketika radiasi dengan energi yang sama atau lebih besar dari lebar pita semikonduktor diserap, foton akan mengeksitasi suatu elektron dari pita valensi menuju pita konduksi dan meninggalkan *hole* dalam pita valensi (h^+) [13] yang ditunjukkan oleh Gambar 2.3.1.

Beberapa sifat TiO_2 yaitu memiliki reaktivitas fotokimia yang tinggi, aktivitas fotokatalisis yang tinggi, harganya murah, stabil dalam sistem larutan dan tidak bersifat toksik. Ketika suatu semikonduktor seperti TiO_2 menyerap foton dengan energi yang sama atau lebih besar daripada lebar jarak pita (3,2 eV), suatu elektron akan dipromosikan dari pita valensi menuju pita konduksi (e^-_{cb}) meninggalkan kekosongan elektron pada pita valensi (h^+_{vb}). *Hole* pada pita valensi TiO_2 yang memiliki potensial oksidasi +2,6 V dapat mengoksidasi air atau hidroksida untuk menghasilkan radikal hidroksil. Radikal hidroksil merupakan agen pengoksidasi yang kuat dan mampu menyerang senyawa organik menghasilkan H_2O , CO_2 dan anion anorganik [35].



Gambar 2.3.1. Proses Fotokatalisis[36]

Terdapat 3 bentuk polimorf TiO_2 yaitu rutil, anatase, dan brokit. Rutil dan anatase merupakan dua struktur kristal TiO_2 yang paling sering digunakan dalam proses fotokatalisis. Struktur anatase dan rutil digambarkan dalam bentuk rantai oktahedra TiO_6 yang dapat dibedakan oleh distorsi oktahedron dan pola susunan rantai oktahedronnya yang tampak pada Gambar 2.3.2.[6].



Gambar 2.3.2. Struktur Kristal Anatase dan Rutil

Adanya perbedaan struktur kisi ini menyebabkan perbedaan massa jenis dan struktur pita elektronik antara dua bentuk TiO₂, anatase memiliki daerah aktivasi yang lebih luas dibandingkan rutil sehingga kristal tersebut menjadi lebih reaktif terhadap cahaya dibandingkan dengan rutil. Perbedaan antara struktur kristal anatase dan rutil dapat dilihat pada Tabel 2.3.1.[6].

Tabel 2.3.1. Perbedaan Struktur Kristal Anatase dan Rutil

Faktor Perbedaan	Kristal	
	Anatase	Rutil
Energi gap (E _g), eV	3,2	3,1
Massa jenis (ρ), g/cm ⁻³	3,830	4,240
Jarak Ti-Ti, Å	3,97 dan 3,04	3,57 dan 2,96
Jarak Ti-O, Å	1,937 dan 1,966	1,946 dan 1,983
Parameter Sel, Å	a = 3,782 c = 9,502	a = 4,587 c = 2,953

Besarnya energi gap (E_g), posisi pita konduksi dan pita valensi menentukan karakter fotokatalis dalam hal kebutuhan energi foton yang diperlukan untuk mengaktifkannya dan berapa besar kekuatan oksidasi dan reduksinya setelah diaktifkan [6].

2.4 Pengembanan TiO₂

Terdapat dua tahapan dalam pembuatan katalis berpengembanan yaitu tahap memasukkan logam ke dalam pengembanan dan tahap aktivasi. Tahap memasukkan logam ke dalam pengembanan umumnya dilakukan dengan metode impregnasi [37].

Fatimah,dkk [13] telah melakukan pengembanan TiO₂ pada zeolit dengan menggunakan teknik dispersi mekanik titan dioksida ke dalam pori-pori dan permukaan zeolit alam yang diikuti dengan kalsinasi pada temperatur tinggi. Hal ini dilakukan dengan mencampurkan 100 g zeolit dengan 5 g TiO₂ dan ditambah 100 mL etanol absolut sambil diaduk dengan pengaduk magnet kemudian dikeringkan dalam oven pada temperatur 120°C dan selanjutnya dikalsinasi pada temperatur 400 – 500 °C .

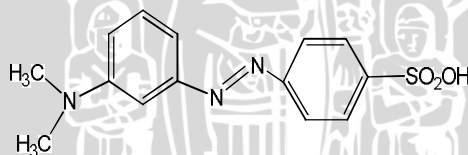
Pengembanan TiO₂ pada zeolit dimungkinkan dapat menyebabkan penurunan luas permukaan spesifik padatan karena agregasi oksida Ti pada permukaan padatan sehingga menutupi pori-pori zeolit alam. Agregasi yang terjadi menyebabkan pembentukan

rongga oksida Ti sendiri ditunjukkan dengan peningkatan rata-rata jari-jari-pori dari $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ [24]. Kemampuan fotokatalitik oksida logam akan meningkat jika ukuran partikel sangat kecil karena semakin kecil ukuran partikel, maka nilai E_g akan semakin besar. Partikel ini hanya dapat dipreparasi di dalam suatu *host material*, misalnya zeolit atau montmorillonit. *Host material* itu dapat membatasi partikel oksida tersebut [6].

Sedangkan dispersi TiO_2 yang dilakukan pada pengembangan berpori (*mesoporous material*) memberikan keuntungan lebih khususnya secara ekonomis. Jika kation tersebut digantikan oleh TiO_2 , dilanjutkan dengan kalsinasi, diharapkan terbentuknya oksida Ti terdispersi pada permukaan padatan secara merata sesuai posisi ion tertukar [24].

2.5 Methyl Orange

Methyl orange merupakan salah satu zat warna azo yang dapat menghasilkan beberapa masalah pencemaran lingkungan dengan melepaskan senyawa yang bersifat toksik dan karsinogenik dalam perairan [38]. *Methyl orange* digolongkan sebagai molekul zat warna karena mengandung gugus kromofor dan auksokrom. Gugus azo $-\text{N}=\text{N}-$ berperan sebagai gugus kromofor sedangkan gugus auksokromnya adalah $-\text{N}(\text{CH}_3)_2$ dan $-\text{SO}_3\text{H}$ [1]. Struktur *methyl orange* dapat dilihat pada Gambar 2.5.1. [39]:

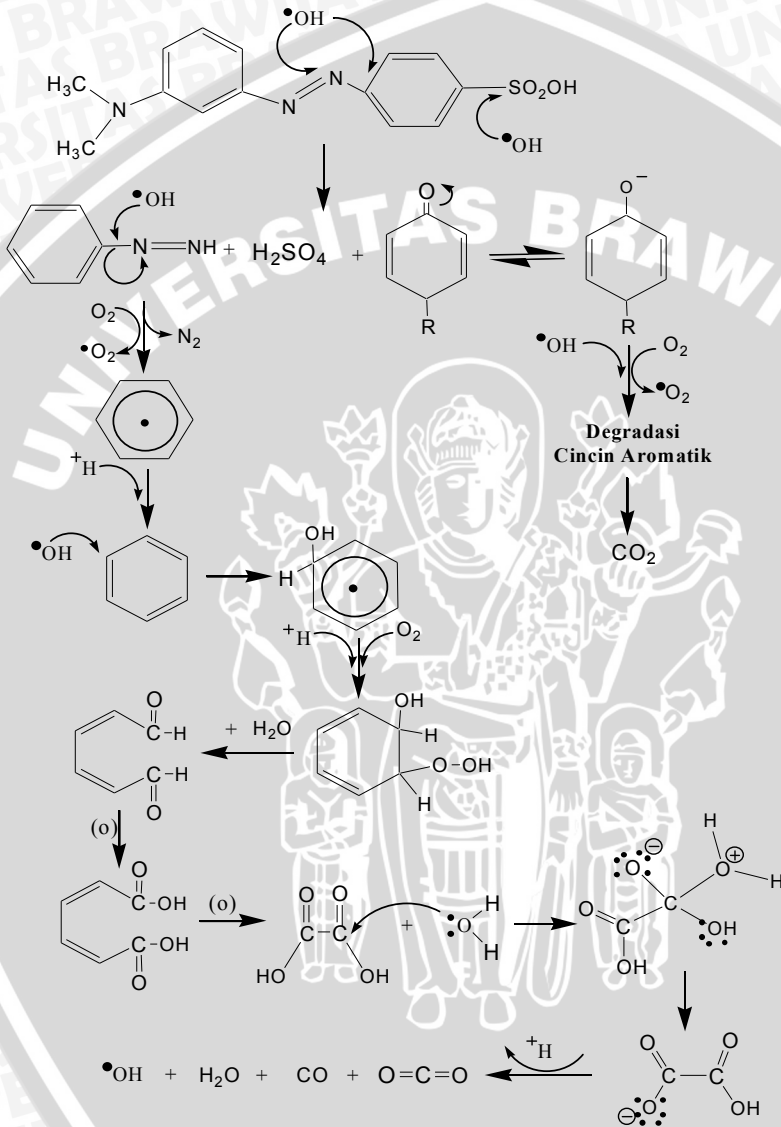


Gambar 2.5.1. *Methyl Orange*

Dalam bidang industri, *methyl orange* digunakan sebagai zat pewarna tekstil, sedangkan dalam laboratorium biasanya digunakan sebagai indikator pada titrasi basa lemah dengan asam kuat, dimana trayek pH *methyl orange* berada diantara pH 3,1 (berwarna merah) sampai dengan pH 4,4 (berwarna orange-kuning) [7].

Mekanisme degradasi zat warna *methyl orange* terdiri dari reaksi pembentukan benzena dan reaksi degradasi gugus

benzena. Tahapan reaksi degradasi zat warna dapat ditunjukkan oleh Gambar 2.5.2 [3].



Gambar 2.5.2. Tahapan Reaksi Degradasi Senyawa Azo Methyl Orange

Radikal hidroksil sebagai radikal utama yang melakukan inisiasi degradasi pada gugus utama senyawa azo dengan menghasilkan radikal fenil dan fenoksi. Selanjutnya, dengan adanya oksigen terlarut akan terjadi abstraksi ion hidrogen dan radikalnya, pada radikal fenil. Pada tahap berikutnya, akan keluar gas hidrogen yang diikuti dengan proses reduksi pada radikal cincin benzena menjadi senyawa aromatik sederhana. Di sisi lain, gugus radikal fenoksi akan teroksidasi oleh radikal hidroksil menjadi gugus benzena[3].

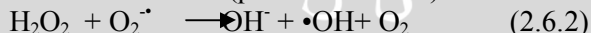
Cincin aromatis benzena akan terdegradasi menjadi radikal hidroksisikloheksadienil. Radikal ini akan bereaksi dengan oksigen terlarut menghasilkan hidroksi hidroperoksida yang tidak stabil. Reaksi berikutnya adalah terjadinya penghilangan satu molekul air dan pembentukan cincin aromatis dari hidroksi hidroperoksida menjadi mukodialdehid. Mukodialdehid kemudian teroksidasi menjadi asam mukanot. Pada proses oksidasi selanjutnya akan terbentuk glioksial yang kemudian teroksidasi menjadi asam karboksilat [3].

2.6 Pengaruh Penambahan H₂O₂

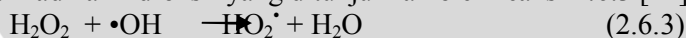
Sejak diketahui bahwa radikal hidroksil memegang peranan penting dalam proses degradasi fotokatalitik, akseptor elektron seperti H₂O₂ ditambahkan ke dalam larutan zat warna untuk meningkatkan laju degradasi. Penambahan H₂O₂ dapat meningkatkan laju degradasi senyawa karena efektif dalam menghasilkan radikal hidroksil dan menghambat rekombinasi *hole* elektron [35]. Reaksi pembentukan radikal hidroksil ditunjukkan oleh persamaan reaksi 2.6.1 [40]:



Dalam proses degradasi H₂O₂ mempunyai dua fungsi, yaitu mengikat elektron sehingga terjadi pemisahan muatan dan membentuk radikal $\cdot\text{OH}$ (persamaan 2.6.2).



Ketika konsentrasi H₂O₂ tinggi, sisa H₂O₂ akan bereaksi dengan radikal hidroksil yang ditunjukkan oleh reaksi 2.6.3 [42]:



Hasil penelitian Kulkarni dan Takur [42], membuktikan dengan penambahan H₂O₂ pada degradasi *Navy Blue* dalam sistem fotokatalis TiO₂/UV persen degradasi optimum dicapai dengan lama

penyinaran selama 1 jam. Waktu minimum untuk mendegradasi *Navy Bluet* pada adanya TiO_2 dan H_2O_2 adalah antara 3-5 jam.

Dalam sistem fotokatalisis $\text{TiO}_2/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ [35], penambahan H_2O_2 pada konsentrasi $3 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ dalam larutan zat warna 3 mg.L^{-1} dengan TiO_2 sebanyak 0,1 g.L^{-1} mampu meningkatkan laju degradasi *C.I. Reactive Black 5* dan *C.I. Reactive Red 239* hingga mencapai 96% dalam waktu 60 menit. Pada konsentrasi H_2O_2 yang lebih tinggi laju degradasinya menurun.

2.7 Kinetika Reaksi Degradasi Zat Warna

Laju reaksi fotodegradasi bergantung pada konsentrasi zat warna. Barka, dkk [43] menyebutkan bahwa pada konsentrasi *indigo carmine* yang berbeda maka nilai konstanta laju reaksi degradasi *indigo carmine* pun berbeda. Laju reaksi degradasi fotokatalitik senyawa organik mengikuti kinetika reaksi orde 1 semu [43,44], seperti yang ditunjukkan oleh persamaan 2.7.1 [43].

$$-\frac{dC}{dt} = k_{ap} C \quad 2.7.1$$

dimana k_{ap} merupakan konstanta laju reaksi yang dipengaruhi oleh konsentrasi zat warna. Integrasi dari Persamaan 2.7.1 dimana $C=C_0$ pada $t=0$ menghasilkan Persamaan 2.7.2.

$$\ln \left(\frac{C_0}{C} \right) = k_{ap} t \quad 2.7.2$$

Kurva yang linear antara $\ln (C_0/C_t)$ dengan waktu penyinaran zat warna dimana C_0 menyatakan konsentrasi awal polutan dan C_t adalah konsentrasi polutan setelah reaksi selama t , menunjukkan bahwa reaksi degradasi mengikuti kinetika orde reaksi 1 semu [44].

Penelitian Madhu [39] menunjukkan bahwa harga k yaitu 0,053 menit^{-1} dan 0,0423 menit^{-1} pada konsentrasi zat warna awal 12 mg/L dan 20 mg/L dengan penambahan H_2O_2 2 mL/L . Semakin besar konsentrasi zat warna maka laju reaksinya semakin menurun, yang disebabkan oleh adanya efek penghamburan cahaya sehingga mengurangi masuknya cahaya ke antarmuka substrat katalis.

Penelitian lain yang telah dilakukan Dhamayanti, dkk [7] menunjukkan bahwa reaksi degradasi *methyl orange* dengan katalis

Fe₂O₃-montmorillonit mengikuti orde 1, dengan harga $\ln [C_t/C_0]$ sebagai fungsi waktu penyinaran. Konstanta laju reaksi yang diperoleh dari slope sebesar 0,6158 detik⁻¹ dengan koefisien korelasi (r) = 0,93122.

2.8 Spektrofotometri UV-Vis

Spektrofotometri UV-Vis merupakan suatu metode untuk mengidentifikasi komponen berdasarkan transisi sinar ketika melewati komponen tersebut dalam panjang gelombang tertentu [45]. Penyerapan sinar UV-Vis dibatasi padagugus kromofor yaitu gugus dengan ikatan tak jenuh yang mengandung elektron valensi dengan tingkat eksitasi yang rendah. Kromofor-kromofor organik seperti karbonil, azo, nitrat dan karboksil mampu menyerap sinar ultraviolet dan sinar tampak. Serapan sinar dalam daerah spektrum UV-Vis bergantung pada transisi elektronik antara tingkat energi tertentu. Adanya elektron valensi yang dapat dieksitasi dari orbital ikatan atau orbital anti ikatan, yaitu $\pi \rightarrow \pi^*$ dan $n \rightarrow \pi^*$ mengakibatkan timbulnya serapan oleh senyawa-senyawa organik [46].

Berdasarkan hukum Lambert dapat diketahui bahwa absorbansi (A) adalah anti logaritma dari transmitansi (T) yang ditunjukkan oleh persamaan 2.8.1 [47]:

$$A = -\log T = \log 1/T = \log I_0/I_t \quad (2.8.1)$$

Penggabungan antara hukum Beer dan hukum Lambert menyatakan hubungan antara intensitas sinar yang diteruskan dengan konsentrasi suatu zat yang diamati dalam larutan seperti pada persamaan 2.8.2 [47]:

$$A = -\log T = \log 1/T = \epsilon b c \quad (2.8.2)$$

Dimana, ϵ : absorptivitas molar (L.mol⁻¹.cm⁻¹)

b : tebal kuvet (cm)

c : konsentrasi (mol.L⁻¹)

Berdasarkan penelitian Guettaï dan Amar [41] panjang gelombang maksimum *methyl orange* yang diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis berada pada 458 nm. Spektrum yang dihasilkan menunjukkan adanya serapan lemah pada 270 nm dan serapan tajam pada 458 nm.

2.9 Fluoresensi Sinar X (XRF)

Fluoresensi Sinar X (XRF) merupakan suatu teknik analisis yang digunakan untuk mengetahui kandungan unsur-unsur dalam suatu bahan. Teknik ini dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi unsur berdasarkan pada panjang gelombang dan jumlah sinar X yang dipancarkan kembali setelah suatu material ditembak sinar X berenergi tinggi. Prinsip kerjanya yaitu dengan menembakkan radiasi foton elektromagnetik ke bahan yang akan diuji. Radiasi elektromagnetik yang dipancarkan akan berinteraksi dengan elektron yang berada di kulit K suatu unsur. Elektron pada kulit K akan memiliki energi kinetik yang cukup untuk melepaskan diri dari ikatan inti, sehingga elektron tersebut akan terpental keluar. Dasar kuantitatif penggunaan metode XRF adalah pengukuran intensitas fluoresensi sinar X, dimana intensitas fluoresensi sebanding dengan konsentrasi suatu unsur dalam sampel [48].

Mekanisme fluoresensi sinar X adalah ketika sinar X primer dari suatu sumber radioaktif atau berupa tabung sinar X mengenai sampel, maka sinar X tersebut akan diserap oleh atom, menyebabkan lepasnya elektron dari kulit dalam sambil melepaskan emisi yang disebut sinar X sekunder. Jumlah elektron yang mengisi lubang akan terdeteksi dan dinyatakan dengan luas puncak [49].

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dan perancangan alat dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang selama tiga bulan mulai Maret sampai Mei 2012.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat-Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah peralatan gelas, penggerus porselin, ayakan 120, 150, dan 200 mesh, oven, tanur, pengaduk magnet, kertas saring, timbangan analitik, dan peralatan instrumentasi meliputi Spektrofotometer UV-Vis Shimadzu 1601, Lampu UV Merk Sankyo 10 watt λ 352 nm, dan Fluoresensi Sinar-X (XRF) PANalytical Minipal 4.

3.2.2 Bahan-Bahan Penelitian

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah zeolit alam Turen Malang, sedangkan bahan kimia yang digunakan yaitu TiO_2 (p.a), HCl pekat (37%, bj = 1,19 g/mL), *methyl orange* (p.a), AgNO_3 (p.a), etanol 99%, H_2O_2 (30 %, bj = 1,11 g/mL), NaOH (p.a) dan akuades.

3.3 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap meliputi:

1. Preparasi zeolit alam dengan aktivasi asam
2. Pengembangan TiO_2 pada zeolit hasil preparasi
3. Uji fotokatalitik
 - a. Penentuan panjang gelombang maksimum *methyl orange*
 - b. Pembuatan kurva bakum *methyl orange*
 - c. Efektifitas H_2O_2 dalam degradasi *methyl orange* dengan fotokatalis TiO_2 -zeolit
 - d. Pengaruh konsentrasi H_2O_2 dan lama penyinaran terhadap degradasi *methyl orange* menggunakan fotokatalis TiO_2 -zeolit
 - e. Pengaruh konsentrasi *methyl orange* awal terhadap konstanta laju reaksi degradasi *methyl orange*

- f. Efektifitas pemakaian ulang fotokatalis TiO_2 -zeolit dalam degradasi *methyl orange*
4. Karakterisasi TiO_2 -zeolit dengan menggunakan Fluoresensi Sinar X (XRF)
5. Analisis Data

3.4 Prosedur Kerja Penelitian

3.4.1 Preparasi Zeolit Alam dengan Aktivasi Asam

Bongkahan zeolit digerus dengan mortar porselin dan diayak dengan ayakan ukuran 120 mesh, padatan yang lolos diayak kembali dengan ayakan ukuran 150 mesh. Padatan zeolit yang tertahan pada ayakan 150 mesh inilah yang digunakan untuk penelitian selanjutnya. Zeolit dengan ukuran 120–150 mesh dicuci dengan akuades dan dikeringkan dalam oven pada temperatur 110°C selama 2 jam. Selanjutnya zeolit didinginkan dalam desikator dan ditimbang hingga didapatkan massa konstan. Zeolit hasil preparasi ditimbang sebanyak 45 g, direndam dengan 562,5 mL HCl 0,4 M dalam erlenmeyer 1000 mL dan ditutup menggunakan alumunium foil, kemudian dikocok dengan kecepatan 100 rpm selama 4 jam. Sampel hasil perendaman dicuci dengan akuades hingga bebas Cl^- . Hal ini dapat diketahui dengan tidak timbulnya endapan putih ketika filtrat hasil pencucian ditetesi dengan AgNO_3 0,1 M. Sampel dikeringkan dalam oven dengan temperatur 110°C selama 2 jam hingga diperoleh massa konstan.

3.4.2 Pengembangan TiO_2 pada Zeolit Hasil Preparasi

Fotokatalis TiO_2 -Zeolit dibuat dengan cara mencampurkan 6 g zeolit yang telah diaktivasi dengan 7,2 g TiO_2 (15 mmol TiO_2/g zeolit) ditambah dengan 6 mL etanol 99% sambil diaduk dengan pengaduk magnet selama ± 5 jam. TiO_2 -zeolit yang terbentuk dikeringkan dalam oven pada temperatur 120°C selama 5 jam, setelah kering TiO_2 -zeolit digerus sampai halus dan diayak menggunakan ayakan 200 mesh kemudian dikalsinasi pada temperatur $400\text{--}500^\circ\text{C}$ selama 5 jam.

3.4.3 Uji Fotokatalitik

3.4.3.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum *Methyl Orange*

Larutan *methyl orange* 4 mg/L pada pH 6 dipipet 10 mL dan dimasukkan dalam kuvet. Kemudian, larutan diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 400 – 500 nm.

3.4.3.2 Pembuatan Kurva Baku *Methyl Orange*

Larutan *methyl orange* dibuat dalam konsentrasi 1, 2, 3, 4, 5, 6, dan 7 mg/L pada pH 6 dengan melakukan pengenceran dari larutan *methyl orange* induk (lampiran B.2). Pembuatan larutan pH 6 tersaji pada lampiran B.8. Masing-masing larutan *methyl orange* tersebut diukur absorbansinya pada panjang gelombang 460 nm. Selanjutnya dibuat kurva baku hubungan antara konsentrasi *methyl orange* sebagai sumbu x dan absorbansi sebagai sumbu y.

3.4.3.3 Efektifitas H₂O₂ dalam Degradasi *Methyl Orange* dengan Fotokatalis TiO₂-Zeolit

Sebanyak 25 mL *methyl orange* 10 mg/L pH 2 disiapkan dalam 5 gelas kimia, ditambahkan 50 mg fotokatalis TiO₂-zeolit pada gelas 2, 4, dan 5, dan 1 mL H₂O₂ 4% pada gelas 3, 4, dan 5. Keempat gelas pertama disinari dalam reaktor UV selama 40 menit. Gelas kelima diletakkan dalam keadaan tertutup dan tanpa cahaya selama 40 menit. Larutan *methyl orange* 10 mg/L pH 6 disiapkan sebanyak 25 mL dalam gelas kimia, ditambahkan 50 mg fotokatalis TiO₂-zeolit dan 1 mL H₂O₂ 4%. Kemudian dimasukkan ke dalam reaktor UV dan disinari secara bersamaan dengan kelima gelas lainnya. Larutan *methyl orange* hasil degradasi dipisahkan dari fotokatalis dengan dekantasi. Filtrat hasil degradasi diukur pHnya dan dipipet sebanyak 5 mL kemudian pH filtrat diatur hingga sesuai dengan pH standar, yaitu pH 6. Larutan dimasukkan ke dalam labu takar 10 mL dan diencerkan dengan akuades pH 6 hingga tanda batas. Selanjutnya diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 460 nm. Persen degradasi *methyl orange* ditentukan dengan menggunakan Persamaan 3.4.5.1. Perlakuan diulang sebanyak 2 kali. Semua perlakuan dilakukan pada temperatur ruangan.

3.4.3.4 Pengaruh Konsentrasi H₂O₂ terhadap Degradasi *Methyl Orange* Menggunakan Fotokatalis TiO₂-Zeolit

Sebanyak 25 mL *methyl orange* 10 mg/L pH 2 disiapkan dalam 4 gelas kimia, masing-masing ditambahkan 50 mg fotokatalis TiO₂-zeolit dan 5 mL H₂O₂ dengan konsentrasi 4, 8, 12, dan 16 %. Kemudian disinari dalam reaktor UV selama 40 menit. Larutan *methyl orange* hasil degradasi dipisahkan dari fotokatalis dengan dekantasi. Filtrat hasil degradasi diukur pHnya dan dipipet sebanyak 5 mL kemudian pH filtrat diatur hingga sesuai dengan pH standar, yaitu pH 6. Larutan dimasukkan ke dalam labu takar 10 mL dan diencerkan dengan akuades pH 6 hingga tanda batas. Selanjutnya diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 460 nm. Persen degradasi *methyl orange* ditentukan dengan menggunakan Persamaan 3.4.5.1. Perlakuan diulang sebanyak 2 kali. Semua perlakuan dilakukan pada temperatur ruangan.

3.4.3.5 Pengaruh Lama Penyinaran terhadap Degradasi *Methyl Orange* Menggunakan Fotokatalis TiO₂-Zeolit

Sebanyak 25 mL *methyl orange* 10, 20 dan 30 mg/L pH 2 masing-masing disiapkan dalam 5 gelas kimia, ditambahkan 50 mg fotokatalis TiO₂-zeolit dan 5 mL H₂O₂ 8 %. Kemudian disinari dalam reaktor UV selama 20, 30, 40, 50, dan 60 menit. Setelah 20 menit degradasi gelas pertama diambil dari reaktor UV, larutan *methyl orange* hasil degradasi dipisahkan dari fotokatalis dengan dekantasi. Filtrat hasil degradasi diukur pHnya dan dipipet sebanyak 5 mL kemudian pH filtrat diatur hingga sesuai dengan pH standar, yaitu pH 6. Larutan dimasukkan ke dalam labu takar 10 mL dan diencerkan dengan akuades pH 6 hingga tanda batas. Selanjutnya diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 460 nm. Persen degradasi *methyl orange* ditentukan dengan menggunakan Persamaan 3.4.5.1. Perlakuan ini dilakukan pula setelah degradasi mencapai waktu 30, 40, 50 dan 60 menit. Pengenceran filtrat hasil degradasi *methyl orange* 20 dan 30 mg/L dilakukan dalam labu takar 25 mL. Konstanta laju reaksi degradasi dihitung melalui Persamaan 3.4.5.2. Semua perlakuan dilakukan pada temperatur ruangan.

3.4.3.6 Pengaruh Konsentrasi *Methyl Orange* Awal terhadap Konstanta Laju Reaksi Degradasi *Methyl Orange*

Berdasarkan data yang diperoleh pada prosedur 3.4.3.5 yaitu konsentrasi *methyl orange* awal dan konsentrasi *methyl orange* pada t menit, dibuat suatu kurva hubungan antara waktu sebagai sumbu x dan $\ln(C_0/C_t)$ sebagai sumbu y . Nilai konstanta laju reaksi degradasi dihitung berdasarkan persamaan 3.4.5.2. yang dapat dilihat pada grafik yang diperoleh dimana konstanta laju reaksi merupakan slope yang terbentuk.

3.4.3.7 Efektifitas Pemakaian Ulang Fotokatalis TiO_2 -Zeolit dalam Degradasi *Methyl Orange*

Sebanyak 25 mL *methyl orange* 10 mg/L pH 2 disiapkan dalam 6 gelas kimia, masing-masing ditambah 50 mg fotokatalis TiO_2 -zeolit dan 5 mL H_2O_2 8%. Kemudian disinari dalam reaktor UV selama 60 menit. Larutan *methyl orange* hasil degradasi dipisahkan dari fotokatalis dengan dekantasi. Filtrat hasil degradasi diukur pHnya dan dipipet sebanyak 5 mL kemudian pH filtrat diatur hingga sesuai dengan pH standar, yaitu pH 6. Larutan dimasukkan ke dalam labu takar 10 mL dan diencerkan dengan akuades pH 6 hingga tanda batas. Selanjutnya diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 460 nm. Persen degradasi *methyl orange* ditentukan dengan menggunakan Persamaan 3.4.5.1.

Fotokatalis yang telah digunakan dikumpulkan dalam erlenmeyer, ditambah akuades secukupnya dan dikocok selama 5 jam. Kemudian disaring dan dikeringkan dalam oven 110°C selama 2 jam. Fotokatalis TiO_2 -zeolit kering ditimbang hingga diperoleh massa konstan. Fotokatalis TiO_2 -zeolit digunakan kembali dalam degradasi *methyl orange* 10 mg/L pH 2 dengan perbandingan antara *methyl orange* : TiO_2 -zeolit : H_2O_2 8% yaitu 5 : 10 : 1. Perlakuan tersebut dilakukan berturut-turut hingga 4 kali.

3.4.4 Karakterisasi TiO_2 -Zeolit dengan Menggunakan Fluoresensi Sinar X (XRF)

Fotokatalis TiO_2 -zeolit sebanyak 4 gram dimasukkan ke dalam *holder*, kemudian disinari dengan sinar X. Emisi sinar X yang dihasilkan ditangkap oleh detektor kemudian dihasilkan spektrum XRF berupa puncak-puncak yang menggambarkan kandungan logam

dan logam oksida dalam fotokatalis TiO₂-zeolit. Spektrum XRF fotokatalis TiO₂-zeolit yang diperoleh dibandingkan dengan spektrum XRF zeolit alam teraktivasi.

3.4.5 Analisis Data

3.4.5.1 Penentuan Persen *Methyl Orange* Terdegradasi

Jumlah *methyl orange* yang terdegradasi dapat dihitung dengan Persamaan 3.4.5.1.

$$\% \text{ degradasi} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \quad (3.4.5.1)$$

Keterangan:

C₀ = konsentrasi *methyl orange* sebelum penyinaran

C_t = konsentrasi *methyl orange* setelah penyinaran

3.4.5.2 Penentuan Konstanta Laju Reaksi Fotodegradasi

Konstanta laju reaksi fotodegradasi dapat ditentukan dengan Persamaan 3.4.5.2.

$$\ln \left(\frac{C_0}{C_t} \right) = kt \quad (3.4.5.2)$$

Keterangan:

C₀ = konsentrasi *methyl orange* sebelum penyinaran

C_t = konsentrasi *methyl orange* setelah penyinaran

3.4.5.3 Uji F

Sumber Keragaman (SK)	Jumlah Kuadrat (JK)	derajat bebas (db)	Kuadrat Tengah (KT)	f hitung	f tabel
Rata-rata perlakuan	$JKP = \sum_{i=1}^k \frac{T_{*i}^2}{n_i} - \frac{T_{**}^2}{N}$	k-1	$\frac{JKP}{k-1}$	$\frac{KTP}{KTG}$	$\alpha =$ db _{perlakuan} = db _{galat} =
Galat	$JKG = JKT - JKP$	N-k	$\frac{JKG}{N-k}$		
Total	$JKT = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 - \frac{T_{**}^2}{N}$	N-1			

Keterangan :

- k : Banyaknya perlakuan
- N : Banyaknya pengamatan
- n_i : Banyaknya ulangan di kolom ke-i
- x_{ij} : Data pada kolom ke-i ulangan ke-j
- T*_i : Total (jumlah) ulangan pada kolom ke-i
- T** : Total (jumlah) seluruh pengamatan

3.4.5.4 Uji Beda Nyata Terkecil (BNT)

$$BNT = t_{\left(\frac{\alpha}{2}, db_{galat}\right)} \sqrt{\frac{2 KTG}{r}}$$

Keterangan:

- α = taraf kesalahan
- KTG = Kuadrat tengah galat
- r = banyaknya ulangan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sintesis TiO₂-Zeolit

Dalam penelitian ini, sebelum dilakukan impregnasi TiO₂ ke dalam zeolit, zeolit yang berukuran 120-150 mesh dicuci dengan akuades terlebih dahulu untuk melarutkan pengotor-pengotor yang ada pada permukaan zeolit. Selanjutnya, zeolit dikeringkan dalam oven 110°C selama 2 jam untuk menguapkan air dalam zeolit. Zeolit diaktivasi dengan menggunakan larutan asam, yaitu HCl 0,4 M untuk menggantikan kation-kation yang ada pada zeolit dengan ion H⁺. Menurut Sinaga [26], proses aktivasi zeolit dapat memurnikan zeolit dari pengotor dan memperbesar volume pori sehingga kapasitas adsorpsi zeolit lebih besar. Adapun penggunaan HCl 0,4 M dalam proses aktivasi ini merujuk pada penelitian yang telah dilakukan Nirwana [29] dimana zeolit memberikan daya adsorpsi optimum pada konsentrasi tersebut.

Proses aktivasi asam dapat meningkatkan kristalinitas, keasaman, luas permukaan [50,51], volume total pori dan menurunkan rerata jari-jari pori [51]. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Rosdiana [51], proses aktivasi dengan asam mampu meningkatkan luas permukaan zeolit dari 10,96 m²/g menjadi 32,56 m²/g.

Fotokatalis TiO₂-zeolit dibuat melalui teknik dispersi mekanik TiO₂ ke dalam pori-pori dan permukaan zeolit alam, kemudian dikalsinasi pada temperatur tinggi, yaitu 500°C. Kalsinasi dilakukan untuk mendispersikan TiO₂ secara merata pada zeolit sehingga terjadi pergeseran ukuran pori zeolit dari mesopori menjadi mikropori [13]. Dalam penelitian ini, sebanyak 6 gram zeolit teraktivasi dicampurkan dengan 7,2 gram TiO₂ dan 6 mL etanol 99%, diaduk dengan pengaduk magnet selama 5 jam kemudian disaring dan dikeringkan dalam oven 120°C. Massa TiO₂-zeolit yang diperoleh setelah kalsinasi adalah 11,3 gram.

Hasil identifikasi kandungan logam dan logam oksida dalam zeolit teraktivasi yang disajikan dalam Lampiran E.1 dan E.2 menunjukkan bahwa kandungan logam Ti dalam zeolit teraktivasi adalah 1,2% dan kandungan TiO₂ sebesar 0,76%. Setelah proses impregnasi, kandungan Ti dan TiO₂ dalam zeolit mengalami

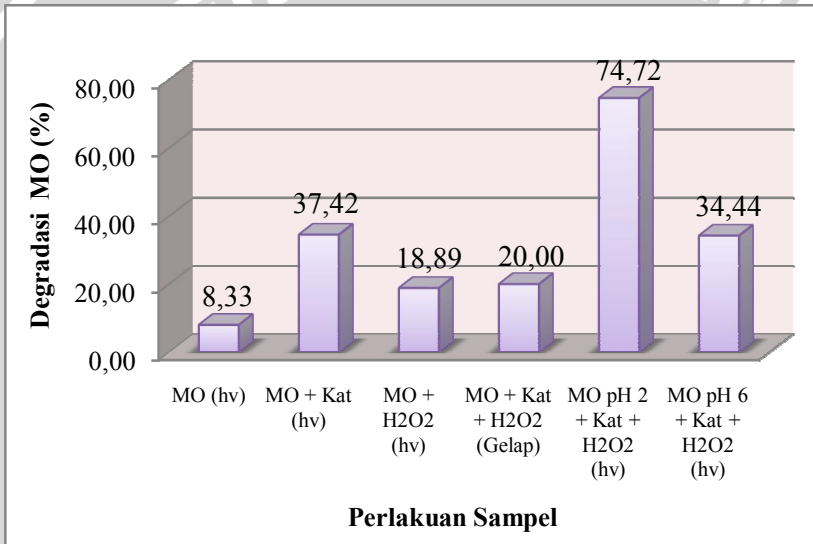
peningkatan menjadi 86,12% dan 82,04% (Lampiran E.3 dan E.4). Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa proses impregnasi yang dilakukan telah berhasil, TiO₂ telah masuk ke dalam pori-pori dan permukaan zeolit. Banyaknya TiO₂ yang terdispersi pada permukaan zeolit berpengaruh terhadap proses degradasi *methyl orange*. Semakin banyak TiO₂ yang terdispersi dalam permukaan zeolit maka semakin banyak radikal •OH yang terbentuk pada permukaan fotokatalis. Perbandingan kandungan logam oksida dalam zeolit alam teraktivasi dan fotokatalis TiO₂-zeolit dapat dilihat pada Tabel 4.1.1.

Tabel 4.1.1 Tabel Perbandingan Kandungan Senyawa Oksida Logam pada Zeolit Alam Teraktivasi dan Fotokatalis TiO₂-zeolit

No	Senyawa	Zeolit Alam Teraktivasi	Fotokatalis TiO ₂ -Zeolit
1	Al ₂ O ₃	10 %	-
2	SiO ₂	76,8 %	13,4 %
3	K ₂ O	5,12 %	0,978 %
4	CaO	5,53 %	1,58 %
5	TiO ₂	0,76 %	82,04 %
6	V ₂ O ₅	0,007 %	-
7	MnO	0,083 %	-
8	Fe ₂ O ₃	4,26 %	1,23 %
9	CuO	0,050 %	-
10	ZnO	0,004 %	0,097 %
11	SrO	0,25 %	-
12	BaO	0,12 %	-
13	Re ₂ O ₇	0,10 %	0,08 %
14	NiO	0,02 %	-
15	Yb ₂ O ₃	0,02 %	-
16	P ₂ O ₃	-	0,38 %
17	WO ₃	-	0,13 %
18	PtO ₂	-	0,13 %

4.2 Uji Efektifitas H₂O₂ dalam Degradasi *Methyl Orange* dengan Fotokatalis TiO₂-Zeolit

Pada penelitian ini uji efektifitas H₂O₂ dilakukan dengan menentukan persen degradasi *methyl orange*, *methyl orange* dengan fotokatalis TiO₂-zeolit, *methyl orange* dengan H₂O₂, *methyl orange* pH 2 dengan fotokatalis TiO₂-zeolit dan H₂O₂, *methyl orange* pH 6 dengan fotokatalis TiO₂-zeolit dan H₂O₂ di bawah radiasi UV, dan *methyl orange* dengan fotokatalis TiO₂-zeolit dan H₂O₂ dalam keadaan gelap. Konsentrasi *methyl orange* yang digunakan sebesar 10 mg/L dengan lama penyinaran selama 40 menit.



Gambar 4.2.1 Grafik Hubungan Perlakuan Sampel terhadap Degradasi *Methyl Orange*

Berdasarkan Gambar 4.2.1 dapat dilihat bahwa perlakuan terhadap *methyl orange* yang dikenai radiasi UV menghasilkan persen degradasi sebesar 8,33%. Hal ini berkaitan dengan sifat *methyl orange* yang dapat terdegradasi oleh sinar tanpa adanya penambahan fotokatalis maupun H₂O₂. Akan tetapi, energi foton tidak cukup untuk memutus ikatan rangkap senyawa azo, sehingga persen degradasinya rendah. Degradasi *methyl orange* dengan H₂O₂ di bawah radiasi UV menghasilkan persen degradasi lebih tinggi yaitu 18,89% karena H₂O₂ menghasilkan •OH ketika disinari UV

(persamaan 4.1). Radikal hidroksil ini berperan mendegradasi *methyl orange* seperti yang ditunjukkan oleh persamaan 4.2[53].



dengan $(\text{MO})^\bullet$ adalah senyawa hasil degradasi *methyl orange*.

Hasil degradasi *methyl orange* dengan fotokatalis TiO_2 -zeolit di bawah radiasi UV menunjukkan persen *methyl orange* terdegradasi yang lebih besar yaitu 37,42%. Peningkatan ini disebabkan oleh TiO_2 yang menyerap foton menghasilkan *hole* pada pita valensi dan elektron tereksitasi pada pita konduksi (persamaan 4.3). *Hole* bereaksi dengan H_2O membentuk $\cdot\text{OH}$ dan H^+ yang digambarkan dalam persamaan 4.4. Sedangkan e^- pada pita konduksi bereaksi dengan oksigen terlarut membentuk radikal superoksida (persamaan 4.5). Radikal superoksida yang terbentuk dapat bereaksi dengan H_2O membentuk radikal perhidroksil yang digambarkan dalam persamaan 4.6. Radikal hidroksil, superoksida, dan perhidroksil inilah yang mendegradasi *methyl orange*[33,53].



Banyaknya *methyl orange* yang terdegradasi dimungkinkan terjadi akibat aktivitas TiO_2 yang terdispersi dalam zeolit. Hal ini didukung dengan banyaknya kandungan TiO_2 dalam fotokatalis TiO_2 -zeolit yaitu sebesar 82,04 %. Pengembangan TiO_2 ke dalam zeolit meningkatkan luas permukaan TiO_2 [2] sehingga ketika foton sampai ke permukaan fotokatalis terbentuk e^- dan h^+ dalam jumlah yang besar. Hal ini menyebabkan radikal hidroksil, superoksida, maupun perhidroksil yang terbentuk semakin banyak.

Degradasi *methyl orange* dengan fotokatalis TiO_2 -zeolit dan H_2O_2 dalam keadaan gelap menghasilkan penurunan konsentrasi *methyl orange* sebesar 20%. Ini menunjukkan kapasitas adsorpsi dari TiO_2 -zeolit. Dalam kondisi gelap tidak terbentuk $\cdot\text{OH}$ untuk mendegradasi *methyl orange* dari TiO_2 karena tidak adanya foton sebagai sumber energi. Pembentukan $\cdot\text{OH}$ oleh H_2O_2 masih dimungkinkan terjadi karena sifat H_2O_2 yang tidak stabil dan mudah tereduksi, akan tetapi jumlah $\cdot\text{OH}$ yang dihasilkan dalam kondisi

gelap sangat terbatas sehingga tidak cukup efektif untuk mendegradasi *methyl orange*.

Pengaturan pH *methyl orange* berpengaruh terhadap proses degradasi. Hal ini berkaitan dengan *point of zero charge* (pH_{pzc}) TiO_2 yang berkisar pada pH 6,8, sehingga permukaan TiO_2 bermuatan positif pada pH asam yaitu $pH < 6,8$ dan bermuatan negatif dalam kondisi $pH > 6,8$ (Persamaan 4.7 dan 4.8) [52,53].



Degradasi *methyl orange* pada pH 2 menunjukkan persen degradasi *methyl orange* yang lebih besar daripada degradasi *methyl orange* pada pH 6. *Methyl orange* merupakan zat warna anionik yang cenderung berinteraksi dengan permukaan fotokatalis yang bermuatan positif, sehingga degradasi pada pH asam akan menghasilkan persen degradasi *methyl orange* yang lebih besar. Selain itu, adanya tolakan coulomb antara permukaan fotokatalis yang bermuatan negatif dengan ion hidroksida menyebabkan pembentukan radikal hidroksil terhambat dan efisiensi degradasi menurun [53]. Mekanisme reaksi degradasi *methyl orange* ditunjukkan oleh Gambar 2.5.2

Hasil yang sama diperoleh dari penelitian Supriyanto [54] yang melakukan variasi pH *methyl orange* pada pH 2-10 pada degradasi *methyl orange* 25 mg/L dengan menggunakan fotokatalis TiO_2 -zeolit dan lama penyinaran UV 60 menit. Persen degradasi *methyl orange* optimum dihasilkan pada pH 2 yaitu 62,50%. Berdasarkan hasil uji efektifitas penggunaan H_2O_2 dalam degradasi *methyl orange* dengan fotokatalis TiO_2 -zeolit diketahui bahwa persen degradasi optimum dihasilkan dari penggunaan H_2O_2 dan fotokatalis TiO_2 -zeolit pada degradasi *methyl orange* pH 2 di bawah radiasi UV.

Terjadinya degradasi pada *methyl orange* dapat ditunjukkan dengan spektrum UV dari *methyl orange* sebelum dan setelah degradasi. Spektrum yang dihasilkan menunjukkan penurunan absorbansi pada panjang gelombang 460 nm dan peningkatan absorbansi pada panjang gelombang 280 nm (Lampiran F). Perbedaan absorbansi dan panjang gelombang dapat dilihat pada Tabel 4.2.1.

Tabel 4.2.1 Hasil Analisis *Methyl Orange* Sebelum dan Setelah Degradasi Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis

Parameter	Sebelum Degradasi		Setelah Degradasi	
λ (nm)	460	284	460	272
A	0,347	0,149	0,070	0,959

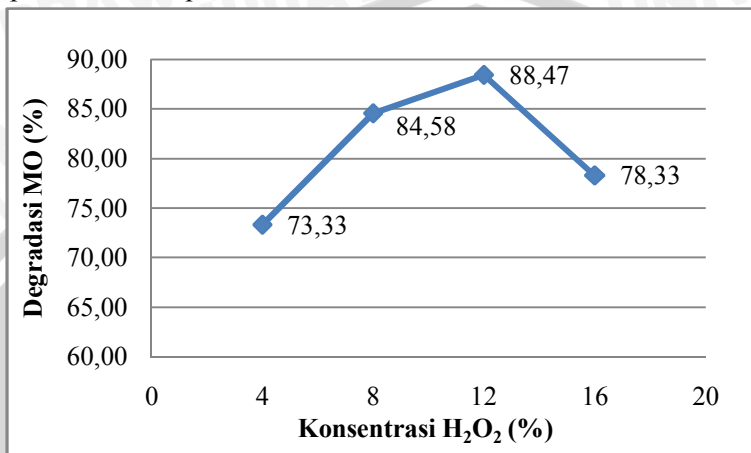
Penurunan absorbansi pada panjang gelombang 460 nm menunjukkan banyaknya *methyl orange* yang terdegradasi, sedangkan absorbansi yang meningkat pada panjang gelombang sekitar 280 nm menunjukkan banyaknya intermediet yang terbentuk. Serapan pada panjang gelombang 272 nm diperkirakan merupakan serapan dari intermediet berupa fenol. Guettai dan Amar [41] menyebutkan bahwa pada tahap pertama degradasi, dua cincin aromatis *methyl orange* terdegradasi menjadi molekul aromatis monosubstitusi. Mekanisme reaksi degradasi *methyl orange* yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.2 menunjukkan bahwa senyawa aromatis monosubstitusi yang dihasilkan oleh reaksi degradasi adalah fenol. Penelitian yang dilakukan oleh Fatimah [55] mengenai analisis fenol dalam air menunjukkan bahwa fenol memberikan serapan di daerah UV pada panjang gelombang 220 dan 270 nm. Berdasarkan data yang diperoleh, diperkirakan degradasi *methyl orange* yang dilakukan selama 60 menit belum mampu mendegradasi *methyl orange* dengan sempurna menjadi CO_2 dan H_2O .

Serapan *methyl orange* pada daerah tampak ada pada 270 dan 458 nm. Seiring dengan waktu radiasi, terjadi pergeseran spektrum dan perubahan absorbansi yang menunjukkan adanya serapan dari intermediet yang terbentuk selama reaksi. Serapan pada kedua panjang gelombang hilang setelah reaksi selama 5 jam yang menunjukkan bahwa degradasi fotokatalitik tidak hanya merusak sistem konjugasi ($-\text{N}=\text{N}-$) tetapi juga merusak sebagian atau seluruh intermediet menjadi CO_2 dan H_2O [41].

4.3 Pengaruh Konsentrasi H_2O_2 pada Degradasi *Methyl Orange* dengan Fotokatalis TiO_2 -Zeolit

Pada penelitian ini dilakukan degradasi *methyl orange* dengan menggunakan fotokatalis TiO_2 -zeolit dan variasi konsentrasi H_2O_2 sebesar 4%, 8%, 12% dan 16%. Konsentrasi *methyl orange* yang digunakan sebesar 10 mg/L dengan waktu degradasi selama 40

menit. Konversi konsentrasi H_2O_2 dalam larutan menjadi mol.L^{-1} terdapat dalam Lampiran D.3.



Gambar 4.3.1 Grafik Hubungan Konsentrasi H_2O_2 terhadap Degradasi *Methyl Orange*

Pada Gambar 4.3.1 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan persen degradasi *methyl orange* melalui penambahan H_2O_2 dengan konsentrasi 4 hingga 12%, kemudian nilai persen degradasi mengalami penurunan dengan penambahan H_2O_2 16%. Semakin besar konsentrasi H_2O_2 yang ditambahkan dapat meningkatkan laju degradasi dengan meningkatkan jumlah radikal $\cdot\text{OH}$ yang dihasilkan untuk mendegradasi *methyl orange*. Akan tetapi, ketika konsentrasi H_2O_2 yang ditambahkan berlebih akan menghambat laju degradasi karena H_2O_2 dapat bereaksi dengan radikal $\cdot\text{OH}$ membentuk radikal perhidroksil, $\text{HO}_2\cdot$ dan H_2O [55].

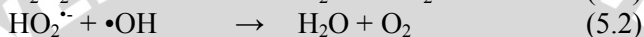
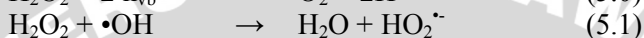
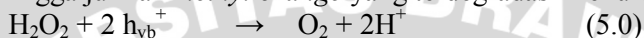
Reaksi ini akan berkompetisi dengan destruksi kromofor zat warna, sehingga laju reaksi degradasi *methyl orange* menurun. Selain itu, radikal $\text{HO}_2\cdot$ reaktivitasnya dengan senyawa organik lebih lemah daripada $\cdot\text{OH}$ dan memiliki kecenderungan untuk terdisproporsionasi menghasilkan H_2O_2 dan oksigen sesuai dengan Persamaan 4.9[53].



Potensial oksidasi radikal $\cdot\text{OH}$ adalah 2,8 V dan umumnya oksidator lain memiliki potensial oksidasi yang lebih rendah, antara

lain atom oksigen (2,42 V), O₃ (2,07 V), H₂O₂ (1,78 V), HO₂[•] (1,70), dan klorin dioksida (1,57 V) [17]. Hal ini yang menyebabkan radikal •OH sangat efektif mendegradasi senyawa organik dibandingkan oksidator lain.

Dalam penelitian Abo-Farha [53] disebutkan bahwa penambahan H₂O₂ berlebih akan mengakibatkan H₂O₂ bereaksi dengan •OH dan *hole* dalam pita valensi yang ditunjukkan oleh persamaan 5.0 dan 5.1. Hal ini menyebabkan berkurangnya jumlah •OH sehingga jumlah *methyl orange* yang terdegradasi menurun.



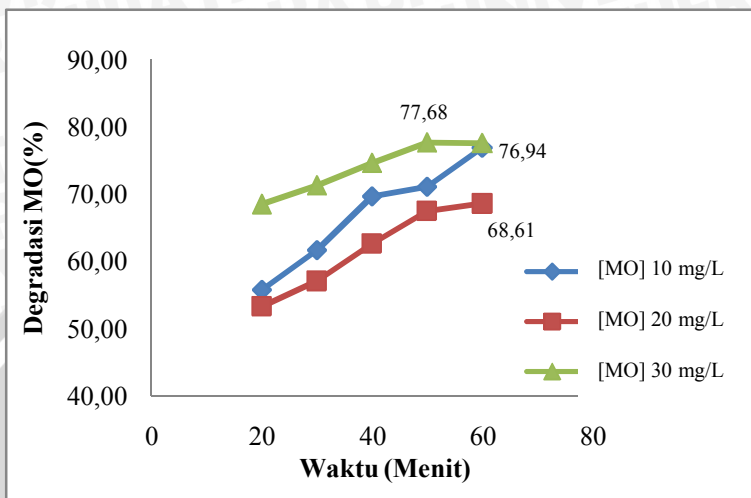
Terbentuknya O₂ dari persamaan 5.0 dan persamaan 5.2 dapat menghasilkan radikal superoksida O₂^{•-} ketika bereaksi dengan e_{cb}⁻ (persamaan 4.5) yang mampu mendegradasi *methyl orange*. Tetapi ketika jumlah O₂ yang dihasilkan berlebih maka aktivitas fotokatalitik menurun karena O₂ yang dihasilkan dapat menutup pori pada permukaan fotokatalis. Selain itu, adanya H₂O₂ berlebih dapat teradsorpsi ke dalam permukaan partikel TiO₂ dan mengubah sifat permukaannya sehingga menurunkan aktivitas katalitiknya [53].

Hasil penelitian Boukhennoufa, dkk[52] menyebutkan bahwa penambahan H₂O₂ hingga konsentrasi tertentu dalam degradasi *Solophenyl Red 3 BL* dengan menggunakan TiO₂ dapat meningkatkan laju degradasi. Adanya H₂O₂ mampu meningkatkan konsentrasi •OH dan mencegah rekombinasi antara e_{cb}⁻ dan h_{vb}⁺. Setelah mencapai konsentrasi tersebut, laju degradasi menurun.

Hasil uji F pada Lampiran D.1.1 menunjukkan bahwa konsentrasi H₂O₂ berpengaruh terhadap persen degradasi *methyl orange*. Konsentrasi H₂O₂ optimum untuk mendegradasi *methyl orange* 10 mg/L adalah 8% berdasarkan uji BNT dengan taraf kesalahan 1 % yang disajikan dalam Lampiran D.1.2.

4.4 Pengaruh Lama Penyinaran terhadap Degradasi *Methyl Orange* dengan Fotokatalis TiO₂-Zeolit

Pada penelitian ini dilakukan degradasi *methyl orange* 10, 20, dan 30 mg/L dengan menggunakan fotokatalis TiO₂-zeolit dan H₂O₂ 8% dengan lama penyinaran selama 20, 30, 40, 50 dan 60 menit.



Gambar 4.4.1. Grafik Hubungan Lama Penyinaran terhadap Degradasi *Methyl Orange*

Gambar 4.4.1 menunjukkan bahwa persen degradasi *methyl orange* semakin meningkat seiring dengan semakin lama waktu penyinaran. Semakin lama penyinaran interaksi antara foton dengan H_2O_2 dan fotokatalis TiO_2 -zeolit semakin besar sehingga radikal $\bullet OH$ yang dihasilkan pun semakin banyak.

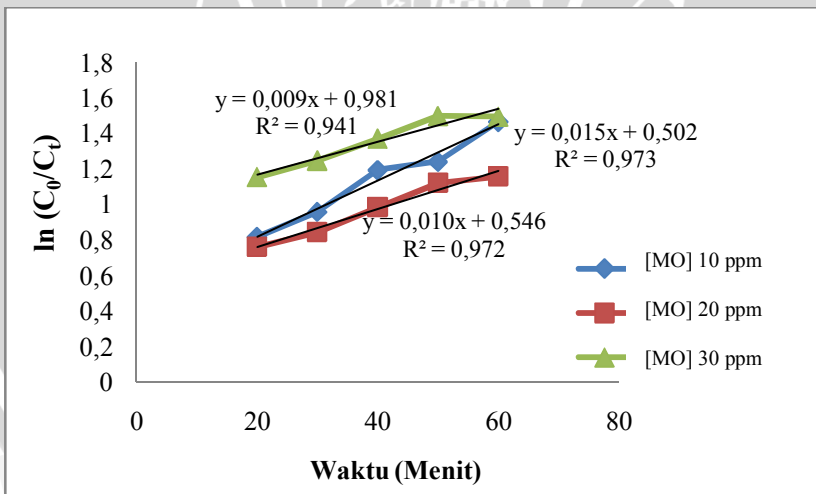
Persen degradasi *methyl orange* untuk konsentrasi *methyl orange* 10 mg/L mengalami peningkatan dari waktu ke waktu hingga mencapai 76,94% dalam waktu 60 menit. Sedangkan pada konsentrasi *methyl orange* yang lebih tinggi persen degradasi optimum terjadi pada menit ke-50. Setelah menit ke-50, persen degradasi *methyl orange* menunjukkan nilai yang konstan. Menurut Faghihian dan Bahraniard [12], pembentukan radikal $\bullet OH$ berlangsung cepat dan tersedia sisi aktif untuk adsorpsi dalam jumlah yang besarpada awal reaksi. Setelah selang waktu tertentu, sisi aktif yang tersisa sulit untuk diisi karena adanya gaya tolakan antara molekul pada permukaan dengan fasa ruah. Sulitnya molekul *methyl orange* berinteraksi dengan permukaan fotokatalis menyebabkan jumlah *methyl orange* yang terdegradasi cenderung konstan setelah lama penyinaran 50 menit.

4.5 Pengaruh Konsentrasi *Methyl Orange* Awal terhadap Konstanta Laju Reaksi Degradasi *Methyl Orange*

Pada penelitian ini degradasi *methyl orange* dilakukan dengan variasi konsentrasi *methyl orange* dan waktu reaksi selama 20, 30, 40, 50 dan 60 menit. Pada Gambar 4.5.1 dapat diketahui bahwa konsentrasi *methyl orange* sebesar 10 mg/L memberikan nilai konstanta laju reaksi yang terbesar, yang ditunjukkan oleh slope yang dihasilkan oleh grafik yaitu 0,015 menit⁻¹ dengan koefisien korelasi R² sebesar 0,973. Perbandingan nilai konstanta laju reaksi degradasi *methyl orange* dalam konsentrasi yang berbeda ditunjukkan oleh Tabel 4.5.1.

Tabel 4.5.1 Tabel Konstanta Laju Reaksi Degradasi *Methyl Orange* dengan Variasi Konsentrasi *Methyl Orange* Awal

No	Konsentrasi MO awal (mg/L)	Konstanta Laju Reaksi (menit ⁻¹)	Koefisien Korelasi (R ²)
1	10	0,015	0,973
2	20	0,010	0,972
3	30	0,009	0,941



Gambar 4.5.1 Grafik Hubungan antara $\ln(C_0/C_t)$ terhadap Waktu dengan Variasi Konsentrasi *Methyl Orange* Awal

Perbedaan konsentrasi *methyl orange* awal akan menghasilkan perbedaan nilai konstanta laju reaksi. Peningkatan konsentrasi *methyl orange* menghasilkan nilai konstanta laju reaksi yang semakin kecil. Hal ini disebabkan oleh semakin pekatnya larutan *methyl orange* sehingga menghalangi sinar UV sampai ke permukaan fotokatalis. Berkurangnya sinar UV yang sampai ke permukaan fotokatalis menyebabkan jumlah radikal $\bullet\text{OH}$ yang dihasilkan semakin sedikit sehingga *methyl orange* yang terdegradasi menurun.

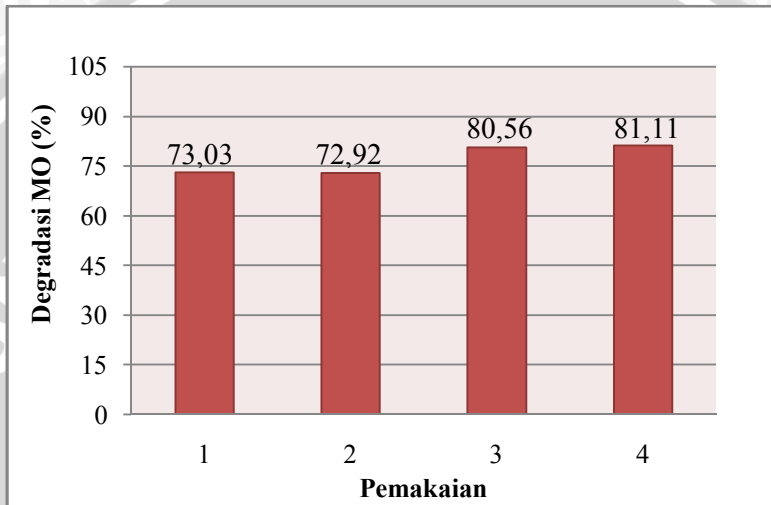
Hasil penelitian serupa diperoleh Ling, dkk[56] yang melakukan fotodegradasi *methylene blue* dengan TiO_2 dalam berbagai variasi konsentrasi *methylene blue* yaitu 10, 20, 40, 80, dan 160 $\mu\text{mol/L}$. Konstanta laju reaksi terbesar dihasilkan pada konsentrasi *methylene blue* terendah. Semakin besar konsentrasi *methylene blue* mengakibatkan foton tidak sampai ke permukaan fotokatalis dan persen degradasi menurun. Menurut Chong, dkk [15], meningkatnya konsentrasi zat warna mengakibatkan pembentukan $\bullet\text{OH}$ pada permukaan katalis menurun seiring dengan berkurangnya sisi aktif karena tertutup oleh ion zat warna.

4.6 Efektifitas Pemakaian Ulang Fotokatalis TiO_2 -Zeolit pada Degradasi *Methyl Orange*

Pada uji efektifitas pemakaian ulang fotokatalis TiO_2 -zeolit degradasi *methyl orange* 10 mg/L dilakukan dengan menggunakan H_2O_2 8% dan TiO_2 -zeolit selama berulang-ulang dengan lama penyinaran 60 menit.

Berdasarkan hasil degradasi *methyl orange* pada pemakaian 1-4 pada Gambar 4.6.1, dapat diketahui bahwa efisiensi pemakaian ulang fotokatalis TiO_2 -zeolit dalam proses degradasi *methyl orange* cukup tinggi. Fotokatalis TiO_2 -zeolit pada pemakaian ke-2 hingga ke-4 mampu mendegradasi *methyl orange* kurang lebih sama dengan fotokatalis TiO_2 -zeolit awal. Pada permukaan fotokatalis TiO_2 -zeolit dapat terjadi agregasi TiO_2 yang menyebabkan meningkatnya rerata jari pori atau berkurangnya volume pori. Hal ini mengakibatkan aktivitas fotokatalitik dari TiO_2 -zeolit menurun. Kandungan TiO_2 dalam fotokatalis TiO_2 -zeolit yang sangat besar, yaitu 82,04 % berdasarkan hasil karakterisasi dengan XRF (lampiran E.4), memungkinkan terbukanya lapisan TiO_2 di bawahnya setelah pemakaian 1. Pembentukan h^+_{vb} dan e^-_{cb} pada permukaan fotokatalis dapat terjadi dalam jumlah yang besar, sehingga aktivitas

fotokatalitik tidak berubah dengan adanya agregat TiO_2 yang terbentuk. Ini menunjukkan bahwa fotokatalis TiO_2 -zeolit mampu digunakan berulang-ulang tanpa mengurangi efektifitasnya dalam mendegradasi *methyl orange*, sehingga penggunaan fotokatalis TiO_2 -zeolit sangat ekonomis.



Gambar 4.6.1 Grafik Hubungan antara Pemakaian Fotokatalis TiO_2 -Zeolit terhadap Degradasi *Methyl Orange*

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Karakterisasi fotokatalis TiO_2 -zeolit dengan menggunakan XRF menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kadar TiO_2 dalam zeolit setelah impregnasi. Kadar TiO_2 zeolit alam teraktivasi adalah 0,76 % dan kadar TiO_2 dalam TiO_2 -zeolit sebesar 82,04%.
2. Konsentrasi H_2O_2 berpengaruh terhadap degradasi *methyl orange*, konsentrasi H_2O_2 optimum pada 8% dengan dengan persen degradasi *methyl orange* 84,58 %. Lama penyinaran berpengaruh terhadap degradasi *methyl orange*, semakin lama waktu reaksi persen degradasi *methyl orange* semakin meningkat. Degradasi *methyl orange* 10 mg/L menghasilkan persen degradasi terbesar pada waktu 60 menit. Sedangkan persen degradasi *methyl orange* 20 dan 30 mg/L cenderung konstan setelah 50 menit.
3. Konsentrasi *methyl orange* awal berpengaruh terhadap konstanta laju reaksi. Konstanta laju reaksi terbesar yaitu 0,015 menit^{-1} diperoleh pada konsentrasi *methyl orange* 10 mg/L.
4. Pemakaian ulang fotokatalis TiO_2 -zeolit dalam degradasi *methyl orange* hingga 4 kali pemakaian cukup efektif dan efisien.

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai faktor yang mempengaruhi efektifitas pemakaian ulang fotokatalis TiO_2 -zeolit untuk mengetahui sebab peningkatan *methyl orange* yang terdegradasi oleh fotokatalis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hardi, M., 2003, **Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil dengan Metode Fotokimia UV-H₂O₂ (Pengolahan Zat Warna dan Senyawa Organik pada Air Limbah Industri Tekstil)**, *Tesis*, Program Studi Ilmu Lingkungan Pascasarjana, UI, Jakarta
- [2] Wijaya, K., E. Sugiharto, I. Fatimah, S. Sudiono, D. Kurniyasih, 2006, **Utilisasi TiO₂-Zeolit dan Sinar UV untuk Fotodegradasi Zat Warna Congo Red**, *TEKNOIN*, Vol. 11, No.3, 199-209, Yogyakarta, September 2006
- [3] Christina, M., S. Mu'nisatun, S. Rany, M. Djoko, 2007, **Studi Pendahuluan Mengenai Degradasi Zat Warna Azo (Metil Orange) dalam Pelarut Air Menggunakan Mesin Berkas Elektron 350 keV/10 mA**, *Jurnal Forum Nuklir*, Vol. 1, No.1
- [4] Anwar, D.I., 2011, **Sintesis Komposit Fe-TiO₂-SiO₂ sebagai Fotokatalis pada Degradasi Erionyl Yellow**, *Tesis*, Program Studi Ilmu Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- [5] Mirkhani, V., S. Tangestaninejad, M. Moghadam, M.H. Habibi, A. Rostami-Vartooni, 2009, **Photocatalytic Degradation of Azo Dye Catalyzed by Ag Doped TiO₂ Photocatalyst**, *J. Iran. Chem. Soc.*, Vol. 6, No. 3, 578-587
- [6] Palupi, E., 2006, **Degradasi Methylene Blue dengan Metode Fotokatalisis dan Fotoelektrokatalisis Menggunakan Film TiO₂**, *Skripsi*, Departemen Fisika FMIPA, IPB, Bogor
- [7] Dhamayanti, Y., K.Wijaya, I.Tahir, 2005, **Fotodegradasi Zat Warna Methyl Orange Menggunakan Fe₂O₃-**

Montmorillonit dan Sinar Ultraviolet, *Prosiding Seminar Nasional DIES ke 50 FMIPA UGM*, Yogyakarta

- [8] Wahyuni, E., T., E. Sugiharto, I. Tahir, 2003, **Fotodegradasi Klorofenol oleh Adanya Ion Fe(III)**, *Prosiding Seminar Nasional Kimia XIII*, Yogyakarta
- [9] Darajat, S., H. Aziz, A. Alif, 2008, **Seng Oksida (ZnO) sebagai Fotokatalis pada Proses Degradasi Senyawa Biru Metilen**, *Jurnal Riset Kimia*, Vol. 1
- [10] Pekakis, P.A., N.P. Xekoukoulotakis, D. Mantzavinos, 2006, **Treatment of Textile Dyehouse Wastewater by TiO₂ Photocatalyst**, *Water Research*, 40, 1276-1286
- [11] Utubira, Y., K. Wijaya, Triyono, E. Sugiharto, 2006, **Preparation and Characterization of TiO₂-Zeolite and Its Application to Degrade Textile Wastewater by Photocatalytic Method**, *Indo.J.Chem*, 6 (3), 231-237
- [12] Faghihian, H., dan A. Bahranifard, 2011, **Application of TiO₂-Zeolite as Photocatalyst for Photodegradation of Some Organic Pollutants**, *Iranian Journal of Catalysis*, 45-50
- [13] Fatimah, I., E. Sugiharto, K. Wijaya, I. Tahir, Kamalia, 2006, **Titanium Oxide Dispersed on Natural Zeolite (TiO₂-Zeolite) and Its Application for Congo Red Photodegradation**, *Indo.J.Chem*, 6 (1), 38-42
- [14] Rokhmah, T. I., 2010, **Studi Aplikasi Karbon Aktif sebagai Pengembangan TiO₂ pada Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Karmin**, *Skripsi*, Jurusan Kimia Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya, Malang

- [15] Chong, M.N., B. Jin, C.W.K. Chow, C. Saint, 2010, **Recent Development in Photocatalytic Water Treatment Technology: A Review**, *Water Research* 44, 2997-3027
- [16] Coleman, H.M., V. Vimonses, G. Leslie, R. Amal, 2007, **Degradation of 1,4-dioxane in Water Using TiO₂ Based Photocatalytic and H₂O₂/UV Processes**, *J. Hazard. Mater.* 146, 496–501
- [17] Mahmoodi, N.M., M. Arami, N.Y. Limaee, N.S. Tabrizi, 2006, **Kinetics of Heterogeneous Photocatalytic Degradation of Reactive Dyes in An Immobilized TiO₂ Photocatalytic Reactor**, *J. Colloid Interf. Sci.* 295, 159–164
- [18] Tanaka, K., T. Hisanaga, K. Harada, 1989, **Efficient Photocatalytic Degradation of Chloral Hydrate in Aqueous Semiconductor Suspension**, *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.* 48, 155–159
- [19] Rashed, M. N., dan A. A. El-Amin, 2007, **Photocatalytic Degradation of Methyl Orange in Aqueous TiO₂ Under Different Solar Irradiation Sources**, *International Journal of Physical Sciences*, Vol. 2, No. 3, 073-081
- [20] Agustin, B.D., 2011, **Sintesis Fotokatalis TiO₂-Zeolit untuk Degradasi Zat Warna Methyl Orange Menggunakan Sinar UV**, *Skripsi*, Jurusan Kimia Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya, Malang
- [21] Setiadi dan A. Pertiwi, 2007, **Preparasi dan Karakterisasi Zeolit Alam untuk Konversi Senyawa ABE Menjadi Hidrokarbon**, *Prosiding Kongres dan Simposium Nasional Kedua MKICS*, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik UI, hal 1-6

- [22] Susetyaningsih, R., E. Kismolo, Prayitno, 2009, **Karakterisasi Zeolit Alam pada Reduksi Kadar Chrom dalam Limbah Cair**, *Seminar Nasional V SDM Nuklir*, Yogyakarta, 5 November 2009
- [23] Widayat, 2006, **Pembuatan Bahan Bakar Cair dari Minyak Goreng Bekas dengan Proses Catalytic Cracking**, *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Katalis Indonesia (MKICS) Indonesian Catalyst Society 2006*, Departemen Kimia MIPA UI, Departemen Gas dan Petrokimia FT UI, Pusat Penelitian Kimia LIPI MKI, hal 5-6
- [24] Fatimah, I. dan K. Wijaya., 2005, **Sintesis TiO_2 /Zeolit sebagai Fotokatalis pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tapioka Secara Adsorpsi-Fotodegradasi**, *TEKNOIN*, Vol. 10, No. 4, 257-267
- [25] Trisunaryanti, W., E. Triwahyuni, S. Sudiono, 2005, **Preparasi, Modifikasi dan Karakterisasi Katalis Ni-Mo/Zeolit Alam dan Mo-Ni/Zeolit Alam**, *TEKNOIN*, Vol. 10, No. 4, 269-282
- [26] Sinaga, G. P. 2010, **Penentuan Kadar β -Karoten dari Minyak Sawit Yang Terikat pada Adsorben Zeolit Alam dalam Berbagai Variasi Ukuran Partikel**, *Skripsi*, Departemen Kimia, FMIPA, Universitas Sumatera Utara, Medan
- [27] Suyartono, P., dan Husaini, 1991, **Tinjauan terhadap Kegiatan Penelitian Karakteristik dan Pemanfaatan Zeolit**, dalam Buletin PPTM. Vol. 13. No. 4, Bandung
- [28] Setianingsih, T., S. Wardhani, M.M. Khunur , 2001, **Studi Pengaruh Aktivasi dengan Asam Klorida terhadap Fosfatasi Zeolit Alam Turen**, *Laporan Penelitian Jurusan Kimia Fakultas MIPA*, Universitas Brawijaya, Malang

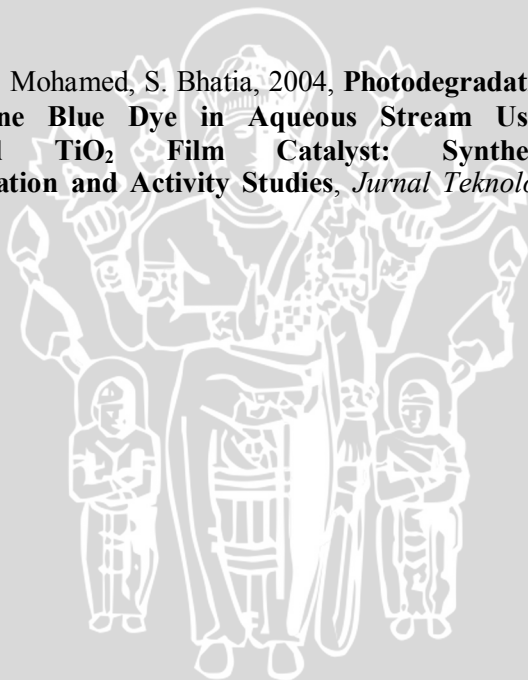
- [29] Nirwana, F. I., 2002, **Studi Pengaruh Konsentrasi Asam Klorida dan Kalsinasi Zeolit Alam Turen untuk Adsorben Anion**, *Skripsi*, Kimia-FMIPA Universitas Brawijaya, Malang
- [30] Sumarsih, A.S., 2010, **Efektivitas Katalis Semikonduktor TiO_2 dengan Pengemban Oksida $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$ pada Fotodegradasi Zat Warna Remazol Yellow Fg**, *Skripsi*, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret, Surakarta
- [31] Hoffmann, M.R., S.T.Martin, W. Choi, D.W. Bahenemann, 1995, **Environmental Application of Semiconductor Photocatalysis**, *Chem. Rev.*, 95, 69–96
- [32] Nogueira, R.F.P, dan Jardim, W.F, 1993, **Photodegradation of Methylene Blue Using Solar Light and Semiconductor (TiO_2)**, *Journal of Chemical Education*, Vol. 70, No. 10, 861-862
- [33] Hameed, B.H., dan U.G. Akpan, 2009, **Parameters Affecting The Photocatalytic Degradation of Dyes Using TiO_2 -Based Photocatalyst: A Review**, *Journal of Hazardous Material*, 170, 520-529
- [34] Hupka J., A. Zaleska., M. Janczarek, E. Kowalska, P. Górska, R. Aranowski, 2006, **UV/Vis Light-Enhanced Photocatalysis for Water Treatment and Protection**, *Soil and Water Pollution Monitoring, Protection and Remediation*, 3-23
- [35] Saggiaro, E. M., A.S. Oliveira, T. Pavesi, C.G. Maia, L.F.V. Ferreira, J.C. Moreira, 2011, **Use of Titanium Dioxide Photocatalysis on The Remediation of Model Textile Wastewater Containing Azo Dyes**, *Journal of Molecule*, 16

- [36] Kaur, S., 2007, **Light Induced Oxidative Degradation Studies of Organic Dyes and Their Intermediates**, *Thesis*, School of Chemistry & Biochemistry, Thapar University, Patiala
- [37] Satterfield, C.N., 1980, **Heterogeneous Catalysis in Practice**, McGraw Hill Book Co, New York
- [38] Meena, V. K. dan R.C., Meena, 2010, **Studies on Photo Degradation of Methyl Orange in Aqueous Solution Using Immobilized Dowex-11 photocatalyst**, *J. Ind. Council Chem.*, Vol. 27, No. 2, 180-184
- [39] Madhu, G.M., L.A., Raj, K.V.K., Pai, 2009, **Titanium Oxide (TiO₂) Assisted Photocatalytic Degradation of Methylene Blue**, *J. Environ. Biol*, Vol. 30, No. 2, 259-264
- [40] Mondestov, A., Blezer, V., Marjasin, I., and Lev, O., 1997, **Photocatalytic Degradation of Chlorinated Phenoxyacetic Acids by A New Bouyant Titania-Exfoliated Graphite Composite Photocatalysist**, *J. Phys. Chem B.*, 101, 4623-4629
- [41] Guettai, N. dan H.A. Amar, 2005, **Photocatalytic Oxidation of Methyl Orange in Presence of Titanium Dioxide in Aqueous Suspension. Part I: Parametric Study**, *Desalination*, 185, 427-437
- [42] Kulkarni, M., dan P. Thakur, 2010, **The Effect of UV/TiO₂/H₂O₂ Process and Influence of Operational Parameters on Photocatalytic Degradation of Azo Dye in Aqueous TiO₂ Suspension**, *Chemistry & Chemical Technology*, Vol. 4, No. 4
- [43] Barka, N., A. Assabbane, A. Nounah, Y. Aît Ichou, 2008, **Photocatalytic Degradation of Indigo Carmine in**

Aqueous Solution by TiO₂-coated Non-woven Fibres,
Journal of Hazardous Materials, 152, 1054-1059

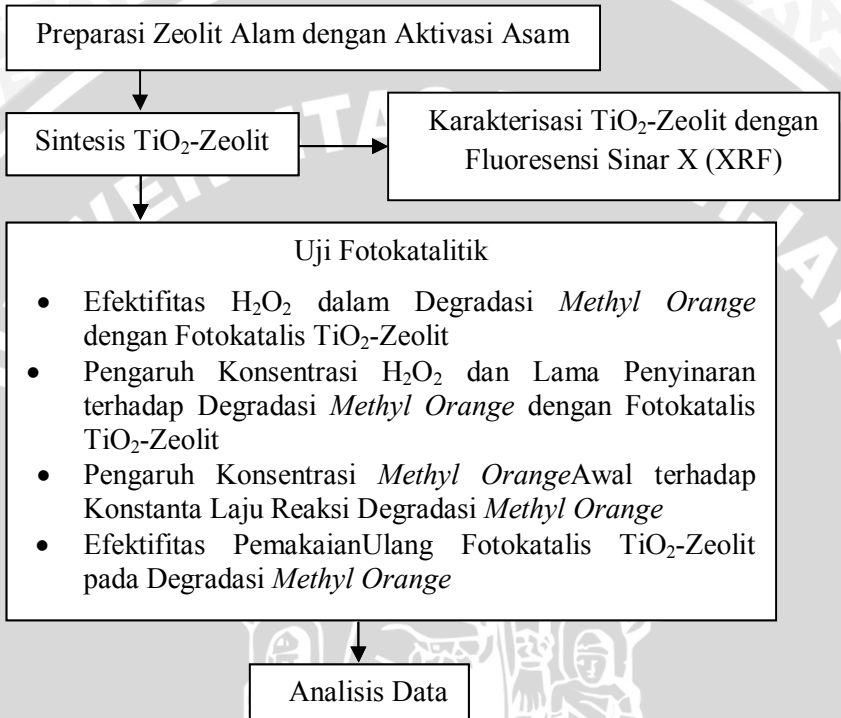
- [44] López-Vásques, A., D. Santamaría, M. Tibatá, C. Gómez, 2010, **Congo Red Photocatalytic Decolorization Using Modified Titanium**, World Academy of Science, Engineering and Technology
- [45] Hendayana, S., 1994, **Kimia Analitik Instrumen**, IKIP Press, Semarang
- [46] Sastrohamidjojo, H., 2002, **Spektroskopi**, Edisi kesatu, Liberty, Yogyakarta
- [47] Mulja, M. dan A. Syahrani, 1989, **Aplikasi Analisis Spektrofotometer UV-Vis**, Merchipso Grafika, Surabaya
- [48] West, A.R., 1984, **Solid State Chemistry and Its Application**, John Wiley and Sons, Ltd., New York
- [49] Jenkins, R., 1999, **X Ray Fluorescence Spectroscopy**, Second edition, John Wiley and Sons, Inc., New York
- [50] Las, T., F. Firdiyono, A. Hendrawan, 2011, **Adsorpsi Unsur Pengotor Natrium Silikat Menggunakan Zeolit Alam Karangnunggal**, *Valensi*, Vol. 2, No. 2, 368-378
- [51] Rosdiana, T., 2006, **Pencirian dan Uji Aktivitas Katalitik Zeolit Alam Teraktivasi**, *Skripsi*, Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, Bogor
- [52] Boukhenoufa, A., M. Bouhelassa, A. Zoulalian, 2011, **Photocatalytic Degradation of Solophenyl Red 3 BL in An Aqueous Suspension of Titanium Dioxide**, *Journal of Advanced Chemical Engineering*, Vol. 1

- [53] Abo-Farha, S.A., 2010, **Photocatalytic Degradation of Monoazo and Diazo Dyes in Wastewater on Nanometer-Sized TiO₂**, *Journal of American Science*, 6 (11)
- [54] Supriyanto, D., 2012, **Studi Pengaruh pH Awal, Konsentrasi, dan Lama Penyinaran terhadap Degradasi Zat Warna Methyl Orange dengan Fotokatalis TiO₂-Zeolit**, *Skripsi*, Jurusan Kimia Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya
- [55] Fatimah, I., 2003, **Analisis Fenol dalam Sampel Air Menggunakan Spektrofotometri Derivatif**, *Logika*, Vol. 9, No. 10
- [56] Ling, C.M., A.R. Mohamed, S. Bhatia, 2004, **Photodegradation of Methylene Blue Dye in Aqueous Stream Using Immobilized TiO₂ Film Catalyst: Synthesis, Characterization and Activity Studies**, *Jurnal Teknologi*, 40 (F)



LAMPIRAN

Lampiran A. Diagram Alir Penelitian



LAMPIRAN B. Perhitungan dan Pembuatan Larutan

B.1 Pembuatan Larutan Induk *Methyl Orange* 200 mg/L

Dalam pembuatan larutan zat warna *methyl orange* 200 mg/L sebanyak 1000 mL dibutuhkan padatan zat warna *methyl orange* sebanyak 200 mg kemudian dilarutkan dalam gelas kimia dengan sedikit akuades, dimasukkan dalam labu ukur 1000 mL kemudian diencerkan dengan akuades hingga tanda batas.

B.2 Pembuatan Larutan Standar *Methyl Orange* 1; 2; 3; 4; 5; 6; dan 7 mg/L

Pembuatan larutan standar *methyl orange* dalam berbagai konsentrasi dilakukan dengan pengenceran larutan induk *methyl orange* 200 mg/L.

Tabel L.B.2 Perhitungan Pengenceran Larutan *Methyl Orange* 200 mg/L

V ₁ (mL)	C ₁ (mg/L)	V ₂ (mL)	C ₂ (mg/L)
0,125	200	25	1
0,250	200	25	2
0,375	200	25	3
0,500	200	25	4
0,625	200	25	5
0,750	200	25	6
0,825	200	25	7

B.3 Pembuatan 50 mL Larutan AgNO₃ 0,1 M

$$\begin{aligned} \text{Mol AgNO}_3 &= [\text{AgNO}_3] \times V \\ &= 0,1 \text{ M} \times 0,05 \text{ L} \\ &= 0,005 \text{ mol} \\ \text{Massa AgNO}_3 &= \text{mol} \times \text{Mr} \\ &= 0,005 \text{ mol} \times 169,91 \text{ g/mol} \\ &= 0,849 \text{ g} \end{aligned}$$

Sebanyak 0,849 g AgNO₃ ditimbang, dilarutkan dengan akuades, dituangkan dalam labu ukur 50 mL kemudian ditambah dengan akuades hingga tanda batas.

B.4 Perhitungan Molaritas Larutan HCl 37%

$$\begin{aligned} \text{Massa jenis HCl pekat} &= 1,1900 \text{ g/mL} \\ \text{Kadar HCl pekat} &= 37 \% \\ \text{Mr HCl} &= 36,461 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

Konsentrasi HCl adalah:

$$\begin{aligned} [\text{HCl}] &= \frac{1,1900 \text{ g/mL}}{36,461 \text{ g/mol}} \times \frac{37}{100} \times \frac{1000 \text{ mL}}{1\text{L}} \\ &= 12,0759 \text{ M} \end{aligned}$$

B.5 Pembuatan 1000 mL Larutan HCl 0,4 M

Larutan HCl 0,4 M sebanyak 1000 mL dibuat dengan menggunakan HCl pekat sebanyak:

$$\begin{aligned} M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\ 12,0759 \text{ M} \times V_1 &= 0,4 \text{ M} \times 1000 \text{ mL} \\ V_1 &= 48,3 \text{ mL} \end{aligned}$$

Jadi HCl yang dipipet adalah 48,3 mL yang kemudian dimasukkan labu ukur 1000 mL dan ditambah akuades hingga tanda batas.

B.6 Pembuatan 250 mL Larutan HCl 0,1 M

Larutan HCl 0,1 M sebanyak 250 mL dibuat dengan menggunakan HCl pekat sebanyak:

$$\begin{aligned} M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\ 12,0759 \text{ M} \times V_1 &= 0,1 \text{ M} \times 250 \text{ mL} \\ V_1 &= 2,07 \text{ mL} \end{aligned}$$

Jadi HCl yang dipipet adalah 2,07 mL yang kemudian dimasukkan labu ukur 250 mL dan ditambah akuades hingga tanda batas.

B.7 Pembuatan 250 mL Larutan NaOH 0,1 M

$$\begin{aligned} \text{Mol NaOH} &= [\text{NaOH}] \times V \\ &= 0,1 \text{ M} \times 0,25 \text{ L} \\ &= 0,0025 \text{ mol} \\ \text{Massa NaOH} &= \text{mol} \times \text{Mr} \\ &= 0,0025 \text{ mol} \times 40 \text{ g/mol} \\ &= 1 \text{ g} \end{aligned}$$

Sebanyak 1 g NaOH ditimbang, dilarutkan dengan akuades dalam gelas kimia, dituangkan dalam labu ukur 250 mL kemudian ditambah dengan akuades hingga tanda batas.

B.8 Pembuatan 500 mL Larutan pH 6

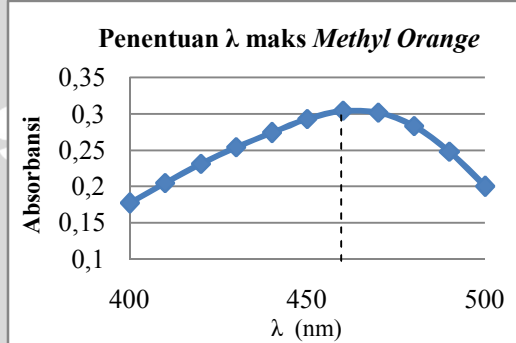
Sebanyak 500 mL akuades dituang ke dalam gelas kimia 1000 mL kemudian diukur pH akuades dengan pH-meter. pH akuades diatur hingga pH 6 dengan larutan HCl 0,01 M dan NaOH 0,01 M.

LAMPIRAN C. Penentuan Persen *Methyl Orange* Terdegradasi

C.1 Penentuan Panjang Gelombang (λ) Maksimum *Methyl Orange*

Tabel L.C.1 Penentuan Panjang Gelombang (λ) Maksimum *Methyl Orange*

λ (nm)	A
400	0,177
410	0,205
420	0,231
430	0,254
440	0,274
450	0,293
460	0,304
470	0,302
480	0,283
490	0,248
500	0,2

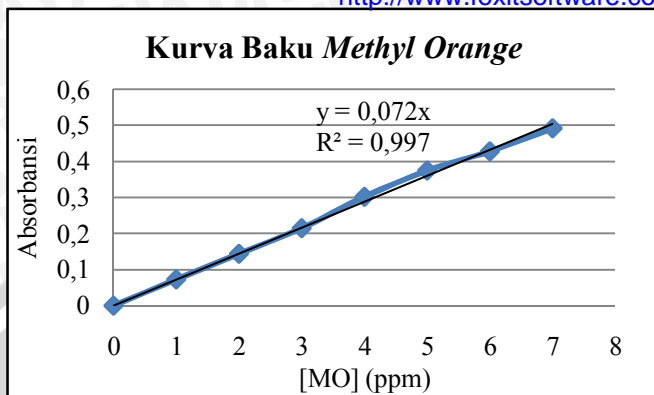


Gambar L.C.1 Grafik Penentuan λ maks *Methyl Orange* dengan Spektrofotometer UV-Vis

C.2 Pembuatan Kurva Baku dan Penentuan Persamaan Regresi serta Koefisien Korelasi Kurva Baku *Methyl Orange*

Tabel L.C.2 Data Absorbansi Larutan *Methyl Orange* Standar (pH 6)

Konsentrasi MO(mg/L)	A
0	0
1	0,073
2	0,143
3	0,215
4	0,301
5	0,375
6	0,427
7	0,491



Gambar L.C.2 Grafik Kurva Baku *Methyl Orange*

C.3 Penentuan Persen *Methyl Orange* Terdegradasi

Persamaan kurva baku *methyl orange* : $y = 0,072x$

Dimana : y = absorbansi

x = konsentrasi

Maka :

$$\text{Konsentrasi MO akhir} = \frac{y}{0,072} \times \text{fp (faktor pengenceran)}$$

$$= \frac{0,143}{0,072} \times 2$$

$$= 3,97 \text{ mg/L}$$

$$\text{Konsentrasi MO terdegradasi} = [\text{MO}] \text{ awal} - [\text{MO}] \text{ akhir}$$

$$= 10 - 3,97$$

$$= 6,03 \text{ mg/L}$$

$$\text{Persentase } \textit{Methyl Orange} \text{ terdegradasi} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

$$= \frac{10 - 3,97}{10} \times 100\%$$

$$= 60,3 \%$$

LAMPIRAN D. Data Pengukuran Persen *Methyl Orange* Terdegradasi

D.1 Pengaruh Konsentrasi H₂O₂ pada Degradasi *Methyl Orange* dengan Fotokatalis TiO₂-Zeolit

D.1.1 Uji F

[H ₂ O ₂] %	C ₀	At 1	At 2	fp	Ct 1	Ct 2	%D-1	%D-2	%D RATA2	%D1+%D2	(%D1)^2	(%D2)^2	(%D1+%D2)^2	SD
4	10	0,095	0,097	2	2,64	2,69	73,61	73,06	73,33	146,67	5418,60	5337,11	21511,11	0,39
8	10	0,055	0,056	2	1,53	1,56	84,72	84,44	84,58	169,17	7177,85	7130,86	28617,36	0,20
12	10	0,042	0,041	2	1,17	1,14	88,33	88,61	88,47	176,94	7802,78	7851,93	31309,34	0,20
16	10	0,073	0,083	2	2,03	2,31	79,72	76,94	78,33	156,67	6355,63	5920,45	24544,44	1,96
										649,44	52995,22		105982,25	

H₀ : Konsentrasi H₂O₂ tidak berpengaruh terhadap persen degradasi *methyl orange*

H₁ : Konsentrasi H₂O₂ berpengaruh terhadap persen degradasi *methyl orange*

	JKT	JKP	JKG	KUADRAT TENGAH		F-HITUNG	F-TABEL 1%	F-TABEL 5%	F-TABEL 10%
	272,955247	268,865741	4,089506	KTP	KTG	87,660377	16,694369	6,591382	4,19086
DB	7	3	4	89,621914	1,022377	tolak H ₀ , terima H ₁			

D.1.2 Uji BNT

BNT ($\alpha=0,01$)	T-TABEL 0,005	HASIL PENGAKARAN (2*KTG)/2
4,655322	4,604095	1,011126

[H₂O₂] (%)		4	8	12	16
%D RATA2		73,33	84,58	88,47	78,33
4	73,33	0			
8	84,58	11,25*	0		
12	88,47	15,14*	3,89	0	
16	78,33	5*	-6,25	-10,14	0

Keterangan :

* = Nilai berbeda nyata

D.2 Variabel Kontrol

Kontrol	C₀	At 1	At 2	fp	C_t 1	C_t 2	% D 1	% D 2	% D rata2	SD
MO (<i>hv</i>)	10	0,316	0,344	2	8,78	9,56	12,22	4,44	8,33	5,50
MO + Katalis (<i>hv</i>)	10	0,233	0,237	2	6,47	6,58	35,28	34,17	34,72	0,79
MO + H ₂ O ₂ (<i>hv</i>)	10	0,296	0,288	2	8,22	8,00	17,78	20,00	18,89	1,57
MO + Kat + H ₂ O ₂ (Gelap)	10	0,286	0,29	2	7,94	8,06	20,56	19,44	20,00	0,79
MO pH 2 + Kat + H ₂ O ₂ (<i>hv</i>)	10	0,085	0,097	2	2,36	2,69	76,39	73,06	74,72	2,36
MO pH 6 + Kat + H ₂ O ₂ (<i>hv</i>)	10	0,257	0,215	2	7,14	5,97	28,61	40,28	34,44	8,25

D.3 Perhitungan Konsentrasi H_2O_2 dalam Larutan

Tabel L.D.3 Konversi Konsentrasi H_2O_2 dalam Larutan menjadi mol. L^{-1}

Konsentrasi H_2O_2 (%)	BM H_2O_2	V. H_2O_2	V. MO	V. Total	$[\text{H}_2\text{O}_2]$ (M)
4	34	5	25	30	0,196
8	34	5	25	30	0,392
12	34	5	25	30	0,588
16	34	5	25	30	0,784



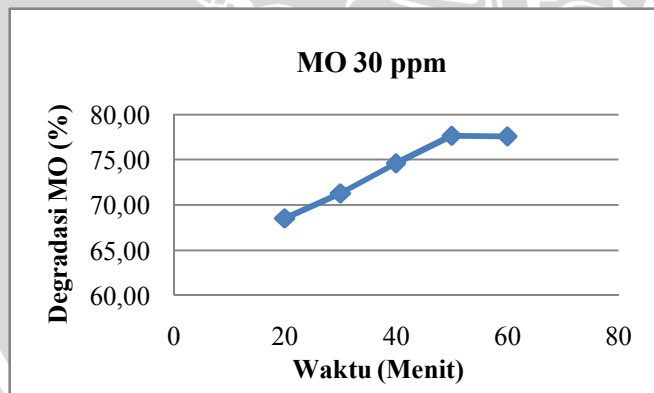
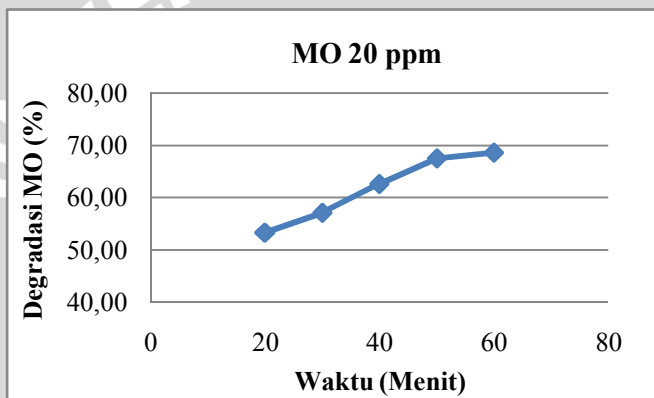
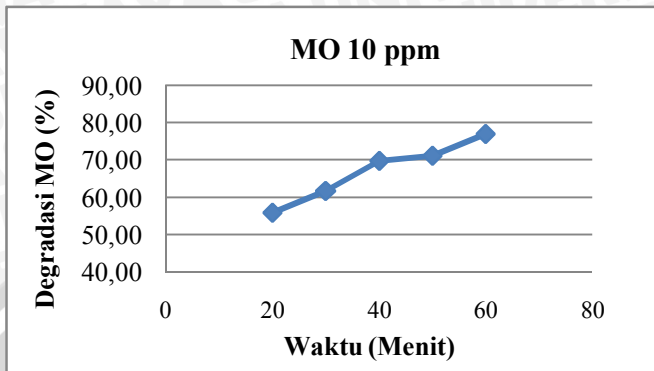
D.4 Pengaruh Lama Penyinaran terhadap Degradasi *Methyl Orange* dengan Fotokatalis TiO_2 -Zeolit

Tabel L.D.4 Penentuan Persen Degradasi *Methyl Orange* tiap Satuan Waktu. Atas: Konsentrasi *Methyl Orange* 10 mg/L, tengah: Konsentrasi *Methyl Orange* 20 mg/L, bawah: Konsentrasi *Methyl Orange* 30 mg/L.

Waktu	C_0	A_t	C_t	% D
20	10	0,159	4,42	55,83
30	10	0,138	3,83	61,67
40	10	0,109	3,03	69,72
50	10	0,104	2,89	71,11
60	10	0,083	2,31	76,94

Waktu	C_0	A_t	C_t	% D
20	20	0,336	9,33	53,33
30	20	0,309	8,58	57,08
40	20	0,269	7,47	62,64
50	20	0,234	6,50	67,50
60	20	0,226	6,28	68,61

Waktu	C_0	A_t	C_t	% D
20	30	0,340	9,44	68,52
30	30	0,310	8,61	71,30
40	30	0,274	7,61	74,63
50	30	0,241	6,69	77,69
60	30	0,242	6,72	77,59



Gambar L.D.4 Grafik Hubungan antara Degradasi *Methyl Orange* terhadap Waktu

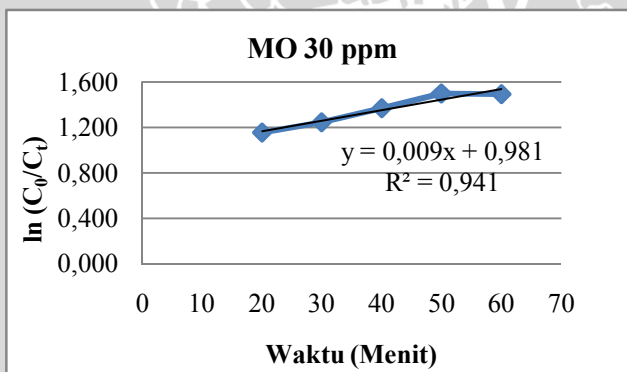
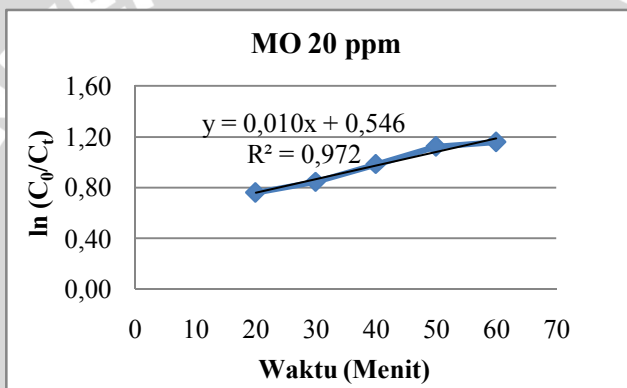
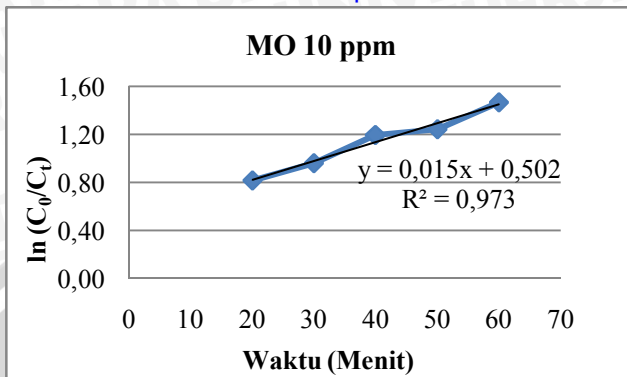
D.5 Pengaruh Konsentrasi *Methyl Orange* Awal terhadap Konstanta Laju Reaksi Degradasi *Methyl Orange*

Tabel L.D.5 Penentuan Nilai $\ln (C_0/C_t)$ tiap Satuan Waktu. Atas: Konsentrasi *Methyl Orange* 10 mg/L, tengah: Konsentrasi *Methyl Orange* 20 mg/L, bawah: Konsentrasi *Methyl Orange* 30 mg/L.

Waktu	A_t	C_0	C_t	$\ln (C_0/C_t)$
20	0,159	10	4,42	0,82
30	0,138	10	3,83	0,96
40	0,109	10	3,03	1,19
50	0,104	10	2,89	1,24
60	0,083	10	2,31	1,47

Waktu	A_t	C_0	C_t	$\ln (C_0/C_t)$
20	0,336	20	9,33	0,76
30	0,309	20	8,58	0,85
40	0,269	20	7,47	0,98
50	0,234	20	6,50	1,12
60	0,226	20	6,28	1,16

Waktu	A_t	C_0	C_t	$\ln (C_0/C_t)$
20	0,340	30	9,44	1,156
30	0,310	30	8,61	1,248
40	0,274	30	7,61	1,372
50	0,241	30	6,69	1,500
60	0,242	30	6,72	1,496



Gambar L.D.5 Grafik Hubungan antara $\ln(C_0/C_t)$ terhadap Waktu

D.6 Efektifitas Pemakaian Ulang Fotokatalis TiO_2 -Zeolit pada Degradasi *Methyl Orange*

Tabel L.D.6 Hasil Degradasi *Methyl Orange* dengan Pemakaian Ulang Fotokatalis TiO_2 -Zeolit

No	A_0	A_t	C_0	C_t	fp	% D	% D rata2
1	0,347	0,07	10	2,43	2,5	75,69	73,03
	0,347	0,083	10	2,88	2,5	71,18	
	0,347	0,08	10	2,78	2,5	72,22	
2	0,325	0,077	10	2,67	2,5	73,26	72,92
	0,325	0,079	10	2,74	2,5	72,57	
3	0,342	0,056	10	1,94	2,5	80,56	80,56
4	0,342	0,068	10	1,89	2	81,11	81,11



LAMPIRAN E. Karakterisasi TiO₂-Zeolit dengan Fluoresensi Sinar X (XRF)

E.1 Hasil Karakterisasi Logam pada Zeolit Teraktivasi

14-May-2012 14:40:53

Sample results - Averages

Page

Sample ident
Zeolite teraktivasi

Application Sequence	<Standardless> Average of 3
Measurement period - start	14-May-2012 14:07:29
Measurement period - end	14-May-2012 14:30:29
Position	3

Compound	Al	Si	K	Ca	Ti	V
Conc	8.6 +/- 0.01	63.3 +/- 1.4	9.97 +/- 1.07	9.93 +/- 0.97	1.2 +/- 0.2	0.02 +/- 0.02
Unit	%	%	%	%	%	%

Compound	Mn	Fe	Cu	Zn	Sr	Ba
Conc	0.18 +/- 0.03	8.34 +/- 1.09	0.12 +/- 0.02	0.011 +/- 0.001	0.64 +/- 0.097	0.3 +/- 0.07
Unit	%	%	%	%	%	%

Compound	Re	Ni	Yb
Conc	0.2 +/- 0.04	0.04 +/- 0.0001	0.05 +/- 0.02
Unit	%	%	%

Gambar L.E.1 Identifikasi Kadar Logam pada Zeolit Teraktivasi

E.2 Hasil Karakterisasi Logam Oksida pada Zeolit Teraktivasi

14-May-2012 14:41:57 **Sample results - Averages** Page

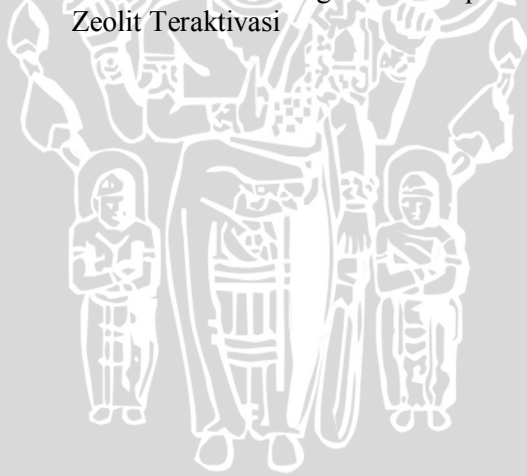
Sample ident						
Zeolite teraktivasi						
Application <Standardless>						
Sequence Average of 3						
Measurement period - start 14-May-2012 14:07:29						
Measurement period - end 14-May-2012 14:30:29						
Position 3						

Compound	Al2O3	SiO2	K2O	CaO	TiO2	V2O5
Conc	10 +/- 0.03	76.8 +/- 3.8	5.12 +/- 0.66	5.53 +/- 0.67	0.76 +/- 0.11	0.007 +/- 0.005
Unit	%	%	%	%	%	%

Compound	MnO	Fe2O3	CuO	ZnO	SrO	BaO
Conc	0.083 +/- 0.013	4.26 +/- 0.62	0.050 +/- 0.009	0.004 +/- 0.0006	0.25 +/- 0.04	0.12 +/- 0.04
Unit	%	%	%	%	%	%

Compound	Re2O7	NI0	Yb2O3
Conc	0.10 +/- 0.02	0.02 +/- 0.0003	0.02 +/- 0.006
Unit	%	%	%

Gambar L.E.2 Identifikasi Kadar Logam Oksida pada Zeolit Teraktivasi



E.3 Hasil Karakterisasi Logam pada Fotokatalis TiO₂-Zeolit

14-May-2012 14:37:31

Sample results - Averages

Page

Sample ident							
Katalis TiO₂-zeolit							
		Application		<Standardless>			
		Sequence		Average of 3			
		Measurement period - start		14-May-2012 14:05:35			
		Measurement period - end		14-May-2012 14:28:35			
		Position		2			
Compound	Si	P	K	Ca	Ti	Fe	Zn
Conc	8.42 +/- 0.09	0.23 +/- 0.005	1.20 +/- 0.006	1.71 +/- 0.01	86.12 +/- 0.13	1.68 +/- 0.002	0.15 +/- 0.02
Unit	%	%	%	%	%	%	%
Compound	W	Re	Pt				
Conc	0.20 +/- 0.02	0.1 +/- 0.009	0.21 +/- 0.02				
Unit	%	%	%				

Gambar L.E.3 Identifikasi Kadar Logam pada Fotokatalis TiO₂-zeolit

E.4 Hasil Karakterisasi Logam Oksida pada Fotokatalis TiO₂-Zeolit

14-May-2012 14:38:44

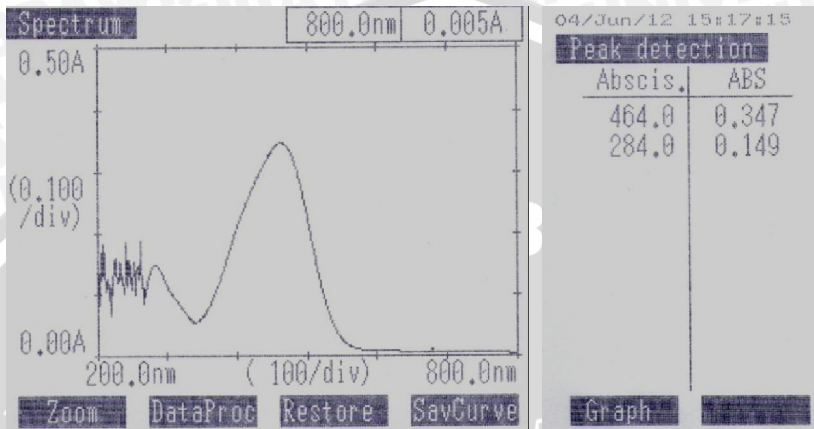
Sample results - Averages

Page

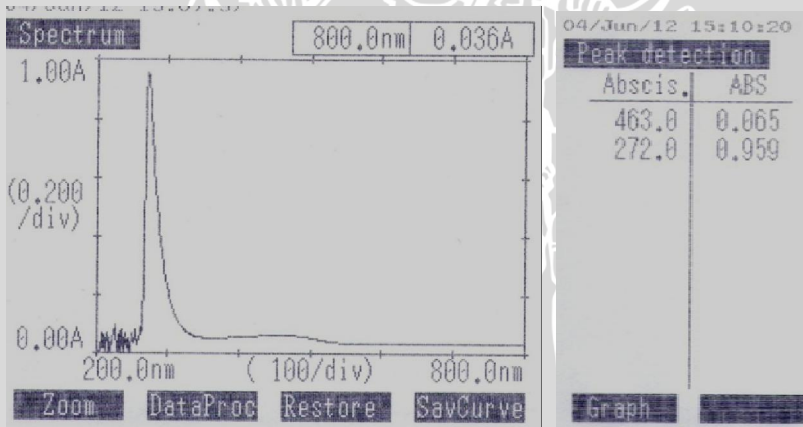
Sample ident						
Katalis TiO₂-zeolit						
		Application		<Standardless>		
		Sequence		Average of 3		
		Measurement period - start		14-May-2012 14:05:35		
		Measurement period - end		14-May-2012 14:28:35		
		Position		2		
Compound	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃
Conc	13.4 +/- 0.1	0.38 +/- 0.007	0.978 +/- 0.003	1.58 +/- 0.01	82.04 +/- 0.16	1.23 +/- 0.003
Unit	%	%	%	%	%	%
Compound	ZnO	WO ₃	Re ₂ O ₇	PtO ₂		
Conc	0.097 +/- 0.014	0.13 +/- 0.005	0.08 +/- 0.02	0.13 +/- 0.006		
Unit	%	%	%	%		

Gambar L.E.4 Identifikasi Kadar Logam Oksida pada Fotokatalis TiO₂-zeolit

LAMPIRAN F. Spektrum UV-Vis *Methyl Orange*

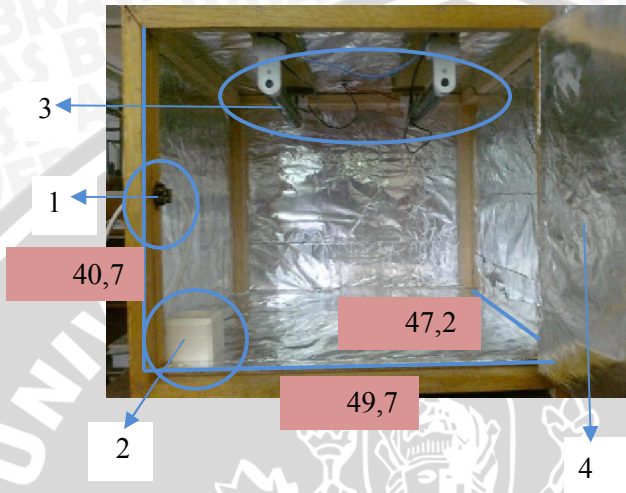


Gambar L.F.1 Spektrum UV-Vis *Methyl Orange* 10 mg/L Sebelum Degradasi



Gambar L.F.2 Spektrum UV-Vis *Methyl Orange* 10 mg/L Setelah Degradasi

LAMPIRAN G. Gambar Alat Penelitian



Gambar L.G.1 Reaktor UV

Ukuran kotak reaktor : panjang = 49,7 cm
lebar = 47,2 cm
tinggi = 40,7 cm

Keterangan:

- 1 = Pengait pintu reaktor
- 2 = Stop Kontak
- 3 = Lampu UV
- 4 = Pintu reaktor