

**PENENTUAN pH OPTIMUM DAN EFEKTIVITAS H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> TERHADAP  
FOTODEGRADASI METIL VIOLET MENGGUNAKAN FOTOKATALIS  
TiO<sub>2</sub>-ZEOLIT ALAM**

**SKRIPSI**

**Oleh:  
IQBAL ANNUR EKA SETYAPUTRA  
NIM. 17630013**



**PROGRAM STUDI KIMIA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2023**

**PENENTUAN pH OPTIMUM DAN EFEKTIVITAS H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> TERHADAP  
FOTODEGRADASI METIL VIOLET MENGGUNAKAN FOTOKATALIS  
TiO<sub>2</sub>-ZEOLIT ALAM**

**SKRIPSI**

**Oleh:  
IQBAL ANNUR EKA SETYAPUTRA  
NIM. 17630013**

**Diajukan Kepada:  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang  
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**PROGRAM STUDI KIMIA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2023**

**PENENTUAN pH OPTIMUM DAN EFEKTIVITAS H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> TERHADAP  
FOTODEGRADASI METIL VIOLET MENGGUNAKAN FOTOKATALIS  
TiO<sub>2</sub>-ZEOLIT ALAM**

**SKRIPSI**

**Oleh:  
IQBAL ANNUR EKA SETYAPUTRA  
NIM. 17630013**

telah disetujui oleh:

**Pembimbing I**



**Lulu'atul Hamidah Ulya, M.Sc  
NIDT. 19900906 20180201 2 239**

**Pembimbing II**



**Ahmad Hanapi, M.Sc  
NIDT. 19851225 20160801 1 069**

**Mengetahui,**

**Ketua Program Studi**



**Rachmawati Ningsih, M.Si  
NIP. 19810811 200801 2 010**

**PENENTUAN pH OPTIMUM DAN EFEKTIVITAS H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> TERHADAP  
FOTODEGRADASI METIL VIOLET MENGGUNAKAN FOTOKATALIS  
TiO<sub>2</sub>-ZEOLIT ALAM**

**SKRIPSI**

**Oleh:  
IQBAL ANNUR EKA SETYAPUTRA  
NIM. 17630013**

**Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi  
Dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Tanggal: 19 Juni 2023**

**Penguji Utama : Diana Chandra Dewi, M.Si  
NIP. 19770720 200312 2 001**

**Ketua Penguji : Nur Aini, M.Si  
NIP. 19840608 201903 2 009**

**Sekretaris Penguji : Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc  
NIDT. 19900906 20180201 2 239**

**Anggota Penguji : Ahmad Hanapi, M.Sc  
NIDT. 19851225 20160801 1 069**

(.....)  
(.....)  
(.....)  
(.....)

**Mengesahkan,  
Ketua Program Studi**



**Rachmawati Wingsih, M.Si  
NIP. 19810811 200801 2 010**

## LEMBAR ORISINALITAS PENELITIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Iqbal Annur Eka Setyaputra  
NIM : 17630013  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Sains dan Teknologi  
Judul Penelitian : Penentuan pH Optimum dan Efektivitas H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> terhadap  
Fotodegradasi Metil Violet Menggunakan Fotokatalis  
TiO<sub>2</sub>-Zeolit Alam

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi ini merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya, kecuali dengan mencantumkan sumber kutipan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia mempertanggungjawabkannya sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 22 Juni 2023  
Yang Membuat Pernyataan,



Iqbal Annur Eka Setyaputra  
NIM. 17630013

## MOTTO

できるかどうかじゃない、なりたいからなるんだ  
*Dekiru kadouka ja nai, naritai kara narun da*

“Aku tidak peduli itu mungkin atau tidak, kalau aku ingin aku pasti bisa”  
(Monkey D. Luffy)

“Menerapkan perkembangan ialah sebuah dasar dari sains”  
(Ishigami Senku)

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya ilmiah ini saya persembahkan untuk kedua orangtuaku dan keluarga yang selalu memberikan support serta doa untuk anakmu yang terkadang susah banget diingatkan. Akan tetapi, kalian selalu sabar dan tidak pernah lupa memanjatkan do'a di setiap sujud untuk saya. Bapak dan Mama selalu mengajarkanku apa itu sabar karena dari sabar akan memberikan sebuah keberkahan.

Saya persembahkan pula untuk dosen pembimbing saya, Ibu Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc yang telah membimbing saya selama ini dan selalu mengingatkan saya agar rajin dan semangat walaupun saya sering menghilang tanpa kabar dan tiba-tiba muncul. Namun Ibu tetap sabar dan selalu memberikan dorongan untuk saya.

Kemudian, aku persembahkan pula untuk teman-teman Kimia A Tayo 2017, Mabna Ibnu Rusyd kamar 2, teman seperjuangan tim riset fotokatalis 2017, tim riset anorganik 2017-2019, Ozone Squad, NakaMalang dan semua teman-temanku yang telah menjadi tempat canda tawa bersama. Semoga tidak putus silahturrahmi.

*And last*, aku persembahkan untuk diriku sendiri yang sudah berjuang sejauh ini dengan mendaki gunung menuruni lembah serta banyak rintangan yang dihadapi dan sudah berani bermimpi setinggi-tingginya yang menjadi semangat dalam mengerjakan skripsi

Ingat, ONE PIECE itu ada!!!!

## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum wr. wb.*

*Alhamdulillahirobbil'alamin*, segala puji syukur kehadiran Allah Swt. yang telah memberikan limpahan rahmat, hidayah serta taufik-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir yang berjudul **“Penentuan pH Optimum dan Efektivitas H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> terhadap Fotodegradasi Metil Violet Menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-Zeolit Alam”** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) dengan sebaik dan semaksimal mungkin. Shalawat serta salam saya haturkan kepada Nabi Muhammad Saw. yang telah menuntun umat manusia dari jalan kegelapan ke jalan terang benderang yakni *addinul Islam*. Semoga dengan apa yang saya kerjakan dapat bermanfaat untuk ke depannya agar menjadi ilmu yang bermannfaat serta berkah.

Selama proses penulisan tugas akhir ini saya banyak mendapatkan bimbingan, dukungan, nasihat serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu saya selaku penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. M. Zainuddin, M.A. selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Ibu Dr. Sri Harini, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Ibu Rachmawati Ningsih, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia serta seluruh dosen jurusan kimia dan laboran yang telah memberikan pengarahan serta bimbingan selama penyusunan.
4. Ibu Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc. selaku dosen pembimbing kimia yang telah memberikan pengarahan serta bimbingan dan motivasi selama proses penyusunan proposal penelitian hingga skripsi sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
5. Bapak Ahmad Hanapi, M.Sc. selaku dosen pembimbing agama yang telah memberikan pengarahan serta bimbingan agama selama proses penyusunan proposal penelitian hingga skripsi sehingga dapat terselesaikan dengan baik.

6. Ibu Diana Chandra Dewi, M.Si selaku wali dosen dan penguji pertama serta Ibu Nur Aini, M.Si selaku dosen penguji kedua yang telah memberikan arahan, nasihat, masukan, dan saran dalam penulisan tugas akhir sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
7. Ibu Susi Nurul Khalifah, M.Si selaku kepala laboratorium riset anorganik yang telah memberikan banyak masukan untuk proses berjalannya penelitian sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
8. Laboran kimia UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan bantuan yang membantu proses penelitian sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
9. Kedua orang tua, adik dan keluarga besar tercinta yang telah memberikan masukan serta nasihat dan dukungan baik doa dan moril semangat dalam penyusunan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
10. Teman-teman riset anorganik 2017-2019, riset fotokatalis 2017, Kimia A 2017, dan angkatan Kimia 2017 yang telah memberikan dukungan serta masukan kepada saya serta teman di *Ozone Squad* dan komunitas Nakama Malang yang sudah menjadi bagian dari keluarga besar yang telah menemani saya dalam suka maupun duka selama ini sehingga menjadi motivasi untuk menyelesaikan tugas akhir.
11. Tentunya, saya sendiri yang sudah berjuang sejauh ini dan masih mencari tahu kalau One Piece itu ada.

Penulis sadar bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih banyak kekurangan, maka dari itu penulis ingin mengharapkan saran dan kritik yang membangun agar penyusunan tugas akhir ini dapat membawa manfaat.

*akhirul kalam, Wassalamualaikum wr. wb.*

Malang, 19 April 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

COVER SKRIPSI .....	i
LEMBAR ORISINALITAS PENELITIAN .....	Error! Bookmark not defined.
MOTTO .....	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
ABSTRAK .....	xv
ABSTRACT .....	xvi
ملخص البحث .....	xvii

<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	6
1.3 Tujuan Masalah.....	6
1.4 Batasan Masalah .....	7
1.5 Manfaat Penelitian .....	7

<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>8</b>
2.1 Metil Violet.....	8
2.2 Metode Fotodegradasi.....	13
2.3 Titanium Oksida (TiO <sub>2</sub> ) sebagai Fotokatalis .....	14
2.4 Zeolit Alam sebagai Material Pendukung.....	18
2.5 Sintesis TiO <sub>2</sub> -Zeolit Alam dengan Metode Sonikasi .....	20
2.5.1 Identifikasi Struktur dengan XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ) .....	23
2.5.2 Identifikasi Gugus Fungsi dengan Spektrofotometer FTIR ( <i>Fourier Transform Infrared</i> ).....	25
2.5.3 Identifikasi Energi Celah Pita dengan Spektrofotometer UV-Vis DRS ( <i>Diffuse Reflectant Spectroscopy</i> ).....	27
2.6 Penentuan pH Optimum dan Efektivitas Penambahan H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> terhadap Fotodegradasi Metil Violet .....	29
2.7 Perspektif Islam terhadap Fotokatalisis sebagai Pengolah Limbah Cair	32

<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>36</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	36
3.2 Alat dan Bahan.....	36
3.2.1 Alat .....	36
3.2.2 Bahan .....	36
3.3 Rancangan Penelitian.....	37
3.4 Tahapan Penelitian.....	37

3.5	Prosedur Penelitian .....	38
3.5.1	Preparasi Zeolit.....	38
3.5.2	Aktivasi Zeolit .....	38
3.5.3	Sintesis TiO <sub>2</sub> -Zeolit Alam dengan Metode Sonikasi.....	38
3.5.4	Karakterisasi Hasil Sintesis TiO <sub>2</sub> -Zeolit Alam.....	39
3.5.4.1	Karakterisasi dengan XRD .....	39
3.5.4.2	Karakterisasi dengan Spektrofotometer FTIR .....	40
3.5.4.3	Karakterisasi dengan Spektrofotometer UV-Vis DRS .....	40
3.5.5	Pembuatan Larutan Standar dan Sampel Metil Violet .....	40
3.5.5.1	Pembuatan Larutan Induk Metil Violet 100 ppm .....	40
3.5.5.2	Pembuatan Larutan Standar Metil Violet .....	40
3.5.5.3	Pembuatan Larutan Sampel Metil Violet .....	41
3.5.6	Penentuan Panjang Gelombang Maksimum.....	41
3.5.7	Pembuatan Kurva Standar .....	41
3.5.8	Uji Degradasi Metil Violet menggunakan TiO <sub>2</sub> -Zeolit Alam .....	42
3.5.8.1	Penentuan pH Optimum pada Fotodegradasi Metil Violet .	42
3.5.8.2	Penentuan Efektivitas Penambahan H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> pada Fotodegradasi Metil Violet .....	42
3.5.8.3	Uji Efektivitas Fotodegradasi Metil Violet.....	43
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>44</b>
4.1	Preparasi dan Aktivasi Zeolit Alam .....	44
4.2	Sintesis TiO <sub>2</sub> -Zeolit Alam dengan Metode Sonikasi .....	45
4.3	Karakterisasi Hasil Sintesis TiO <sub>2</sub> -Zeolit Alam .....	46
4.4	Penentuan Panjang Gelombang Serapan Maksimum dan Kurva Kalibrasi Standar Metil Violet .....	54
4.5	Uji Degradasi Metil Violet menggunakan TiO <sub>2</sub> -Zeolit Alam.....	56
4.5.1	Penentuan pH Optimum pada Fotodegradasi Metil Violet .....	56
4.5.2	Penentuan Efektivitas Penambahan H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> pada Fotodegradasi Metil Violet .....	59
4.6	Uji Efektivitas Fotodegradasi Metil Violet.....	62
4.7	Perspektif Islam terhadap Fotokatalis TiO <sub>2</sub> -Zeolit Alam .....	66
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>70</b>
5.1	Kesimpulan .....	70
5.2	Saran .....	70
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>72</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>81</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis metil violet .....	9
Tabel 3.1 Rancangan penelitian uji efektivitas fotodegradasi metil violet .....	37
Tabel 3.2 Uji kontrol uji efektivitas fotodegradasi metil violet .....	43
Tabel 4.1 Perbandingan serapan gugus fungsional antara zeolit alam dan TiO <sub>2</sub> -zeolit alam.....	50
Tabel 4.2 Energi celah pita dan serapan panjang gelombang .....	54
Tabel 4.3 Hasil penentuan pH optimum degradasi metil violet dengan fotokatalis TiO <sub>2</sub> -zeolit alam .....	57
Tabel 4.4 Hasil penentuan efektivitas H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> optimum degradasi metil violet dengan fotokatalis TiO <sub>2</sub> -zeolit alam .....	60
Tabel 4.5 Hasil uji efektivitas fotodegradasi metil violet .....	63

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mekanisme fotodegradasi metil violet (Saeed, et al., 2017) .....	10
Gambar 2.2 Jalur degradasi kristal violet (Huang et al., 2020).....	12
Gambar 2.3 Struktur metil violet pada perubahan pH (Purnawan et al., 2018)....	12
Gambar 2.4 Mekanisme fotodegradasi (Hoffmann et al., 1995).....	14
Gambar 2.5 Struktur kristal TiO <sub>2</sub> rutil dan anatase (Diebold, 2003).....	15
Gambar 2.6 Pita energi beberapa semikonduktor (Linsebigler et al., 1995).....	16
Gambar 2.7 Mekanisme fotokatalitik pada partikel TiO <sub>2</sub> (Utubira et al., 2010) ..	17
Gambar 2.8 Struktur zeolit (Smart dan Moore, 1993) .....	19
Gambar 2.9 Pola difraksi pada HY, TiO <sub>2</sub> , dan HY-TiO <sub>2</sub> .....	20
Gambar 2.10 Proses kavitasasi (Chowdhury dan Viraraghavan, 2009).....	21
Gambar 2.11 Difraksi sinar X .....	24
Gambar 2.12 Difraktogram (A) zeolit asal, (B) TiO <sub>2</sub> , dan (C) TiO <sub>2</sub> -zeolit (Utubira et al., 2010).....	25
Gambar 2.13 Spektra FTIR (A) zeolit, (B) TiO <sub>2</sub> , dan (C) TiO <sub>2</sub> -zeolit (Utubira et al., 2010) .....	27
Gambar 2.14 Spektra UV-Vis DRS sampel TiO <sub>2</sub> P25 dan TiO <sub>2</sub> -zeolit alam (Saadati, et al., 2016) .....	29
Gambar 4.1 Zeolit sebelum aktivasi (a) dan zeolit setelah aktivasi (b) .....	45
Gambar 4.2 TiO <sub>2</sub> (a), zeolit aktivasi (b) dan hasil sintesis TiO <sub>2</sub> -zeolit alam (c) ..	46
Gambar 4.3 Difraktogram hasil TiO <sub>2</sub> -zeolit alam.....	46
Gambar 4.4 Hasil spektra FTIR (A) zeolit aktivasi dan (B) TiO <sub>2</sub> -zeolit alam ....	49
Gambar 4.5 Hubungan antara panjang gelombang dan %reflektansi .....	50
Gambar 4.6 Hubungan antara panjang gelombang dan absorbansi .....	51
Gambar 4.7 Hubungan antara faktor Kubelka-Munk dengan panjang gelombang	52
Gambar 4.8 Hasil energi celah pita TiO <sub>2</sub> -zeolit alam .....	53
Gambar 4.9 Panjang gelombang maksimum metil violet .....	55
Gambar 4.10 Kurva standar metil violet .....	56
Gambar 4.11 Pengaruh variasi pH terhadap fotodegradasi metil violet .....	57
Gambar 4.12 Pengaruh efektivitas H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> terhadap fotodegradasi metil violet.....	60
Gambar 4.13 Grafik efektivitas fotodegradasi metil violet.....	63

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Rancangan Penelitian .....	81
Lampiran 2 Perhitungan Pembuatan Larutan.....	82
Lampiran 3 Diagram Alir Penelitian.....	84
Lampiran 4 Karakterisasi Hasil Sintesis TiO <sub>2</sub> -Zeolit Alam.....	88
Lampiran 5 Uji Aktivitas Metil Violet dengan Fotokatalis TiO <sub>2</sub> -Zeolit Alam.....	94
Lampiran 6 Dokumentasi Hasil .....	100

## ABSTRAK

Setyaputra, I. A. E. 2023. **Penentuan pH Optimum dan Efektivitas H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> terhadap Fotodegradasi Metil Violet Menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-Zeolit Alam.** *Skripsi*. Pembimbing I: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc.; Pembimbing II: Ahmad Hanapi, M.Sc.

---

**Kata kunci:** fotodegradasi, metil violet, sonikasi, TiO<sub>2</sub>, zeolit alam

Penelitian tentang fotodegradasi telah dilakukan terhadap metil violet menggunakan fotokatalis TiO<sub>2</sub>-zeolit alam yang disintesis dengan metode sonikasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pH dan efektivitas H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> terhadap fotodegradasi metil violet menggunakan fotokatalis TiO<sub>2</sub>-zeolit alam.

Penelitian ini dilakukan dengan aktivasi zeolit kemudian zeolit diimbangkan pada TiO<sub>2</sub> menggunakan metode sonikasi. Karakterisasi dilakukan menggunakan XRD, FTIR, dan Spektrofotometer UV-Vis DRS. Karakterisasi TiO<sub>2</sub>-zeolit alam menggunakan XRD bertujuan untuk mengetahui morfologi dari TiO<sub>2</sub>-zeolit alam, FTIR bertujuan untuk mengetahui interaksi yang terjadi dalam TiO<sub>2</sub>-zeolit serta Spektrofotometer UV-Vis DRS bertujuan untuk mengetahui nilai energi celah pita dari TiO<sub>2</sub>-zeolit alam. Selanjutnya larutan standar dan sampel metil violet dibuat dan diukur absorbansinya menggunakan Spektrofotometer UV-Vis serta dibuat kurva standar. Uji degradasi metil violet dilakukan menggunakan fotokatalis TiO<sub>2</sub>-zeolit alam dengan variasi pH yaitu 3, 5, dan 7 serta variasi penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yaitu 10%, 15%, 20%, dan 25%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pH optimum pada fotokatalis TiO<sub>2</sub>-zeolit adalah pH 5 dengan persentase degradasi sebesar 98,86% dan efektivitas H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pada konsentrasi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 20% dengan persen degradasi sebesar 98,18%.

## ABSTRACT

Setyaputra, I. A. E. 2023. **Determination of Optimum pH and Effectiveness of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> on Photodegradation of Methyl Violet Using TiO<sub>2</sub>-Natural Zeolite.** *Undergraduated Thesis*. Supervisor I: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc.; Supervisor II: Ahmad Hanapi, M.Sc.

---

**Keywords:** photodegradation, methyl violet, sonication, TiO<sub>2</sub>, natural zeolites

Research on photodegradation has been carried out on methyl violet using TiO<sub>2</sub>-natural zeolite photocatalyst synthesized by the sonication method. This study aims to determine the effect of pH and the effectiveness of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> on the photodegradation of methyl violet using TiO<sub>2</sub>- natural zeolite photocatalyst.

This research was carried out by zeolite activation and then the zeolite was added to TiO<sub>2</sub> using the sonication method. Characterization was carried out using XRD, FTIR, and UV-Vis DRS Spectrophotometer. Characterization of TiO<sub>2</sub>-natural zeolite using XRD aims to determine the morphology of TiO<sub>2</sub>-natural zeolite, FTIR aims to determine the interactions that occur in TiO<sub>2</sub>-natural zeolite and UV-Vis Spectrophotometer DRS aims to determine the band gap energy value of TiO<sub>2</sub>-natural zeolite. Furthermore, the standard solution and methyl violet samples were prepared and the absorbance was measured using a UV-Vis spectrophotometer and a standard curve was made. Methyl violet degradation test was carried out using a TiO<sub>2</sub>-natural zeolite photocatalyst with pH variations of 3, 5, and 7 and variations in the addition of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 10%, 15%, 20%, and 25%. The results showed that the optimum pH of the TiO<sub>2</sub>-zeolite photocatalyst was pH 5 with percent degradation of 98.86% and the effectiveness of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> at a concentration of 20% with a percent degradation of 98.18%.

## ملخص البحث

صتيبيرة, إ. أ. اكة. 2023. تحديد pH المثلى وفعالية H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> في التحلل الضوئي لميثيل البنفسج باستخدام محفز ضوئي TiO<sub>2</sub>-الزبوليت الطبيعي. البحث العلمي. القسم الكيمياءكلية العلوم والتكنولوجيا الجامعة الإسلامية الحكومية مولانا مالك إبراهيم مالانج. المشرف الأول: لؤلؤة الحميدة عليا، M.Sc ؛ المشرف الثاني: احمد حنفي، M.Sc.

**الكلمات المفتاحية:** التحلل الضوئي، لميثيل البنفسج، سونيكاسي، TiO<sub>2</sub>، زبوليت طبيعي

تم إجراء بحث حول التحلل الضوئي على ميثيل البنفسج باستخدام محفز TiO<sub>2</sub>-الزبوليت الطبيعي الضوئي المركب بطريقة سونيكاسي. تهدف هذه الدراسة إلى تحديد pH الهيدروجيني وفعالية إضافة H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> في التحلل الضوئي لميثيل البنفسج باستخدام المحفز الضوئي TiO<sub>2</sub>-الزبوليت الطبيعي. تم إجراء هذا البحث عن طريق تنشيط الزبوليت ثم تحميل الزبوليت على TiO<sub>2</sub> باستخدام طريقة سونيكاسي. تم إجراء التوصيف باستخدام مقياس الطيف الضوئي XRD و FTIR و DRS UV-Vis. يهدف توصيف TiO<sub>2</sub>-الزبوليت الطبيعي باستخدام XRD إلى تحديد مورفولوجيا TiO<sub>2</sub>-الزبوليت الطبيعي، ويهدف FTIR إلى تحديد التفاعلات التي تحدث في TiO<sub>2</sub>-الزبوليت الطبيعي ويهدف مقياس الطيف الضوئي UV-Vis إلى تحديد قيمة طاقة فجوة النطاق لـ TiO<sub>2</sub>-الزبوليت الطبيعي. ثم تم تحضير المحلول القياسي وعينة الميثيل البنفسجي وقياس الامتصاص باستخدام مقياس الطيف الضوئي UV-Vis وعمل منحنى قياسي. تم إجراء اختبار تحلل الميثيل البنفسجي باستخدام محفز ضوئي TiO<sub>2</sub>-الزبوليت الطبيعي مع اختلافات في الأس الهيدروجيني، وتحديدًا 3 و 5 و 7 واختلافات في إضافة H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>، أي 10%، 15%، 20%، 25%. أظهرت النتائج أن درجة الحموضة المثلى للمحفز الضوئي TiO<sub>2</sub>-زبوليت كانت pH 5 مع نسبة تحلل 98.86% وفعالية H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> بتركيز 20% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> مع نسبة تحلل 98.18%.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, maka berkembang pula industri-industri dari segala bidang sehingga bidang industri mengalami kemajuan pesat. Namun kemajuan yang pesat ini tidak diimbangi dengan kesadaran yang tinggi dalam pengelolaan lingkungan. Saat ini, industri tekstil di Indonesia telah berkembang sangat pesat. Selain memberikan banyak manfaat dalam kehidupan manusia, perkembangan industri tekstil juga memberikan dampak negatif bagi lingkungan. Hal ini dikarenakan dalam produk tekstil selalu menghasilkan limbah, salah satunya limbah zat warna. Limbah zat warna merupakan senyawa organik yang sukar terurai, bersifat resisten, dan toksik. Apabila limbah tersebut dibuang ke perairan terdekat maka akan menyebabkan pencemaran lingkungan (Wijayanto, 2013).

Dalam Al-Qur'an Allah Swt. telah memperingatkan manusia akan kerusakan lingkungan sebagai ulah manusia di bumi yaitu masalah pencemaran, dan pencemaran itu sendiri menyangkut banyak aspek di antaranya, masalah pencemaran air, pencemaran udara, dan pencemaran tanah (Ratnasari dan Chodijah, 2020), sebagaimana dalam firman-Nya Surah ar-Ruum ayat 41:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ  
يَرْجِعُونَ

Artinya: “Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian

*dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)”* (Q.S. ar-Ruum: 41).

Menurut Ratnasari dan Chodijah (2020) yang menuliskan jurnal tentang penafsiran Ahmad Mustafa al-Maraghi dalam buku tafsir yang berjudul Tafsir al-Maraghi mengenai kerusakan lingkungan menyatakan bahwa orang-orang yang telah melakukan kerusakan baik di laut dan di bumi akan diperingatkan langsung oleh Allah di dunia dengan banjir, kekeringan, kekurangan pangan, kebakaran hutan agar mereka mau kembali ke jalan yang benar dan bertaubat, tetapi setelah Allah memberikan peringatan di dunia mereka tidak menghiraukannya, maka Allah memperingatkan mereka menunggu hari pembalasan.

Mengingat pentingnya industri tekstil sebagai penghasil devisa negara dan perlunya perlindungan lingkungan, maka diperlukan adanya teknologi limbah tekstil yang handal. Metode-metode penanggulangan limbah yang sering dilakukan adalah metode adsorpsi, biodegradasi, serta metode kimia seperti klorinasi dan ozonisasi. Metode ini cukup efektif dalam menanggulangi limbah namun memerlukan biaya operasional yang sangat besar. Selain metode tersebut, metode seperti koagulasi kombinasi, oksidasi elektrokimia, flokulasi, osmosis balik, dan adsorpsi menggunakan karbon aktif juga sering digunakan. Akan tetapi, metode-metode tersebut juga memiliki banyak kelemahan yaitu munculnya masalah baru seperti dihasilkannya fasa baru yang mengandung polutan yang lebih terkonsentrasi (Wijaya *et al.*, 2006).

Dewasa ini metode pengolahan limbah cair warna maupun polutan organik yang cukup banyak dikembangkan adalah metode fotodegradasi yang memanfaatkan proses fotokatalis. Metode ini merupakan metode yang relatif

murah serta mudah diterapkan (Fatimah *et al.*, 2009). Fotokatalis merupakan kombinasi antara fotokimia dan katalis, yaitu suatu reaksi kimia yang melibatkan cahaya sebagai pemicunya, dan katalis mempercepat reaksi tersebut (Castellote *et al.*, 2011). Proses fotokatalisis memanfaatkan sifat bahan-bahan semikonduktor yang memiliki sifat antara insulator dan konduktor. Adanya energi foton yang sesuai dari cahaya matahari akan menyebabkan terbentuknya pasangan *elektron-hole* pada katalis semikonduktor tersebut. Adanya interaksi dengan molekul oksigen dan air akan menciptakan oksidator kuat. Oksidator kuat inilah yang akan mendegradasi senyawa-senyawa organik yang berbahaya menjadi senyawa yang sifatnya lebih ramah lingkungan seperti H<sub>2</sub>O dan CO<sub>2</sub>, serta lebih hemat dalam pemakaian bahan kimia beserta energinya (Tjahjanto dan Jarnuzi, 2001). Metode ini mampu menguraikan limbah zat warna menjadi komponen-komponen sederhana melalui oksidasi fotokatalitik (Lestari *et al.*, 2015). Metode fotodegradasi dapat dilakukan dengan menggunakan katalis berupa semikonduktor. Katalis semikonduktor yang sering digunakan adalah TiO<sub>2</sub>, ZnO, CdS dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. TiO<sub>2</sub> adalah katalis semikonduktor yang paling efektif karena mempunyai energi gap sebesar 3,2 eV yang cocok digunakan untuk fotokatalis, tidak beracun, harganya terjangkau dan melimpah di alam (Joshi dan Shrivastava, 2010).

Aktivitas fotokatalitik semikonduktor perlu ditingkatkan dengan cara menambahkan suatu matriks atau dopan. Dopan yang dapat digunakan yaitu mineral alam, seperti bentonit dan zeolit. Zeolit memiliki luas permukaan relatif besar banyak digunakan oleh para peneliti sebagai pengemban suatu fotokatalis (Wahyu dan Dini, 2014).

Zeolit merupakan salah satu mineral alam yang banyak ditemukan di Indonesia yang dapat dimanfaatkan sebagai material penyangga semikonduktor TiO<sub>2</sub> sehingga dapat meningkatkan proses fotokatalitik (Hartini, 2011). Zeolit merupakan mineral yang terdiri dari kristal aluminosilikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah (Sutarti dan Rachmawati, 1994). Dalam bidang teknologi pengolahan lingkungan, zeolit telah dikenal luas sebagai bahan adsorben yang handal (Corrent *et al.*, 2001). Zhang, *et al.* (2015) yang menguji kemampuan TiO<sub>2</sub>-zeolit alam dalam mendegradasi metil jingga menggunakan zeolit sintetis HZSM-5 dengan hasil degradasi 99,5%.

Metode sintesis TiO<sub>2</sub>-zeolit alam telah banyak dikembangkan dengan tujuan untuk mendapatkan metode sintesis yang efisien dan efektif, seperti metode sol-gel, kopresipitasi, *spray drying*, reaksi padatan, hidrotermal, elektrokimia dan sonikasi. Salah satu metode yang sering digunakan adalah metode sonikasi sebab metode sintesis material yang menggunakan gelombang suara (ultrasonik) sebagai sumber energi dapat mendorong perubahan sifat fisika dan kimia dalam medium cairan. Metode sonikasi dapat mempercepat proses pelarutan suatu materi dengan prinsip pemecahan reaksi intermolekuler sehingga terbentuk suatu partikel yang berukuran nano (Akgedik *et al.*, 2016). Beberapa keunggulan dari metode sonikasi adalah lebih mudah, reaksinya lebih cepat, distribusi atau dispersi nanopartikel lebih seragam, stabilitas termal yang baik, luas permukaan dan kemurnian fasa yang lebih tinggi, dapat memecah agregat kristal berukuran besar menjadi agregat kristal berukuran kecil hingga berskala nano (Lestari, 2012; Prasad, *et al.*, 2010; dan Santos, *et al.*, 2009).

Beberapa penelitian tentang degradasi zat warna menggunakan TiO<sub>2</sub>-zeolit telah dilakukan oleh Damayanti, dkk. (2014) yang mendegradasi metilen biru hingga 80,23% menggunakan Zeolit alam Turen. Wang (2008) yang meneliti kinerja pemuatan TiO<sub>2</sub> untuk mendegradasi metil violet menggunakan zeolit Y (zeolit dengan Si/Al = 5,1). Hasil terbaik dari pemuatan TiO<sub>2</sub> adalah 20% dengan efisiensi fotodegradasi 58%. Hardeli, *et al.* (2014) melakukan penelitian lebih lanjut menggunakan TiO<sub>2</sub> untuk mendapatkan persentase degradasi 81% pada metil violet dengan waktu optimum 6 jam.

Berdasarkan hasil penelitian Suhernadi dkk. (2014) menyatakan bahwa penambahan fotokatalis TiO<sub>2</sub>-bentonit dan oksidator H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> meningkatkan degradasi *methylene blue*. Penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> optimum sebanyak 0,2 mL dalam 25 mL *methylene blue* dengan degradasi sebesar 93,93% dan lama penyinaran optimum adalah 60 menit. Rini, dkk., (2019) mengatakan bahwa efektivitas tertinggi pada fotodegradasi *naphthol* menggunakan fotokatalis TiO<sub>2</sub> yaitu 39,8339% dengan konsentrasi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 15%. Sedangkan hasil fotodegradasi *naphthol* tanpa penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sebesar 28,4842%. Pada penelitian yang dilakukan oleh Permatasari, dkk. (2015) dengan menguji pengaruh H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> terhadap *methyl orange* dengan fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N menyatakan bahwa penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> berpengaruh dalam meningkatkan aktivitas fotokatalitik pada penambahan optimum 0,75 mL dalam 25 mL *methyl orange* 10 mg/L dengan peningkatan dari 69,57% menjadi 82,76% pada kondisi sinar matahari.

Berdasarkan penelitian Sanjaya dkk. (2018) menyatakan bahwa penambahan fotokatalis TiO<sub>2</sub>-ZnO pada metil violet dengan variasi pH menghasilkan degradasi optimum pada pH 6 dengan persen degradasi 99,2857%.

Yang, *et al.* (2013) mendegradasi metil violet dengan fotokatalitik  $\text{TiSiW}_{12}\text{O}_{40}/\text{TiO}_2$  mendapatkan efektivitas pH tertinggi pada pH 5,5.

Hal ini yang melatar belakangi penelitian fotodegradasi metil violet menggunakan fotokatalis  $\text{TiO}_2$ -zeolit yang disintesis dengan metode sonikasi dan karakterisasi terhadap struktur kristal, interaksi gugus fungsi dan energi celah pita menggunakan instrumen *X-Ray Diffraction* (XRD), Spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan Spektrofotometer UV-Vis DRS (*UV-Vis Diffuse Reflectance Spectrophotometer*). Kemudian akan dilakukan proses degradasi zat warna metil violet dengan fotokatalis  $\text{TiO}_2$ -zeolit alam dengan variasi pH dan pengaruh penambahan konsentrasi  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana morfologi kristal, interaksi gugus fungsi, dan energi celah pita dari fotokatalis  $\text{TiO}_2$ -zeolit alam yang disintesis menggunakan metode sonikasi berdasarkan hasil analisis menggunakan instrumen *X-Ray Diffraction* (XRD), Spektrofotometer FTIR dan Spektrofotometer UV-Vis DRS?
2. Berapa pH optimum pada fotodegradasi metil violet?
3. Bagaimana efektivitas penambahan  $\text{H}_2\text{O}_2$  pada fotodegradasi metil violet?

## 1.3 Tujuan Masalah

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

- 1 Untuk mengetahui *X-Ray Diffraction* (XRD), Spektrofotometer UV-Vis DRS (*UV-Vis Diffuse Reflectance Spectrophotometer*) dan Spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR).
- 2 Untuk mengetahui pH optimum pada fotodegradasi metil violet dengan menggunakan fotokatalis TiO<sub>2</sub>-zeolit alam.
- 3 Untuk mengetahui efektivitas penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pada fotodegradasi metil violet dengan menggunakan fotokatalis TiO<sub>2</sub>-zeolit alam.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah pada penelitian ini, yaitu:

1. Bahan yang digunakan sebagai sampel merupakan zat warna sintetik.
2. Zeolit yang digunakan sebagai fotokatalis berasal dari Bandung.
3. Instrumen yang digunakan untuk karakterisasi yaitu XRD, Spektrofotometer FTIR dan Spektrofotometer UV-Vis DRS.
4. Uji fotodegradasi dilakukan terhadap zat warna metil violet.
5. Sintesis TiO<sub>2</sub>-zeolit alam menggunakan metode sonikasi.
6. Senyawa TiO<sub>2</sub> yang digunakan berbentuk padatan.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat mengembangkan penelitian yang lebih efektif dalam pengolahan limbah zat warna dari industri tekstil yaitu dengan metode fotokatalitik. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan informasi tentang salah satu alternatif pengolahan limbah zat warna khususnya metil violet dengan cara fotodegradasi menggunakan material TiO<sub>2</sub>-zeolit alam.

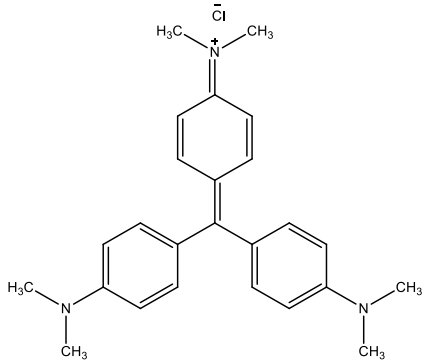
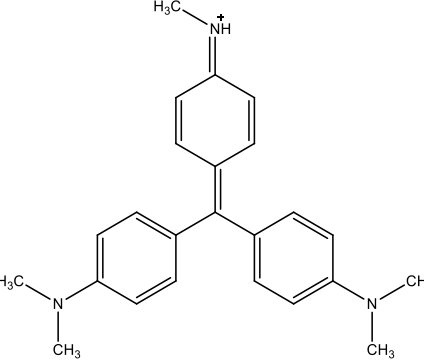
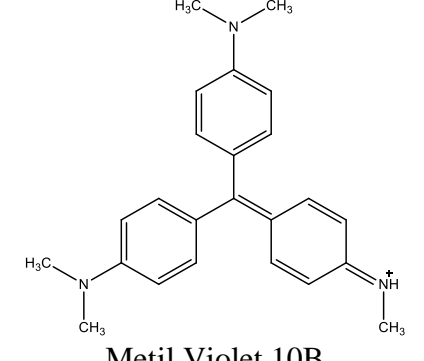
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

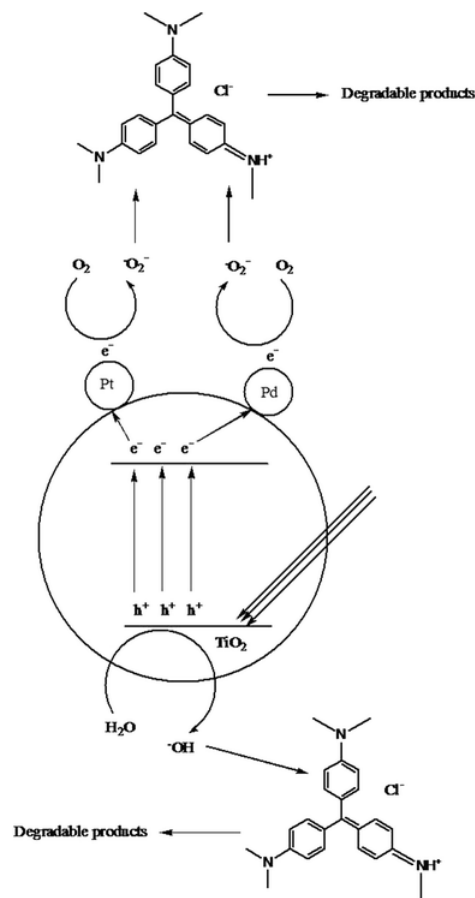
#### 2.1 Metil Violet

Metil violet merupakan zat warna jenis trifenil metana yang memberikan warna ungu. Zat warna ini memiliki kestabilan yang tinggi sehingga sulit terdegradasi di ekosistem perairan (Astuti *et al.*, 2017). Metil violet memiliki sifat persisten, sulit dibiodegradasi dan mengandung senyawa anilin yang bersifat toksik, mutagenik dan karsinogen sehingga perlu dilakukan penanganan yang serius jika zat tersebut menjadi limbah (Hardeli *et al.*, 2014). Selain itu, metil violet yang termasuk dalam jenis zat warna kationik bersifat toksik, mutagenik dan karsinogenik. Kandungan metil violet yang tinggi di perairan juga dapat mengurangi intensitas cahaya yang masuk ke wilayah perairan (Rahchamani *et al.*, 2011). Berdasarkan studi yang dilakukan Black *et al.* (1980) didapatkan bahwa anilin yang terdapat dalam senyawa ini bersifat toksik, mutagenik dan karsinogenik. Bahan kimia ini dapat memicu tumor pada beberapa spesies ikan yang hidup di dasar perairan (Azmi *et al.*, 1998), sehingga diperlukan penanganan yang serius untuk mengatasi masalah seandainya zat-zat tersebut menjadi limbah, salah satunya dengan fotokatalis (Hardeli *et al.*, 2014).

Tabel 2.1 Jenis metil violet

Nama dan Struktur	Mr (gr/mol)	$\lambda_{maks}$ (nm)	Referensi
 <p data-bbox="491 741 695 775">Metil Violet 2B</p>	393,5	587	Wu <i>et al.</i> , 2008
 <p data-bbox="491 1144 695 1178">Metil Violet 6B</p>	379,9	-	Bousala <i>et al.</i> , 2010
 <p data-bbox="491 1525 695 1559">Metil Violet 10B</p>	426		Samadi <i>et al.</i> , 2017

Pada penelitian yang dilakukan oleh Saeed, *et al.* (2017) menyatakan bahwa mekanisme metil violet dengan fotokatalis TiO<sub>2</sub>/Pd dan TiO<sub>2</sub>/Pt yang terjadi didapatkan %degradasi sebesar 95% pada fotokatalis TiO<sub>2</sub>/Pd dan 78% pada TiO<sub>2</sub>/Pt dengan waktu radiasi selama 20 menit dan didapatkan reaksi serta mekanismenya pada gambar 2.1.

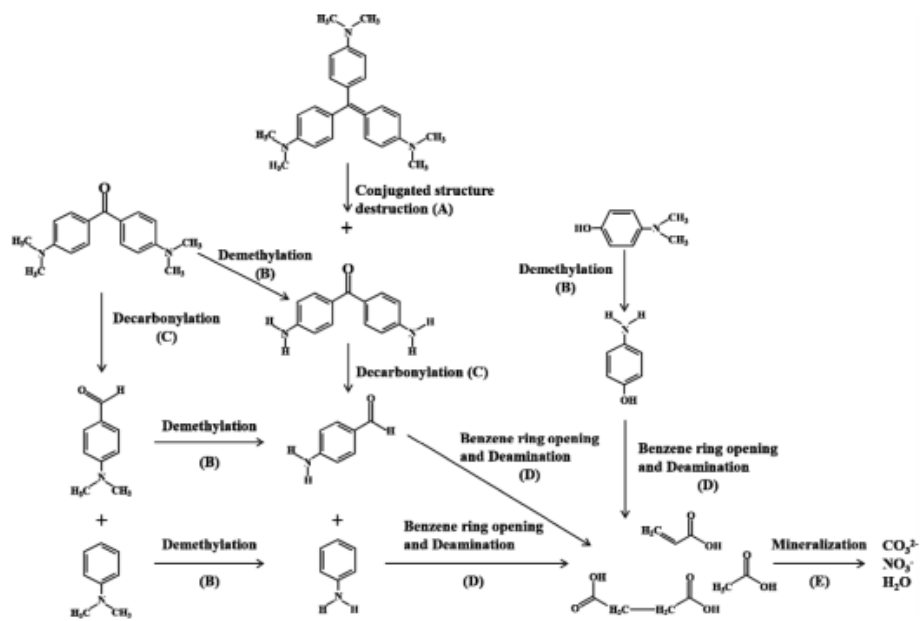


Gambar 2.1 Mekanisme fotodegradasi metil violet (Saeed, et al., 2017)

Yang *et al.* (2013) melakukan degradasi metil violet dengan menggunakan fotokatalitik TiSiW<sub>12</sub>O<sub>40</sub>/TiO<sub>2</sub> dan hasil degradasi tertinggi yaitu 82,4% setelah 3 jam di bawah simulasi alam sinar iradiasi. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi degradasi menurun pada konsentrasi yang lebih tinggi.

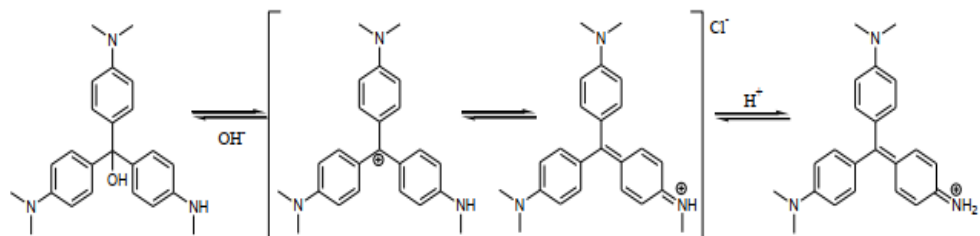
Huang *et al.* (2020), melakukan degradasi kristal violet dengan UV/persulfat bahwa intensitas puncak serapan pada 590 nm berangsur-angsur menurun dan panjang gelombang serapan maksimumnya bergeser ke kiri (pergeseran biru), bersamaan dengan warna pudar yang diamati dari larutan CV dapat diketahui bahwa sistem kromoforik terkonjugasi besar diserang oleh radikal bebas (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>·

dan  $\cdot\text{OH}$ ), yang di mana intermediet cincin benzena akan diproduksi (proses A). Sementara itu, beberapa molekul mengalami reaksi N-demetilasi, sehingga menyebabkan panjang gelombang serapan maksimum memendek (pergeseran biru, terlihat pada proses B). Intensitas penyerapan sekitar 244 nm meningkat terlebih dahulu dan kemudian menurun, yang dapat diartikan sebagai produksi intermediet cincin benzena dengan mendekomposisi sistem kromofor terkonjugasi besar pada tahap awal ( $\leq 10$  menit, proses A dan C), yang di mana intensitas adsorpsi meningkat, maka reaksi pembukaan cincin yang meningkat dari zat antara ini mengakibatkan penurunan intensitas penyerapan (proses D). Penyerapan pada 300 nm menunjukkan hal yang sama pola variasi seperti pada 590 nm, yang dapat dianggap berasal dari dekomposisi cincin benzena dan senyawa tak jenuh lainnya menjadi molekul kecil seperti  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  (proses E). Studi yang relevan telah menunjukkan bahwa degradasi jalur bahan organik oleh oksidasi  $\text{SO}_4^{\cdot-}$  terutama mencakup transfer elektron dan reaksi abstraksi hidrogen, sedangkan  $\cdot\text{OH}$  bereaksi dengan polutan organik terutama dalam bentuk abstraksi hidrogen, dekomposisi oksidatif, adisi dan reaksi transfer elektron. Hal ini dibuktikan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Jalur degradasi kristal violet (Huang et al., 2020)

Purnawan *et al.* (2018) menyatakan bahwa dengan menurunkan pH (kondisi asam), kehadiran  $H^+$  mengalami reaksi kimia dengan atom nitrogen dalam struktur kimia metil violet dengan mensubstitusi gugus metil. Pada tahap ini, dengan pembentukan struktur baru metil violet yang mengandung atom N terikat dengan dua atom hidrogen untuk membentuk  $-NH_2$ , membuat metil violet lebih sulit berinteraksi dengan anoda karena cenderung lebih parsial positif ( $\delta^+$ ) dari sebelumnya menyebabkan kromofor untuk menjauh.



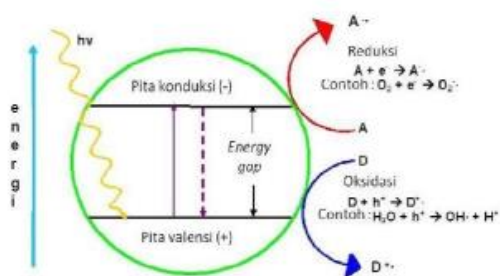
Gambar 2.3 Struktur metil violet pada perubahan pH (Purnawan et al., 2018)

## 2.2 Metode Fotodegradasi

Metode fotodegradasi ialah metode yang digunakan untuk menguraikan senyawa organik menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan menggunakan energi foton dan radiasi sinar UV. Metode fotodegradasi merupakan suatu metode yang dapat dilakukan karena memiliki harga yang relatif murah dan mudah diterapkan di Indonesia (Chandra *et al.*, 2012). Beberapa faktor yang mempengaruhi fotokatalisis yaitu adanya oksidator, keberadaan anion anorganik serta lamanya waktu penyinaran UV (Andarini *et al.*, 2013). Metode foto ini menguraikan zat warna menjadi komponen lebih sederhana sehingga lebih aman bagi lingkungan. Bahan dalam proses fotokatalis yang dapat digunakan dalam fotokatalisis ialah suatu semi konduktor seperti  $\text{WO}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Chandra *et al.*, 2012).

Proses fotodegradasi memerlukan suatu fotokatalis, yang umumnya merupakan bahan semikonduktor dan bahan aditif lain sebagai pemercepat laju degradasi. Beberapa fotokatalis semikonduktor seperti  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CdS}$ ,  $\text{ZnS}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ , kamfer dan *benzophenon* sering digunakan dalam proses fotodegradasi (Kurniadi, 2000).

Jika katalis semikonduktor dikenai sinar dengan energi yang lebih besar, maka elektron ( $e^-$ ) pada pita valensi bereksitasi menuju pita konduksi dan akan meninggalkan *hole* ( $h^+$ ) pada pita valensi. *Hole* ( $h^+$ ) akan berinteraksi dengan  $\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{OH}^-$  yang berada pada permukaan katalis membentuk OH radikal ( $\bullet\text{OH}$ ) yang bersifat sebagai oksidator kuat. Elektron ( $e^-$ ) akan bereaksi dengan  $\text{O}_2$  yang berada pada katalis membentuk radikal superoksida ( $\bullet\text{O}_2^-$ ) yang bersifat sebagai reduktor (Batista dkk, 2010).



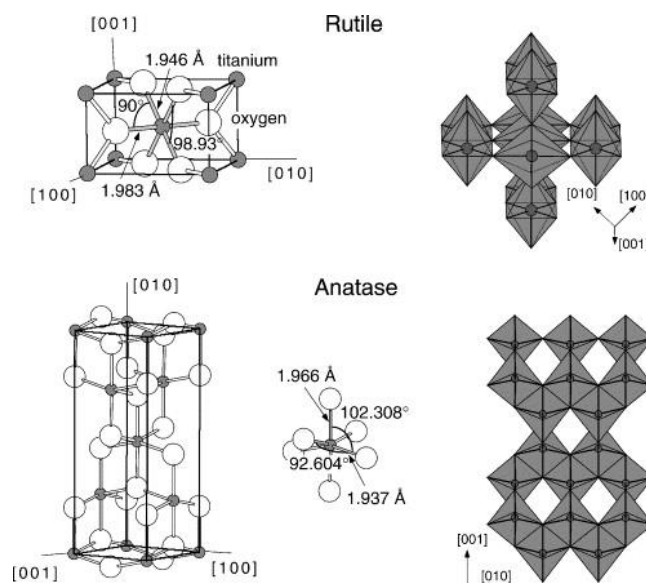
Gambar 2.4 Mekanisme fotodegradasi (Hoffmann et al., 1995)

### 2.3 Titanium Oksida (TiO<sub>2</sub>) sebagai Fotokatalis

Titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) merupakan salah satu material semikonduktor yang digunakan sebagai fotokatalis dalam proses penguraian limbah senyawa organik dalam air (Hoffmann *et al.*, 1995; Fujishima *et al.*, 2000; Slamet *et al.*, 2003; Houari *et al.*, 2003; Moghaddam *et al.*, 2011). Titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) memiliki 3 jenis struktur kristal, yaitu rutil, anatas dan brokit. Di antara ketiga jenis struktur kristal tersebut hanya anatas dan rutil yang cukup kestabilannya (Arutanti dkk., 2009).

Di antara sekian banyak semikonduktor, TiO<sub>2</sub> adalah yang sering dikembangkan dan digunakan karena stabilitas tinggi, pengoksidasi yang kuat, tidak beracun, stabil dalam waktu jangka panjang terhadap radiasi foton dan korosi kimia, harga relatif murah, memiliki luas permukaan yang besar dan kemampuannya dapat digunakan berulang kali tanpa kehilangan aktivitas katalitiknya (Fatimah, 2009). TiO<sub>2</sub> merupakan katalis yang banyak dipilih untuk proses fotokatalitik karena inert secara biologi dan kimia, stabil terhadap korosi akibat foton dan reaksi kimia, mempunyai daya oksidasi tinggi ( $E_g = 3,2$  eV), tidak beracun dan harga relatif murah (Abdullah, 2009).

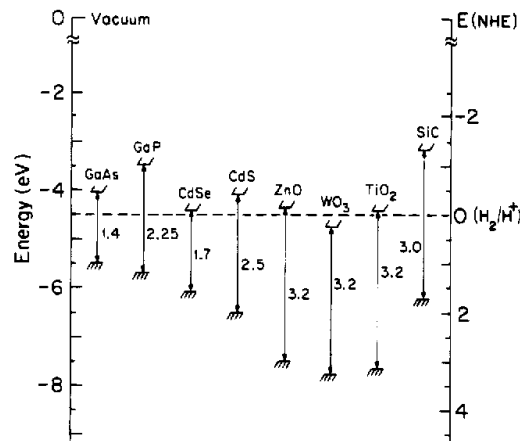
Struktur kristal  $\text{TiO}_2$  yang keberadaannya cukup stabil jika diaplikasikan untuk fotokatalis yaitu struktur jenis rutil dan anatase. Berdasarkan termodinamikanya struktur jenis rutil lebih stabil dibandingkan jenis anatase, namun berdasarkan aktivitas fotokatalis struktur jenis anatase lebih reaktif dari pada rutil. Efektivitas fotokatalis pada struktur anatase disebabkan luas permukaannya lebih besar sehingga sisi aktif per unit pada struktur anatase lebih besar dibandingkan jenis struktur  $\text{TiO}_2$  yang lain. Kenampakan dari pada kristal jenis rutil dan anatase digambarkan dalam bentuk rantai oktahedral  $\text{TiO}_6$ , dimana setiap ion  $\text{Ti}^{4+}$  dikelilingi oleh 6 atom  $\text{O}^{2-}$  dan yang membedakan dari kedua jenis struktur yaitu pada distorsi oktahedron dan pola susunan rantainya (Almu'minin, 2015).



Gambar 2.5 Struktur kristal  $\text{TiO}_2$  rutil dan anatase (Diebold, 2003)

Perbedaan dalam struktur kisi inilah yang menyebabkan setiap jenis struktur kristal  $\text{TiO}_2$  memiliki perbedaan massa jenis dan struktur pita elektronik masing-masing. Oleh karena itu, kristal  $\text{TiO}_2$  dengan struktur anatase memiliki daerah

aktivasi yang lebih luas sehingga lebih reaktif terhadap cahaya dan struktur pita energinya pun lebih tinggi (Linsebigler *et al.*, 1995).



Gambar 2.6 Pita energi beberapa semikonduktor (Linsebigler *et al.*, 1995)

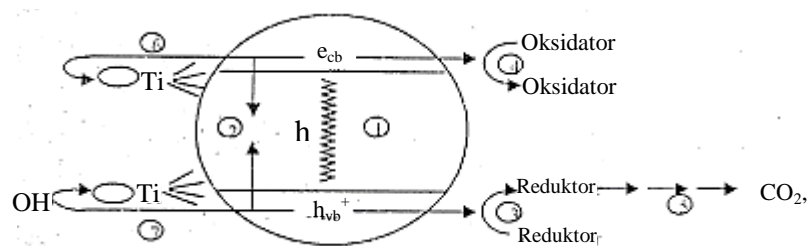
Tahapan mekanisme fotokatalitik pada TiO<sub>2</sub> (Hoffmann *et al.*, 1995), yaitu:

1. Pembentukan muatan oleh foton. Apabila fotokatalis dikenai radiasi foton ( $h\nu$ ) dengan energi  $h\nu$  yang besarnya sama atau melebihi energi celahnya ( $E_g$ ), maka satu elektron akan tereksitasi ke dalam pita konduksi ( $ec_b^-$ ) dengan meninggalkan lubang pada valensi ( $h\nu_b^+$ ).
2. Rekombinasi pembawa muatan. *Hole* (lubang) pada pita valensi ( $h\nu_b^+$ ) dapat bertindak sebagai oksidator yang cukup kuat dan dapat bergabung dengan elektron pada pita konduksi ( $ec_b^-$ ) sambil melepaskan panas.
3. Jika di dalam sistem terdapat substrat yang dapat teroksidasi, maka lubang pada pita valensi ( $h\nu_b^+$ ) akan menginisiasi reaksi oksidasi terhadap substrat tersebut.
4. Jika di dalam sistem terdapat suatu oksidator, maka dapat terjadi inisiasi reaksi reduksi oleh elektron pada pita konduksi ( $ec_b^-$ ).

5. Penjebakan (*trapping*) elektron pada pita konduksi ( $ec_b^-$ ) ke permukaan fotokatalis Ti(IV)OH membentuk (Ti(III)OH).

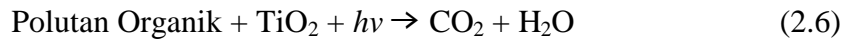
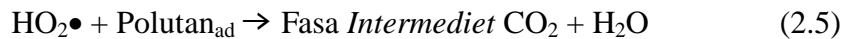
Dari penjelasan di atas dapat dikatakan bahwa peran fotokatalis adalah menyediakan spesies oksidator berupa *hole* pada pita valensi dan radikal OH yang akan meningkatkan efektivitas reaksi fotodegradasi suatu substrat. *Hole* ini dapat bereaksi baik dengan H<sub>2</sub>O yang teradsorpsi secara fisik sehingga mampu menguraikan molekul H<sub>2</sub>O dan O<sub>2</sub> menjadi radikal •OH dan ion superoksida (O<sup>2-</sup>) yang mampu mendegradasi senyawa organik (Sirimahachai *et al.*, 2009).

*Hole* tersebut memiliki afinitas yang tinggi terhadap oksigen dalam molekul H<sub>2</sub>O yang teradsorpsi pada permukaan semikonduktor, sehingga akan bereaksi menjadi •OH dan H<sup>+</sup>. Radikal hidroksil merupakan spesi yang sangat reaktif menyerang molekul organik dan mendegradasinya menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6. Berikut adalah gambaran reaksi kimia yang terjadi pada proses fotokatalisis (Utubira *et al.*, 2010).



Gambar 2.7 Mekanisme fotokatalitik pada partikel TiO<sub>2</sub> (Utubira *et al.*, 2010)





Kim, dkk. (2007) melakukan sintesis fotokatalis  $\text{TiO}_2$  dengan metode sol-gel tanpa adanya material pendukung ataupun dopan, melaporkan bahwa dengan naiknya suhu kalsinasi maka *surface area* mengalami penurunan secara signifikan, yang mana pada suhu kalsinasi  $400^\circ\text{C}$  *surface area* dari  $\text{TiO}_2$  sebesar  $186 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ , pada suhu kalsinasi  $500^\circ\text{C}$  *surface area* dari  $\text{TiO}_2$  sebesar  $135 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ , dan pada suhu kalsinasi  $600^\circ\text{C}$  *surface area* dari  $\text{TiO}_2$  menjadi sebesar  $95 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ .

Menurut beberapa penelitian fotokatalis  $\text{TiO}_2$  relatif cukup baik dalam mendegradasi limbah, namun demikian aktivitas  $\text{TiO}_2$  dapat ditingkatkan dengan penambahan matriks atau material penyangga seperti adsorben seperti material penyangga dari mineral alam seperti bentonit atau zeolit (Dini dan Wardani, 2014). Sanjaya dkk. (2018) mempelajari laju degradasi metil violet yang menggunakan  $\text{TiO}_2$  dengan katalis  $\text{ZnO}$  menghasilkan waktu optimum untuk degradasi metil violet adalah 45 menit dengan persen degradasi 94,1371%.

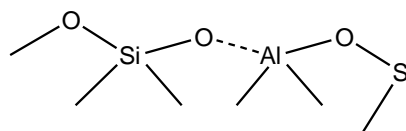
#### 2.4 Zeolit Alam sebagai Material Pendukung

Zeolit merupakan material kristal berpori yang mengandung pori-pori molekul dengan ukuran  $5\text{-}12 \text{ \AA}$  atau  $0,5\text{-}1,2 \text{ nm}$ . Zeolit konvensional didasarkan pada kerangka silikat di mana substitusi dari beberapa Si dengan Al (atau logam lainnya) mengarah ke muatan negatif pada kerangka, dengan kation (biasanya Na, alkali, atau alkali tanah logam lainnya) dalam struktur pori. Hal ini menyebabkan sifat penting lainnya antara lain pertukaran ion, di mana ion logam dalam struktur

pori dapat digantikan oleh kation lain (misalnya logam, amonium, amonium kuarterner) (Hay, 1966).

Zeolit terjadi secara alami dan umumnya dibentuk dalam lingkungan alkali dari sedimen vulkanik dan material. Zeolit pertama kali ditemukan dan diidentifikasi seperti stilbite. Zeolit yang kelimpahannya umum antara lain analcime, klinoptilolit, erionit, heulandite, laumontite, dan mordenit. Banyak bahan-bahan tersebut memiliki sifat penting sebagai adsorben dan katalis (Puppe, 1999).

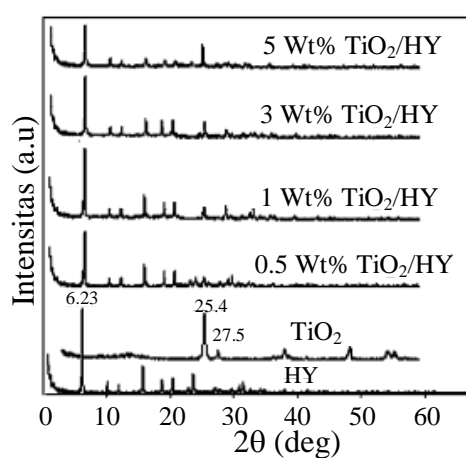
Zeolit mempunyai kerangka yang tersusun dari satuan-satuan tetrahedral  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  dan  $[\text{AlO}_4]^{5-}$  dengan atom oksigen sebagai penghubung antara atom silikon dan aluminium yang digabungkan secara tiga dimensi, ditunjukkan sebagai  $\text{TO}_4$ , T = Si atau Al. Penggabungan satuan tetrahedron satu dengan lainnya terjadi adanya pemakaian bersama satu atom oksigen oleh dua tetrahedral, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.7 tetrahedral  $[\text{AlO}_4]^{5-}$  bermuatan negatif, sehingga zeolit alam dan zeolit sintesis memerlukan kation logam alkali ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) dan atau alkali tanah ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ) sebagai pusat penyeimbang muatan untuk menjaga kenetralan muatan zeolit (Smart dan Moore, 1993).



Gambar 2.8 Struktur zeolit (Smart dan Moore, 1993)

Penelitian yang dilakukan oleh Poluakan dkk. (2015) menunjukkan bahwa sintesis  $\text{TiO}_2$ -zeolit sebagai fotokatalis mampu menurunkan kadar *remazol yellow*

secara adsorpsi-fotodegradasi dengan didapatkan Persentasi *remazol yellow* terdegradasi oleh  $\text{TiO}_2$ -zeolit yang tertinggi sebesar 83% pada konsentrasi awal 20 ppm. Sedangkan pada Shankar *et al.* (2006) melaporkan pada penelitian sebelumnya bahwa zeolit mampu menambah luas permukaan sehingga dapat memperkecil kemungkinan agregasi  $\text{TiO}_2$  pada permukaannya dan didapatkan kapasitas adsorpsi fotokatalis semakin besar. Hal ini dibuktikan dengan dilakukan karakterisasi menggunakan XRD dan didapatkan pola difraksi pada HY,  $\text{TiO}_2$ , dan HY teremban  $\text{TiO}_2$  seperti Gambar 2.9 yang menunjukkan puncak difraksi XRD dari bidang kristal (101) untuk anatase muncul pada  $2\theta = 25,4^\circ$  dan bidang kristal (110) untuk rutil muncul pada  $2\theta = 27,5^\circ$  dan intensitas puncak difraksi pada  $2\theta = 6,23^\circ$ .

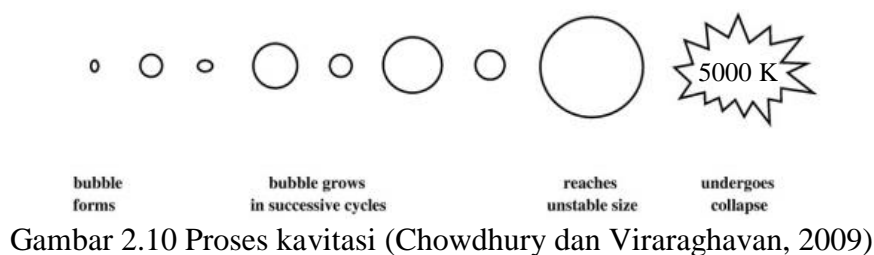


Gambar 2.9 Pola difraksi pada HY,  $\text{TiO}_2$ , dan HY- $\text{TiO}_2$

## 2.5 Sintesis $\text{TiO}_2$ -Zeolit Alam dengan Metode Sonikasi

Sonikasi merupakan suatu metode sintesis material dengan menggunakan energi suara (gelombang ultrasonik) sebagai sumber energi untuk mendorong perubahan sifat fisika dan kimia dalam medium cairan. Metode sonikasi telah banyak digunakan untuk sintesis berbagai oksida logam dan non logam dengan

memanfaatkan efek kavitasasi yang dapat memecah agregat kristal berukuran besar menjadi agregat kristal berukuran kecil hingga dapat berskala nano. Selain itu metodenya lebih mudah, laju reaksi lebih cepat, membutuhkan energi kecil dengan suhu rendah, tidak memerlukan katalis, dan hasilnya banyak (Lestari, 2012). Hal ini bertujuan untuk meningkatkan stabilitas nanofluida (Leena dan Srinivasan, 2015). Suara ultrasonik yang menjalar di dalam medium cair memiliki kemampuan menciptakan gelembung di dalam medium tersebut secara terus-menerus yang kemudian dengan cepat terjadi *implosion* atau biasa disebut dengan proses kavitasasi. Ilustrasi proses kavitasasi ditunjukkan pada Gambar 2.10.

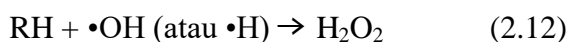
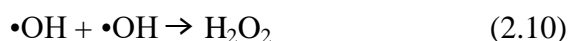


Gambar 2.10 Proses kavitasasi (Chowdhury dan Viraraghavan, 2009)

Kavitasasi akustik merupakan pembentukan, pertumbuhan, dan ledakan gelembung pada cairan yang didorong oleh fenomena fisik *ultrasound* intensitas tinggi. Tidak ada interaksi tingkat molekul secara langsung antara USG dan spesies kimia. Pada saat cairan diiradiasi dengan *ultrasound*, kavitasasi (pembentukan, pertumbuhan, dan kolapsnya gelembung) didorong oleh ultrasonik intensitas tinggi dari efek USG. Efek kimia dan fisik USG tidak timbul dari interaksi langsung antara spesies bahan kimia dan gelombang suara, melainkan dari fenomena fisik kavitasasi akustik (Teh, dkk., 2017). Kolaps gelembung selama

kavitasi menghasilkan pemanasan lokal yang intens sekitar 5000 K dan tekanan tinggi (1000 bar) dengan durasi yang sangat singkat (Bang dan Suslick, 2010).

Kavitasi terjadi pada rentang frekuensi yang sangat luas dari Hz hingga puluhan MHz. Viskositas cairan intrinsik mencegah terjadinya kavitasi di atas rentang frekuensi. Secara umum, pengaruh fisik dari USG (emulsifikasi dan kerusakan permukaan) lebih cenderung pada frekuensi rendah, sedangkan pemanasan gelembung kavitasi terjadi pada rentang frekuensi penuh. Iradiasi ultrasonik air dan pelarut organik menghasilkan radikal yang dapat bertindak sebagai agen perdukasi. Produk primer sonolisis dalam air adalah radikal bebas yang sangat tidak stabil  $\text{H}\cdot$  dan  $\text{OH}\cdot$ . Radikal tersebut akan bergabung kembali pada bentuk aslinya atau menghasilkan  $\text{H}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}_2$  seperti pada persamaan reaksi berikut (Teh, dkk., 2017):



Tingkat produksi radikal tergantung pada jumlah uap yang terperangkap dalam gelembung pada saat ledakan pertama dan puncak suhu yang dicapai selama tabrakan. Radikal bebas yang dihasilkan, selanjutnya dapat bereaksi satu sama lain membentuk molekul dan radikal baru atau berdifusi ke dalam cairan yang berfungsi sebagai oksidan (Teh, dkk., 2017). Metode sonokimia memiliki beberapa kelebihan (Suslick dan Price, 1999), yaitu:

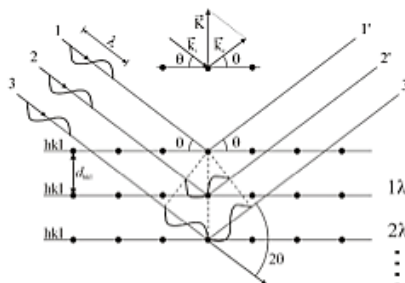
1. Waktu reaksi lebih cepat dan hasilnya lebih banyak,
2. Membutuhkan energi yang lebih kecil dengan temperatur reaksi rendah,
3. Memungkinkan reaksi intermediet/antara, untuk tahap reaksi berikutnya, misalnya tahap kalsinasi,
4. Reaksi tidak memerlukan katalis.

Penelitian yang dilakukan oleh Delmifiana dan Astuti (2013), telah berhasil mengendalikan bentuk maupun ukuran partikel ZnO, dengan ukuran partikel tanpa menggunakan sonikasi sebesar 57,8 nm. Sedangkan ukuran partikel pada saat menggunakan sonikasi sebesar 41,6 nm. Hidayanto, dkk. (2017) telah berhasil mensintesis nanopartikel TiO<sub>2</sub>-N dengan metode sonikasi pada frekuensi 24 kHz menghasilkan ukuran kristal sebesar 21,24 nm. Kemudian Zhang, dkk (2015) mensintesis nanopartikel TiO<sub>2</sub>-N dengan metode sonikasi pada frekuensi 28 kHz dengan ukuran kristal nanopartikel TiO<sub>2</sub>-N sebesar 20,85 nm.

### **2.5.1 Identifikasi Struktur dengan XRD (*X-Ray Diffraction*)**

Metode yang paling tepat dan akurat dalam menentukan struktur suatu padatan atau kristal adalah difraksi sinar-X (MacKay dkk, 2002). Difraksi sinar-X merupakan suatu metode analisis yang berperan dalam menentukan karakter mineral yang menyusun suatu kristal. Difraksi sinar-X dapat memperlihatkan distribusi kerapatan elektronik dari atom-atom penyusun suatu kristal dan memberikan data sudut-sudut difraksi tersebut (Glusker dan Trueblood, 1985). Selain itu, difraksi sinar-X dapat digunakan untuk mengidentifikasi pertumbuhan, perubahan, dan kerusakan kristal karena setiap kristal mempunyai pola difraksi

yang khas. Adanya sifat khas ini disebabkan setiap memiliki harga  $d$  dengan intensitas yang spesifik (Egerton, 2005).



Gambar 2.11 Difraksi sinar X

Suatu berkas sinar-X dengan panjang gelombang  $n\lambda$  jatuh pada kristal dengan sudut  $\theta$  terhadap permukaan bidang Bragg yang jarak antar bidangnya adalah  $d$ . Interferensi terjadi bila jarak antar sinar yang terdifraksi sejajar dan beda jarak jalan harus  $n$ , dengan  $n$  menyatakan bilangan bulat. Berkas sinar-X yang didifraksi oleh atom A dan atom B yang memenuhi persamaan yang disebut persamaan Bragg (*Bragg's Law*) (Glusker dan Trueblood, 1985).

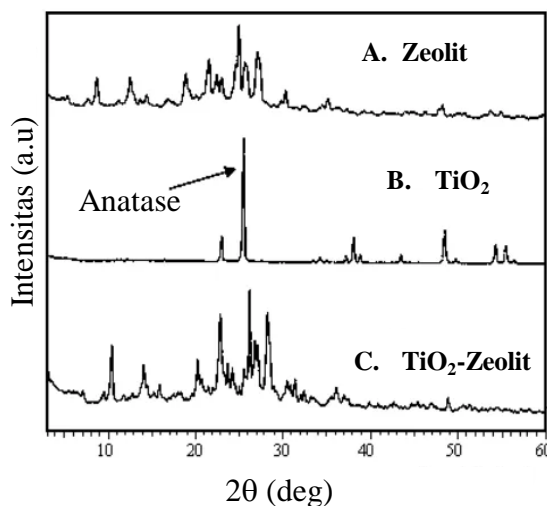
$$2d \sin\theta = n \lambda \quad \dots(2.1)$$

Keterangan :  $d$  = jarak antar bidang  
 $\theta$  = sudut difraksi  
 $n$  = orde (1,2,3,4,...,n)  
 $\lambda$  = panjang gelombang

Pola-pola difraksi disusun dalam kumpulan-kumpulan dan setiap tahun suatu kumpulan baru yang berisi kira-kira 2000 pola difraksi ditambahkan. Sistem ini meliputi pola-pola difraksi dari unsur, campuran logam (*alloys*), senyawa anorganik, mineral, fasa organik, dan organologam (Egerton, 2005).

Penelitian yang dilakukan oleh Utubira, *et al.*, (2010) menganalisis karakterisasi  $\text{TiO}_2$ -zeolit dengan instrumentasi XRD menghasilkan refleksi dengan intensitas yang tajam pada daerah  $2\theta = 13,50^\circ$ ;  $19,71^\circ$ ;  $25,70^\circ$ ;  $27,80^\circ$ ;

28,08° ( $d=6,55 \text{ \AA}$ ; 4,49  $\text{\AA}$ ; 3,46  $\text{\AA}$ ; 3,20  $\text{\AA}$ ; 3,17  $\text{\AA}$ ) merupakan karakteristik mineral mordenit (M), sedangkan refleksi dengan intensitas terbesar pada daerah  $2\theta = 9,85^\circ$  dan  $22,34^\circ$  ( $d= 8,96 \text{ \AA}$  dan 3,97  $\text{\AA}$ ) seperti Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Difraktogram (A) zeolit asal, (B) TiO<sub>2</sub>, dan (C) TiO<sub>2</sub>-zeolit (Utubira et al., 2010)

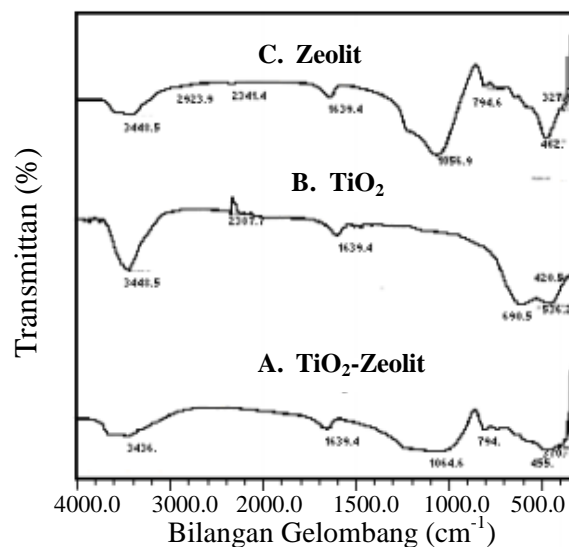
### 2.5.2 Identifikasi Gugus Fungsi dengan Spektrofotometer FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

Spektrofotometer FTIR merupakan teknik pengukuran yang menggunakan persamaan transformasi Fourier, yang digunakan untuk mengkonversi spektrum waktu ke spektrum frekuensi. Daerah radiasi spektrum infra merah (IR) berkisar pada bilangan gelombang 12800-10  $\text{cm}^{-1}$  dan umumnya yang digunakan adalah daerah IR tengah, dengan bilangan gelombang 4000-690  $\text{cm}^{-1}$  (Sunardi, 2008).

Molekul hanya menyerap frekuensi tertentu dari radiasi infra merah, untuk dapat mengabsorpsi, molekul harus memiliki perubahan momen dipol, sebagai akibat dari vibrasi. Perbedaan radiasi medan listrik berinteraksi dengan molekul menimbulkan perubahan amplitudo sebagian gerakan molekul. Setiap tipe ikatan

yang berbeda akan memiliki frekuensi vibrasi yang berbeda pula, maka tidak ada molekul yang berbeda strukturnya memiliki spektrum infra merah yang tepat sama (Sunardi, 2008).

Karakterisasi gugus fungsi yang menggunakan instrumentasi FTIR dilakukan Utubira *et al.*, (2010) terdapat pada Gambar 2.12 bahwa serapan pada bilangan gelombang  $3448,5 \text{ cm}^{-1}$  karakteristik untuk rentangan O-H oktahedral (O-H) regang) dari  $\text{H}_2\text{O}$  yang diperkuat oleh serapan pada bilangan gelombang  $1639,4 \text{ cm}^{-1}$  yang merupakan serapan deformasi dari  $\text{H}_2\text{O}$  (O-H tekuk). Serapan pada bilangan gelombang  $2992,7 \text{ cm}^{-1}$  merefleksikan adanya gugus C-H, karena daerah ini merupakan vibrasi ulur C-H. Gugus C-H ini diduga berasal dari pengotor senyawa organik yang tereperangkap dalam kerangka zeolit. Keberadaan pengotor senyawa organik ini akan hilang dengan pemanasan menggunakan microwave oven karena pengotor tersebut memiliki titik didih yang rendah. Serapan pada bilangan gelombang  $1056,9 \text{ cm}^{-1}$  dan  $794,6 \text{ cm}^{-1}$  merupakan serapan regangan asimetris dan asimetris eksternal O-Si-O atau O-Al-O. Serapan pada bilangan gelombang ( $\tilde{\nu}$ )  $462,9 \text{ cm}^{-1}$  adalah karakteristik ikatan Al-O dan Si-O bonding. Spektra menunjukkan adanya pergeseran serapan bilangan gelombang pada  $3436,9 \text{ cm}^{-1}$  yang merupakan serapan ikatan O-H regang yang menunjukkan terjadinya dehidrasi akibat proses pemanasan dengan microwave oven.



Gambar 2.13 Spektra FTIR (A) zeolit, (B)  $\text{TiO}_2$ , dan (C)  $\text{TiO}_2$ -zeolit (Utubira et al., 2010)

### 2.5.3 Identifikasi Energi Celah Pita dengan Spektrofotometer UV-Vis DRS (*Diffuse Reflectant Spectroscopy*)

Karakterisasi UV-Vis DRS digunakan untuk menentukan nilai celah energi titanium dioksida hasil sintesis. Prinsip spektrofotometer UV-Vis DRS berdasarkan teori Kubelka-Munk. Berdasarkan teori Kubelka-Munk, jika suatu lapisan material dengan ketebalan  $x$ , diradiasikan dengan sejumlah energi foton, maka material tersebut akan menyerap atau menghamburkan foton. Flux radiasi dapat berada dalam arah positif (I) atau negatif (J). Jika radiasi foton melewati lapisan material setebal  $dx$ , maka flux radiasi I, akan berkurang sebesar  $KIdx$  karena adanya absorpsi dan akan bertambah sebesar  $SIdx$  karena adanya hamburan (Torrent dan Barrón, 2015). Besarnya nilai intensitas yang sesuai dengan persamaan sebagai berikut (Gandjar dan Rohman, 2007):

$$I_0 = I_r + I_a + I_t \quad \dots(2.2)$$

Keterangan :  $I_0$  = intensitas sinar datang  
 $I_r$  = intensitas sinar yang direfleksikan  
 $I_a$  = intensitas sinar yang diabsorpsi  
 $I_t$  = intensitas sinar yang ditransmisi

*Diffuse Reflectant Spectra* (DRS) juga diturunkan secara empiris dengan persamaan Kubelka-Munk yang dimana ( $FR_\infty$ ) adalah faktor Kubelka-Munk (K-M).

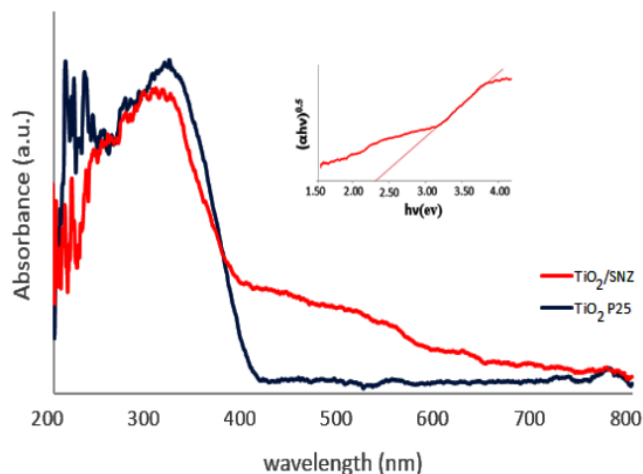
$$(FR_\infty) = \frac{(1-R_\infty)^2}{2R_\infty} = \frac{K}{S} \quad \dots(2.3)$$

Nilai  $F(R_\infty)$  mempunyai hubungan dengan energi foton melalui persamaan sebagai berikut dengan A adalah konstanta proporsional.

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

Dengan memplotkan nilai  $F(R)$  terhadap  $h\nu$  dan ekstrapolasi daerah liniernya, maka dapat ditentukan nilai  $h\nu$  pada  $F(R) = 0$  yang merupakan nilai energi celah dari material (Torrent & Barrón, 2015).

Saadati, *et al* (2016) melakukan karakterisasi fotokatalis  $TiO_2$ -zeolit alam menggunakan UV-Vis DRS yang ditunjukkan pada Gambar 2.14. Hasil tersebut menunjukkan bahwa katalis  $TiO_2$ -zeolit alam mampu menyerap sinar UV dan cahaya tampak dengan baik. Dapat dilihat bahwa sampel  $TiO_2$ /SNZ tidak seperti  $TiO_2$  P25 komersial yang menunjukkan absorbansi dalam kisaran yang terlihat yang menunjukkan potensinya untuk diaktifkan oleh cahaya tampak. Penentuan celah pita dari spektrum UV-Vis adalah salah satu metode untuk mempelajari modifikasi sifat elektronik dari spesies yang disintesis. Struktur pita energi adalah faktor kunci yang mempengaruhi aktivitas fotokatalitik.



Gambar 2.14 Spektra UV-Vis DRS sampel  $\text{TiO}_2$  P25 dan  $\text{TiO}_2$ -zeolit alam (Saadati, et al., 2016)

Karena zeolit pada umumnya tidak menyerap cahaya apa pun di daerah UV-Vis, maka zeolit menjadi salah satu material pendukung yang cocok untuk fotokatalisis. Hasil tren yang jelas dalam mengurangi celah pita komersial  $\text{TiO}_2$  P25 dari 3,2 hingga 2,4 eV untuk  $\text{TiO}_2$  yang didukung zeolit alam. Hal ini membuktikan bahwa ukuran partikel  $\text{TiO}_2$  yang disangga pada zeolit alam lebih besar daripada  $\text{TiO}_2$  komersial yang digunakan dalam penelitian ini (efek ukuran kuantum). Selanjutnya, zeolit mendelokalisi elektron tereksitasi celah pita dari  $\text{TiO}_2$  dengan demikian dapat meminimalkan rekombinasi elektron/lubang (Saadati, *et al.*, 2016).

## 2.6 Penentuan pH Optimum dan Efektivitas Penambahan $\text{H}_2\text{O}_2$ terhadap Fotodegradasi Metil Violet

Efektivitas fotodegradasi dipengaruhi oleh banyak faktor, di antaranya yaitu variasi pH dan penambahan efektivitas  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Nilai pH adalah salah satu parameter terpenting dalam fotodegradasi senyawa organik (Yang, *et al.*, 2015).

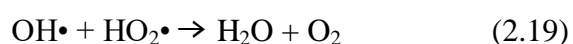
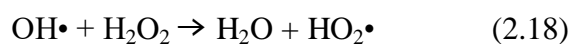
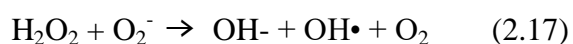
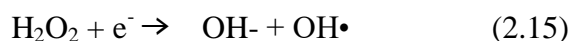
Oleh karena itu, efek pH pada degradasi metil violet dipelajari pada kisaran pH 3,5-7,5 (Yang, *et al.*, 2013). Besar kecilnya pH mempengaruhi adsorpsi zat warna pada permukaan TiO<sub>2</sub>, di mana proses adsorpsi zat warna pada permukaan material fotokatalis ini merupakan tahapan penting dalam proses fotodegradasi (Purnawan, dkk., 2011). Hal ini disebabkan pada kondisi asam, permukaan TiO<sub>2</sub> bermuatan positif dan sebaliknya pada kondisi basa, permukaan TiO<sub>2</sub> bermuatan negatif sebagaimana yang terlihat pada persamaan reaksi (Andari dan Wardhani, 2014).



Pada penelitian yang dilakukan oleh Sanjaya dkk. (2018) dengan sampel metil violet menggunakan fotokatalis ZnO-TiO<sub>2</sub> dengan variasi pH (3; 4; 5; 6; 7; dan 8) dan didapatkan pH optimum pada pH 6 dengan persen degradasi sebesar 99,2857%. Meningkatnya persen degradasi dari pH 3-6 disebabkan ketika pH dinaikkan maka permukaan katalis ZnO akan bermuatan negatif oleh ion hidroksil yang teradsorpsi yang mempromosikan pembentukan OH• sehingga laju degradasi meningkat (Suhail, *et al.*, 2015). Pada pH asam (pH 7-8) mengalami penurunan persen degradasi metil violet sebesar 99,2857%-97,1429%. Hal ini disebabkan karena pada pH asam terjadi adsorpsi yang tinggi dari metil violet pada katalis ZnO sehingga menghambat penyerapan sinar UV pada katalis yang menyebabkan OH• yang dihasilkan berkurang (Dini dan Wardhani, 2014; Sanjaya dkk., 2018). Pada penelitian lainnya yang dilakukan oleh Yang *et al.* (2013) menunjukkan bahwa pH optimum metil violet dengan menggunakan fotokatalis TiSiW<sub>12</sub>O<sub>40</sub>/TiO<sub>2</sub> didapatkan pH optimum sebesar 5,5. Hal ini dapat dianggap

berasal dari fakta bahwa nilai pH dapat mempengaruhi jumlah radikal hidroksil ( $\text{OH}\cdot$ ) yang terbentuk dan kestabilan  $\text{H}_4\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}$ . Penelitian yang dilakukan oleh Purnawan dkk. (2011) dengan sampel *remazol yellow* menggunakan fotokatalis  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  dengan variasi pH (3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; dan 10) menunjukkan bahwa pH larutan berpengaruh signifikan terhadap tingkat fotodegradasi zat warna *remazol yellow* dan didapatkan pH optimumnya pada pH 3. Dapat disimpulkan pada penelitian ini bahwa semakin rendah pH larutan maka fotodegradasi *remazol yellow* semakin besar.

Adanya  $\text{H}_2\text{O}_2$  sebagai oksidator dalam pembentukan radikal hidroksil pada seluruh proses oksidasi senyawa organik (Fatimah *et al.*, 2014). Penambahan  $\text{H}_2\text{O}_2$  juga dapat meningkatkan konsentrasi radikal hidroksil. Hal ini dikarenakan semakin banyak  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang digunakan dapat mengikat elektron ( $e^-$ ) dari pita valensi ke pita konduksi sehingga terjadi pemisahan muatan ( $e^-$ ) dan ( $h^+$ ) dan berfungsi membentuk radikal (Suhernadi dkk., 2014). Reaksi yang terjadi yaitu (Suhernadi dkk., 2014; Czech, 2009):



Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Suhernadi dkk. (2014) pada proses degradasi zat warna *methylene blue* dengan fotokatalis  $\text{TiO}_2$ -bentonit didapatkan hasil fotodegradasi dengan penambahan  $\text{H}_2\text{O}_2$  sebesar 93,93% dan lama penyinaran optimum selama 60 menit. Hal ini dikarenakan jika penambahan

$\text{H}_2\text{O}_2$  yang ditambahkan dalam larutan berlebih, maka akan terbentuknya radikal  $\text{HO}_2\cdot$  yang kurang reaktif dibandingkan radikal  $\cdot\text{OH}$ . Jumlah  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang berlebih dapat bereaksi dengan  $\text{OH}\cdot$  dapat menghasilkan  $\text{HO}_2\cdot$ .  $\text{HO}_2\cdot$  dapat bereaksi dengan  $\text{HO}\cdot$ . Hal ini menyebabkan  $\text{HO}\cdot$  berkurang sehingga *methylene blue* yang terdegradasi mengalami penurunan. Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Rini dkk. (2019) dengan zat warna *naphthol* dengan fotokatalis  $\text{TiO}_2$  dengan variasi konsentrasi  $\text{H}_2\text{O}_2$  (5%; 10%; 15%; 20%; 25%; dan 30%) didapatkan hasil penambahan konsentrasi  $\text{H}_2\text{O}_2$  terbaik pada konsentrasi 15% dengan hasil fotodegradasi sebesar 39,8339% dan tanpa penambahan  $\text{H}_2\text{O}_2$  didapatkan hasil fotodegradasi sebesar 28,4842%. Berdasarkan data yang diperoleh menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang ditambahkan ke dalam larutan zat warna, maka akan semakin besar *naphthol* yang terdegradasi. Akan tetapi pada konsentrasi  $\text{H}_2\text{O}_2$  20% ; 25% dan 30% semakin mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena semakin besar konsentrasi  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang ditambahkan akan terbentuk radikal  $\cdot\text{HO}_2$  yang kurang reaktif dibandingkan radikal  $\cdot\text{OH}$ . Hal tersebut menyebabkan  $\cdot\text{OH}$  berkurang sehingga *naphthol* yang terdegradasi mengalami penurunan.

## **2.7 Perspektif Islam terhadap Fotokatalisis sebagai Pengolah Limbah Cair**

Limbah industri adalah material sisa atau material yang sudah tidak terpakai lagi yang berasal dari kegiatan industri. Limbah ini mengakibatkan pencemaran lingkungan, sehingga berdampak pada rusaknya tatanan kebersihan lingkungan masyarakat. Limbah industri juga menjadi problematika serius yang dialami masyarakat zaman industri ini. Semakin berkembangnya zaman tentu akan

semakin banyak industri yang berdiri, bahkan skalanya pun sudah mulai berkembang menjadi lebih besar dan modern. Ditambah dengan meningkatnya jumlah penduduk, maka semakin meningkat pula kebutuhan. Sehingga banyak pengembang industri yang berlomba-lomba agar mampu memenuhi permintaan pasar. Dan hal itu juga berefek besar pada produksi limbah industri yang dihasilkan oleh industri (Berliano *et al.*, 2020).

Menurut Zuhdi (2012), munculnya polusi yang mengakibatkan krisis lingkungan hidup menyebabkan para pakar dari berbagai disiplin ilmu mencurahkan perhatian untuk membahas dan meneliti dampak yang diakibatkan oleh kemajuan teknologi dan industri yang telah meracuni udara, air, tanah, dan tumbuh-tumbuhan. Polusi ini selanjutnya memengaruhi fisik manusia melalui makanan dan minuman yang telah tercemar oleh bahan-bahan kimia buatan.

Oleh karena itu, manusia diberi amanah untuk menciptakan kemakmuran dan dilarang untuk membuat kerusakan di muka bumi. Sejalan dengan hal tersebut, Allah berfirman dalam Al-Qur'an Surah al-A'raf ayat 56:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ

Artinya: “Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya dan Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah Amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik.”(Q.S. al-A'raf: 56).

Allah melarang berbuat kerusakan setelah bumi ini baik. Karena jika segala perkara telah ditata, lalu dirusak maka akan sangat membahayakan. Alam telah Allah ciptakan dalam keadaan yang sangat harmonis, serasi, dan sebagai

pusat kehidupan. Ia telah menjadikannya baik, merusak setelah diperbaiki jauh lebih buruk daripada merusaknya sebelum diperbaiki atau pada saat dia buruk. Ayat ini secara tegas menggarisbawahi larangan tersebut (Nasrullah dan Khairullah, 2020).

Salah satu cara untuk menghindari bencana yang diakibatkan oleh pencemaran air karena limbah zat warna yaitu dengan menggunakan fotokatalis untuk mendegradasi limbah zat warna. Salah satu fotokatalis yang bisa digunakan yaitu berasal dari mineral alam. Sebagai salah satu mineral alam yang keberadaannya melimpah di alam, zeolit telah disediakan oleh Allah Swt. dengan berbagai manfaat yang terkandung di dalamnya terutama untuk kehidupan manusia. Perkembangan pemanfaatan zeolit sampai saat ini telah banyak dilakukan diberbagai sektor atau bidang kehidupan, diantaranya perikanan, peternakan, industri, dan beberapa sektor lainnya. Sifat fisika dan kimia dari zeolit yang unik, sehingga para peneliti menggunakan zeolit sebagai mineral serba guna. Sifat-sifat unik tersebut meliputi dehidrasi, adsorben dan penyaring molekul, katalisator, dan penukar ion yang dapat dimanfaatkan dalam banyak bidang seperti pertanian, peternakan, perikanan, sumber daya energi, dan industri (Rahman dan Hartono, 2004). Hal ini sangat berkaitan dengan Firman Allah SWT yang menunjukkan kekuasaan-Nya kepada *ulul albab* atau manusia yang berakal dalam Q.S. Ali Imran ayat 190-191:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لآيَاتٍ لِأُولِي الْأَبْصَارِ . الَّذِينَ  
يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَامًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا  
خَلَقْتَ هَذَا بَاطِلًا سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ

Artinya: “*Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang berakal. (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): “Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha Suci Engkau, maka peliharalah kami dari siksa neraka.”* (Q.S. Ali Imran: 190-191).

Ayat ini merupakan petunjuk Allah Swt. kepada manusia bahwa sesungguhnya tidak ada sesuatu yang diciptakan didunia ini dengan sia-sia, pada ayat *maa kholaqta hadza* yang berarti “sesuatu yang diciptakan” diiringi dengan ayat *bathilaan* yang berarti “sia-sia” dan hendaklah kita sebagai manusia senantiasa menjaga, merawat, bahkan memanfaatkannya. Ayat tersebut menjelaskan bahwa Allah Swt. menciptakan sesuatu di langit, di bumi, dan di antara keduanya sesungguhnya memiliki manfaat dan tujuan yang benar, termasuk juga mineral alam seperti zeolit yang merupakan salah satu ciptaan Allah Swt. yang memiliki banyak sekali manfaat, sebagai manusia yang *ulul albab* yaitu manusia yang berakal, sudah semestinya untuk menggunakan pikirannya untuk selalu mengambil manfaat dari setiap apapun yang Allah Swt ciptakan di dunia ini.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2022-Mei 2023 di Laboratorium Kimia Anorganik Riset dan Laboratorium Instrumentasi Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

#### **3.2 Alat dan Bahan**

##### **3.2.1 Alat**

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat gelas, *hot plate*, *magnetic stirrer*, neraca analitik, oven, sonikator BRANSON 3510, lampu UVA (380-315 nm), instrumentasi XRD, Spektrofotometer FTIR, Spektrofotometer UV-Vis DRS dan Spektrofotometer UV-Vis.

##### **3.2.2 Bahan**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah zat warna metil violet 10B (Merck), serbuk TiO<sub>2</sub> tipe anatas (Sigma Aldrich, 97%), zeolit alam, HCl 6 M (Merck), HCl 0,01 M (Merck), larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (SmartLab) dengan berbagai konsentrasi, pH universal (Merck), akuades dan akuademineralisasi (aquadem).

### 3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik struktur, modus vibrasi dan energi celah pita  $\text{TiO}_2$  yang dilapiskan dengan zeolit menggunakan metode sonikasi.  $\text{TiO}_2$ -zeolit alam kemudian dikarakterisasi struktur dengan instrumen XRD, modus vibrasi dengan spektrofotometer FTIR dan energi celah pita dengan spektrofotometer UV-Vis DRS. Fotokatalis  $\text{TiO}_2$ -zeolit alam digunakan untuk fotodegradasi zat warna metil violet dengan konsentrasi 50 ppm. Fotodegradasi dilakukan dengan variasi konsentrasi  $\text{H}_2\text{O}_2$  sebesar 10%, 15%, 20%, dan 25% serta rentang pH sebesar 3, 5, 7 dan 9 dengan masing-masing 25 mL larutan metil violet yang ditampilkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Rancangan penelitian uji efektivitas fotodegradasi metil violet

Variasi Konsentrasi $\text{H}_2\text{O}_2$	Variasi pH
10 %	3
15%	5
20%	7
25%	

### 3.4 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan yaitu:

1. Preparasi dan aktivasi zeolit alam.
2. Sintesis  $\text{TiO}_2$ -zeolit alam menggunakan metode sonikasi.
3. Karakterisasi hasil sintesis  $\text{TiO}_2$ -zeolit alam menggunakan XRD, spektrofotometer FTIR dan spektrofotometer UV-Vis DRS.
4. Fotodegradasi metil violet menggunakan  $\text{TiO}_2$ -zeolit alam dengan pH optimum dan penambahan  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

5. Uji aktivitas fotodegradasi metil violet dilakukan dengan menggunakan instrumentasi Spektrofotometer UV-Vis.
6. Analisis data.

### **3.5 Prosedur Penelitian**

#### **3.5.1 Preparasi Zeolit**

Zeolit alam diayak sebanyak 100 gr hingga lolos penyaringan sebesar 200 mesh. Kemudian dimasukkan dalam erlenmeyer dan dilarutkan dengan 200 mL akuades. Sampel zeolit alam diaduk dengan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 120 rpm selama 30 menit. Setelah itu, sampel disaring dan dikeringkan pada suhu 100 °C menggunakan oven selama 2 jam. Sampel kemudian didesikator selama 30 menit dan ditimbang hingga berat konstan.

#### **3.5.2 Aktivasi Zeolit**

30 gr zeolit alam preparasi direndam menggunakan 60 mL HCl 6 M dalam erlenmeyer dengan kecepatan 120 rpm selama 4 jam. Kemudian endapannya disaring dan dicuci dengan akuades sampai pH netral. Sampel zeolit alam dikeringkan selama 2 jam pada suhu 100 °C dan dikalsinasi pada suhu 550 °C selama 5 jam. Sampel kemudian didesikator selama 30 menit lalu ditimbang hingga berat konstan.

#### **3.5.3 Sintesis TiO<sub>2</sub>-Zeolit Alam dengan Metode Sonikasi**

Serbuk TiO<sub>2</sub> ditimbang sebanyak 1,8 gram dan zeolit alam ditimbang sebanyak 3 gram dan diimpregnasi dengan mortar agate selama 1 jam, kemudian

campuran TiO<sub>2</sub>-zeolit alam dimasukkan ke dalam *beaker glass* 100 mL dan disuspensikan ke dalam 48 mL etanol 96%. Selanjutnya, sampel disonikasi selama 30 menit pada sonikator dengan frekuensi 20 kHz. Suspensi dikeringkan ke dalam oven pada suhu 110 °C selama 2 jam untuk proses dehidrasi dan dikalsinasi menggunakan tanur pada suhu 550 °C selama 4 jam.

### 3.5.4 Karakterisasi Hasil Sintesis TiO<sub>2</sub>-Zeolit Alam

#### 3.5.4.1 Karakterisasi dengan XRD

Difraksi sinar-X digunakan untuk mengidentifikasi fasa dan menentukan kiralinitas sampel. Difraktometer yang digunakan adalah XRD, merk Philip, tipe: X'pert Pro. Pengukuran dilakukan dengan Cu sebagai logam target, teisi generator 40 kV dan arus 30 mA, sehingga dihasilkan radiasi Cu-K $\alpha$ . Pola difraksi sinar-X merepresentasikan intensitas puncak difraksi sebagai fungsi dari sudut  $2\theta$  pada rentang 5-90°.

Data yang diperoleh dari karakterisasi dengan XRD adalah difaktogram yang akan dibandingkan dengan standar JCPDS-TiO<sub>2</sub> anatas (JCPDS No. 211272) untuk mengetahui karakteristik dari TiO<sub>2</sub> setelah diimbangkan pada zeolit. Berdasarkan difaktogram yang diperoleh dari hasil difraksi sinar, maka ukuran partikel rata-rata TiO<sub>2</sub> hasil sintesis dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan Debye-Scherrer pada persamaan 3.1.

$$D = (K \lambda) / (\beta \cos \theta) \quad \dots(3.1)$$

Dengan  $D$  adalah ukuran partikel (nm),  $\lambda$  adalah panjang gelombang radiasi,  $K$  adalah konstanta (0,9), dan  $\beta$  adalah luas setengah puncak *Full Width at Half Maximum* (FWHM, radian).

#### **3.5.4.2 Karakterisasi dengan Spektrofotometer FTIR**

Karakterisasi dengan FTIR dilakukan terhadap TiO<sub>2</sub>-zeolit alam hasil sintesis dan senyawa. Mula-mula cuplikan dihaluskan hingga menjadi serbuk yang halus menggunakan mortar agate dengan dicampurkan padatan KBr, kemudian ditempatkan pada preparat dan ditekan dengan alat pressing untuk membentuk pelet. Selanjutnya ditempatkan pada sample holder dan dianalisa menggunakan FTIR.

#### **3.5.4.3 Karakterisasi dengan Spektrofotometer UV-Vis DRS**

Karakterisasi dengan spektrofotometer UV-Vis DRS dilakukan untuk mengetahui karakter serapan sinar dari material hasil sintesis didaerah ultraviolet dan sinar tampak. Dari data DRS juga dapat ditentukan energi celah pita material hasil sintesis. Sampel yang akan dikarakterisasi dalam bentuk serbuk halus ditempatkan pada *sample holder* kemudian diukur persentase reflektansinya pada rentang panjang gelombang 200-600 nm.

### **3.5.5 Pembuatan Larutan Standar dan Sampel Metil Violet**

#### **3.5.5.1 Pembuatan Larutan Induk Metil Violet 100 ppm**

Pembuatan larutan induk metil violet (pH 6) dapat dilakukan dengan melarutkan sebanyak 0,01 g metil violet dan ditambahkan dengan 20 mL akuades pada beaker glass. Kemudian ditandabatkan pada labu ukur 100 mL dan dihomogenkan. Sehingga diperoleh larutan induk metil violet 100 ppm.

#### **3.5.5.2 Pembuatan Larutan Standar Metil Violet**

Larutan induk metil violet 100 ppm diambil dengan pipet ukur sebanyak 0,50; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0 dan 10,0 mL ke dalam labu ukur 50 mL sampai tanda batas

dan dihomogenkan (pH 6), sehingga diperoleh larutan metil violet dengan konsentrasi 0,5; 1; 2; 4; 8 dan 10 ppm.

### **3.5.5.3 Pembuatan Larutan Sampel Metil Violet**

Diambil larutan induk metil violet 100 ppm secara kuantitatif sebanyak 5,0 mL dengan pipet ukur, kemudian dipindahkan ke dalam labu ukur 50 mL dan dihomogenkan sampai tanda batas (pH 6), sehingga diperoleh larutan sampel metil violet dengan konsentrasi 10 ppm.

### **3.5.6 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum**

Larutan sampel dan standar metil violet yang telah dibuat diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis, sehingga diperoleh panjang gelombang maksimumnya. Panjang gelombang maksimum diperoleh dari nilai absorbansi tertinggi. Sebelum pengukuran sampel dengan spektrofotometer UV-Vis, perlu dilakukan pengukuran blanko dengan akuades. Panjang gelombang maksimum metil violet dilakukan pada rentang 400-600 nm.

### **3.5.7 Pembuatan Kurva Standar**

Larutan standar metil violet yang telah dibuat diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum yang telah diperoleh. Absorbansi yang diperoleh dari masing-masing larutan standar dibuat kurva kalibrasi dengan sumbu x sebagai konsentrasi larutan standar (ppm) dan sumbu y sebagai absorbansi yang dihasilkan oleh larutan standar. Dari grafik didapatkan persamaan regresi linier  $y = bx + a$ .

### **3.5.8 Uji Degradasi Metil Violet menggunakan TiO<sub>2</sub>-Zeolit Alam**

#### **3.5.8.1 Penentuan pH Optimum pada Fotodegradasi Metil Violet**

Uji aktivitas degradasi dilakukan dengan disiapkan *beaker glass* 50 mL dan dilakukan secara triplo. Masing-masing beaker glass diisi dengan 25 mL larutan metil violet 10 ppm dengan campuran 20 mg katalis TiO<sub>2</sub>-zeolit yang telah diatur pH dengan menggunakan larutan HCl 0,01 M menjadi pH 3, 5, dan 7. Larutan campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer* kemudian disinari dengan reaktor UV dengan menggunakan lampu UVA (380 nm) selama 150 menit. Setelah itu, larutan di sentrifugasi dan diambil filtrat. Kemudian diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang optimum.

#### **3.5.8.2 Penentuan Efektivitas Penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pada Fotodegradasi Metil Violet**

Uji aktivitas degradasi dilakukan dengan disiapkan *beaker glass* 50 mL dan dilakukan secara triplo. Masing-masing diisi dengan 25 mL larutan metil violet dan ditambahkan 20 mg TiO<sub>2</sub>-zeolit. Kemudian ditambahkan 1 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dengan variasi konsentrasi 10%, 15%, 20%, dan 25%. Larutan campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer* kemudian disinari dengan reaktor UV dengan menggunakan lampu UVA (380 nm) selama 150 menit. Setelah itu, larutan di sentrifuge dan diambil filtrat. Kemudian diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang optimum.

### 3.5.8.3 Uji Efektivitas Fotodegradasi Metil Violet

Pengujian dilakukan untuk mengetahui efektivitas fotodegradasi metil violet, dilakukan uji kontrol dengan beberapa kondisi pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Uji kontrol uji efektivitas fotodegradasi metil violet

<b>pH dan Efektivitas H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Optimum</b>
Tanpa Katalis dengan cahaya
TiO <sub>2</sub>
Zeolit alam aktivasi
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
TiO <sub>2</sub> -zeolit alam

Masing-masing dimasukkan kedalam *beaker glass* 25 mL pada kondisi pH dan konsentrasi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> optimum dengan waktu degradasi 150 menit kemudian disentrifugasi dan diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum metil violet.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini dilakukan sintesis fotokatalis TiO<sub>2</sub>-zeolit alam dalam mendegradasi metil violet menggunakan metode sonikasi. Hasil sintesis TiO<sub>2</sub>-zeolit alam dikarakterisasi dengan instrumentasi XRD untuk mengetahui fasa dan ukuran kristal senyawa, FTIR untuk mengetahui gugus fungsi senyawa, dan UV-Vis DRS untuk mengetahui nilai energi celah pita pada hasil sintesis. Kemudian dilakukan uji degradasi pada metil violet dengan fotokatalis TiO<sub>2</sub>-zeolit alam dengan variasi pH dan efektivitas H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

#### 4.1 Preparasi dan Aktivasi Zeolit Alam

Preparasi zeolit alam dilakukan dengan cara mencuci zeolit alam yang telah dihaluskan. Menurut Hartati (2007), penghalusan zeolit alam bertujuan untuk memperoleh ukuran partikel yang halus dan homogen. Dengan ukuran partikel yang halus, luas permukaannya akan meningkat. Zeolit alam hasil ayakan kemudian dicuci menggunakan akuades dan diaduk dengan *magnetic stirrer* untuk mempercepat proses pelarutan pengotor yang larut dengan akuades dan membuka pori-pori zeolit alam. Kemudian zeolit alam dikeringkan dengan oven pada suhu 100°C selama 2 jam yang bertujuan untuk mengurangi kadar air dalam zeolit dan mengkristalkan garam pada permukaan pori-pori.

Aktivasi zeolit alam bertujuan untuk memperluas pori-pori zeolit aktif sehingga pori-pori zeolit alam semakin besar. Aktivasi zeolit alam dilakukan dengan penambahan HCl 6 M bertujuan untuk membersihkan permukaan pori-

pori zeolit, mengurangi ion pengotor, dan mengatur kembali tata letak atom yang dapat dipertukarkan. Kemudian zeolit alam dicuci dengan akuades yang bertujuan untuk membuat pH filtrat hasil penyaringan zeolit alam menjadi netral dan dilanjutkan dengan pengeringan dalam oven pada suhu  $100^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam untuk mengurangi kadar pelarut dan pengotor lainnya. Kalsinasi dilakukan pada suhu  $550^{\circ}\text{C}$  selama 5 jam untuk mendekomposisi senyawa organik dan membentuk fasa kristal. Terjadi perubahan warna pada zeolit alam sebelum dan sesudah diaktivasi yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.

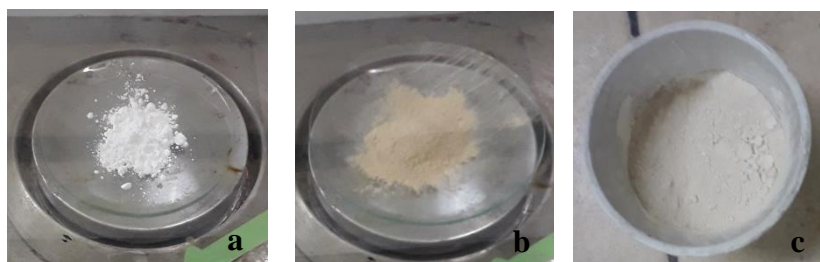


Gambar 4.1 Zeolit sebelum aktivasi (a) dan zeolit setelah aktivasi (b)

#### 4.2 Sintesis $\text{TiO}_2$ -Zeolit Alam dengan Metode Sonikasi

Sintesis  $\text{TiO}_2$ -zeolit alam dilakukan dengan mencampurkan  $\text{TiO}_2$  dan zeolit alam dengan cara diimpregnasi menggunakan mortar *agate* untuk meningkatkan luas permukaan partikel sehingga kontak atau reaksi antar partikel akan semakin cepat dan meminimalisir kontak partikel dengan wadah krusibel. Sintesis  $\text{TiO}_2$ -zeolit alam dilakukan dengan metode sonikasi. Metode sonikasi digunakan karena dapat menghasilkan ukuran partikel yang sangat kecil (Suslick, *et al.*, 1987). Kemudian ditambahkan etanol p.a yang berfungsi sebagai medium cair dan tidak dapat melarutkan  $\text{TiO}_2$ . Medium cair yang digunakan dalam

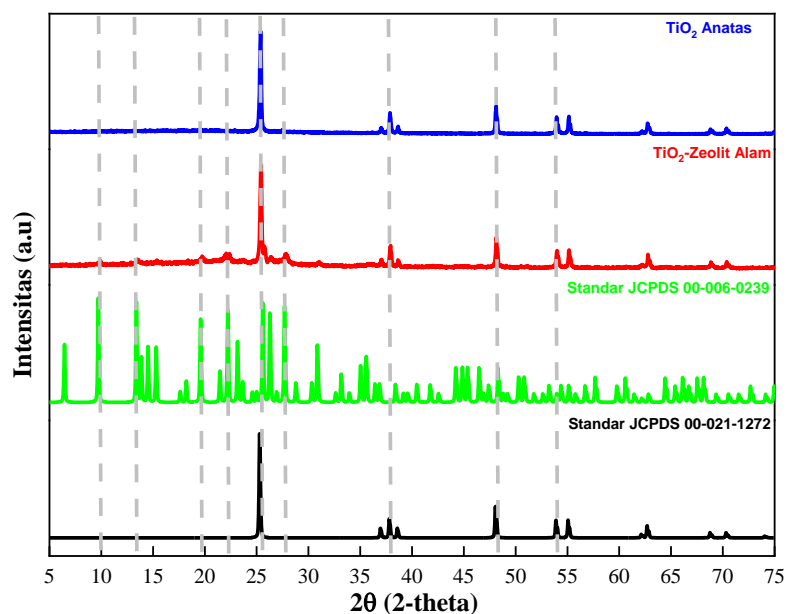
sonikasi adalah senyawa yang mudah volatil (menguap) dan bersifat tidak melarutkan bahan. Hasil sintesis mengalami perubahan warna dengan hasil pencampuran antara  $\text{TiO}_2$  berwarna putih dan zeolit alam berwarna kuning kecoklatan yang menghasilkan warna putih seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2  $\text{TiO}_2$  (a), zeolit aktivasi (b) dan hasil sintesis  $\text{TiO}_2$ -zeolit alam (c)

### 4.3 Karakterisasi Hasil Sintesis $\text{TiO}_2$ -Zeolit Alam

Karakterisasi hasil sintesis  $\text{TiO}_2$ -zeolit alam menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) menggunakan radiasi monokromator sinar X Cu ( $1,54060 \text{ \AA}$ ) dengan voltase 30 kV dengan *scanning* dilakukan pada sudut  $2\theta$  (deg) =  $3-90^\circ$ . Pola difraksi fotokatalis  $\text{TiO}_2$ -zeolit alam ditunjukkan pada Gambar 4.3.



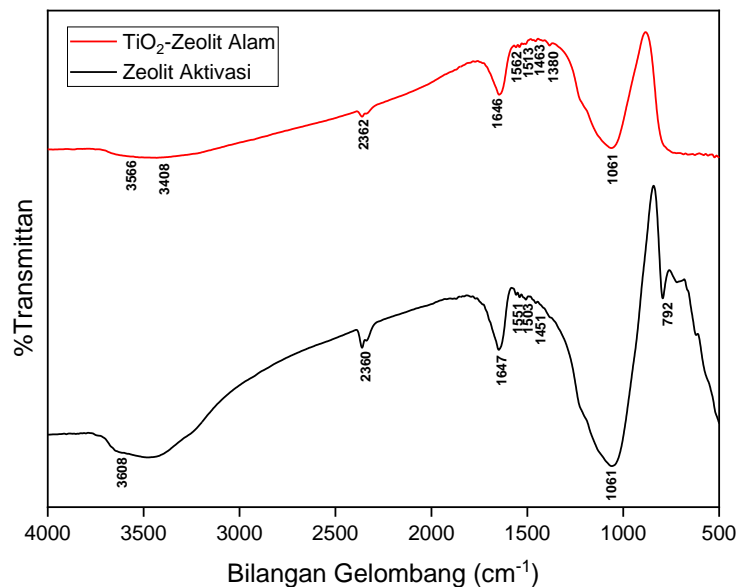
Gambar 4.3 Difraktogram hasil  $\text{TiO}_2$ -zeolit alam

Berdasarkan Gambar 4.3 yang menunjukkan bahwa fotokatalis TiO<sub>2</sub>-zeolit alam memiliki puncak khas dengan nilai intensitas tertinggi pada posisi  $2\theta = 25,356^\circ$ . Hal ini sesuai dengan standar JCPDS TiO<sub>2</sub> anatase (no. 00-021-1272) yang menunjukkan puncak khas dengan nilai intensitas yang tajam pada posisi  $2\theta = 25,271^\circ$ . Hasil tersebut juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Agusriyanti dan Pedy (2015) bahwa TiO<sub>2</sub> anatase memiliki puncak khas dengan nilai tertinggi pada posisi  $2\theta = 25,38^\circ$ . Sehingga dapat diketahui bahwa pola difraksi sampel fotokatalis TiO<sub>2</sub>-zeolit alam memiliki fasa anatase. Pada fotokatalis TiO<sub>2</sub>-zeolit juga muncul beberapa puncak yang khas yang menandakan adanya zeolit alam yaitu pada posisi  $2\theta = 13,539^\circ, 22,162^\circ, 25,027^\circ, 27,904^\circ$  dan  $37,702^\circ$ . Puncak-puncak tersebut sesuai dengan dengan standar JCPDS zeolit alam (no. 00-006-0239) yang menunjukkan bahwa puncak-puncak khas pada sampel fotokatalis TiO<sub>2</sub>-zeolit alam memiliki jenis mordenit. Difraktogram TiO<sub>2</sub>-zeolit alam menunjukkan adanya perbedaan puncak pada  $2\theta = 27,904^\circ$ . Hasil sintesis TiO<sub>2</sub>-zeolit alam memiliki puncak yang sama dengan standar JCPDS zeolit alam sehingga dapat disimpulkan bahwa proses sintesis TiO<sub>2</sub> dengan zeolit alam berhasil.

Karakterisasi menggunakan spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dilakukan pada panjang gelombang 4000-400 cm<sup>-1</sup>. Hasil spektra FTIR fotokatalis TiO<sub>2</sub>-zeolit alam ditunjukkan pada Gambar 4.4. Berdasarkan spektra menunjukkan karakteristik zeolit alam pada serapan bilangan gelombang 3608, 1647, 1061, dan 792 cm<sup>-1</sup>. Pada panjang gelombang 3608 cm<sup>-1</sup> merupakan serapan vibrasi ulur O-H pada zeolit yang kemudian yang diperkuat pada bilangan gelombang 1647 cm<sup>-1</sup> yang merupakan vibrasi tekuk O-H dan 1061 cm<sup>-1</sup>

merupakan dari vibrasi ulur asimetris Si-O-Si. Pada serapan bilangan gelombang  $792\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan vibrasi ulur simetris eksternal O-Ti-O (T= Si dan Al). Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Sene, *et al* (2017) yang menyatakan bahwa serapan ini berkaitan dengan ikatan internal struktur tetrahedral  $\text{TO}_4$  pada kisi zeolit (T = Si atau Al). Penurunan Si/Al dapat diketahui pada serapan bilangan gelombang  $1061\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan sifat serapan dari Si-O-Si, yang dimana serapan tersebut merupakan ikatan Si yang mengikat Si yang lainnya. Kemudian serapan  $795\text{ cm}^{-1}$  merupakan regangan asimetris eksternal dari O-Al-O serta pada serapan bilangan gelombang  $405\text{-}470\text{ cm}^{-1}$  merupakan Si-O-Si tekuk.

Spektra FTIR pada  $\text{TiO}_2$ -zeolit alam mengalami pergeseran pada bilangan gelombang  $3566\text{-}3408\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan serapan vibrasi ulur O-H. Dari hasil analisis FTIR terlihat bahwa ada penurunan serapan vibrasi ulur O-H pada  $\text{TiO}_2$ -zeolit alam yang menunjukkan terjadinya dehidrasi akibat proses kalsinasi. Pada bilangan gelombang  $1646\text{ cm}^{-1}$  merupakan vibrasi tekuk O-H. Terbentuknya  $\text{TiO}_2$  pada permukaan zeolit alam baik eksternal maupun internal dapat diketahui pada bilangan gelombang  $2337\text{-}2362\text{ cm}^{-1}$ . Serapan pada bilangan gelombang  $451\text{-}423\text{ cm}^{-1}$  merupakan daerah serapan dari Si-O-Si tekuk.



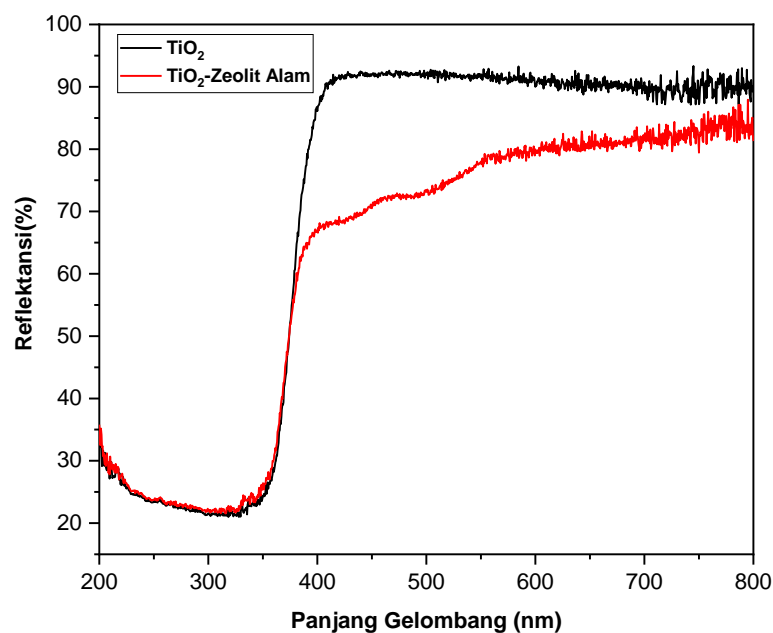
Gambar 4.4 Hasil spektra FTIR (A) zeolit aktivasi dan (B) TiO<sub>2</sub>-zeolit alam

Serapan baru dihasilkan pada panjang gelombang 743 cm<sup>-1</sup> yang merupakan daerah serapan vibrasi ulur Ti-O yang berada pada daerah *fingerprint* (400-1500 cm<sup>-1</sup>) yang merupakan karakteristik TiO<sub>2</sub>. Hal ini dibuktikan dengan luasnya daerah spektra khas TiO<sub>2</sub> pada TiO<sub>2</sub>-zeolit alam lebih besar dibanding spektra zeolit, perbedaan luas ini menunjukkan adanya perbedaan jumlah vibrasi molekul. Luas area yang lebih besar pada TiO<sub>2</sub>-zeolit alam mengindikasikan bahwa jumlah vibrasi TiO<sub>2</sub> pada TiO<sub>2</sub>-zeolit alam lebih besar daripada zeolit alam, sehingga dapat dipastikan bahwa telah terjadi penempelan TiO<sub>2</sub> pada zeolit alam akibat proses impregnasi. Dari spektra FTIR tersebut, serapan gugus fungsional TiO<sub>2</sub>-zeolit alam hampir sama dengan zeolit alam setelah kalsinasi, sehingga antara zeolit setelah kalsinasi dengan TiO<sub>2</sub>-zeolit alam tidak banyak mengalami perubahan gugus fungsi yang berarti.

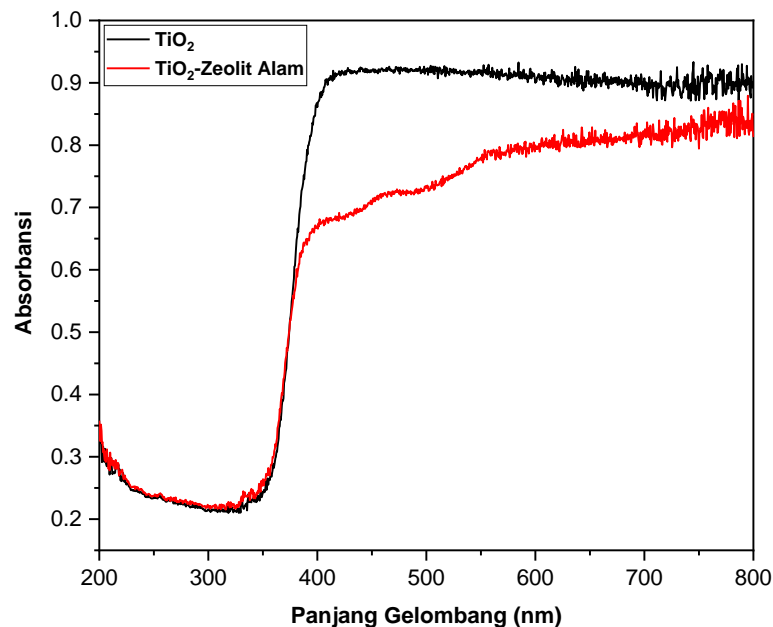
Tabel 4.1 Perbandingan serapan gugus fungsional antara zeolit alam dan TiO<sub>2</sub>-zeolit alam

Bilangan Gelombang (cm <sup>-1</sup> )			Interpretasi
Zeolit alam	TiO <sub>2</sub> -zeolit alam	Referensi	
3608	3408-3566	3200-3600	Vibrasi ulur O-H (Ansari, dkk., 2016)
1647	1646	1645-1650	Vibrasi tekuk O-H (Ansari, dkk., 2016)
1061	1061	1056-1064	Vibrasi ulur asimetri Si-O-Si (Yan, dkk., 2012)
792	-	820-650	Vibrasi ulur eksternal O-Ti-O (Sene, dkk., 2017)
-	743	600-790	Vibrasi ulur Ti-O (Rahman, 2018)
405-470	451-423	400-600	Si-O-Si tekuk (Fatmawati, dkk., 2018)

Karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis DRS dilakukan untuk mengetahui nilai celah pita pada hasil sintesis. Penentuan energi celah pita dihitung berdasarkan nilai %reflektansi yang diukur pada panjang gelombang 200-800 nm. Gambar 4.5 menunjukkan grafik hubungan antara panjang gelombang dan %reflektansi dan Gambar 4.6 menunjukkan grafik hubungan antara panjang gelombang dan absorbansi.



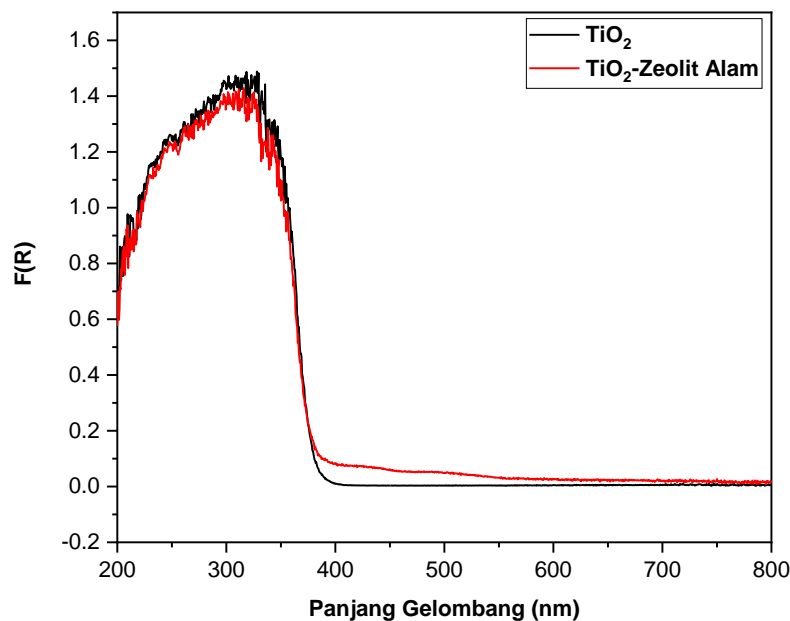
Gambar 4.5 Hubungan antara panjang gelombang dan %reflektansi



Gambar 4.6 Hubungan antara panjang gelombang dan absorbansi

Berdasarkan Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 menunjukkan bahwa nilai %reflektansi (%R) dan nilai absorbansi antara  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{TiO}_2$ -zeolit alam tidak mengalami perubahan yang signifikan pada panjang gelombang 400-800 nm. Hal ini menandakan bahwa penambahan material penyangga zeolit alam dapat menurunkan nilai persentase reflektansi (%R) dan nilai absorbansi pada fotokatalis  $\text{TiO}_2$ .

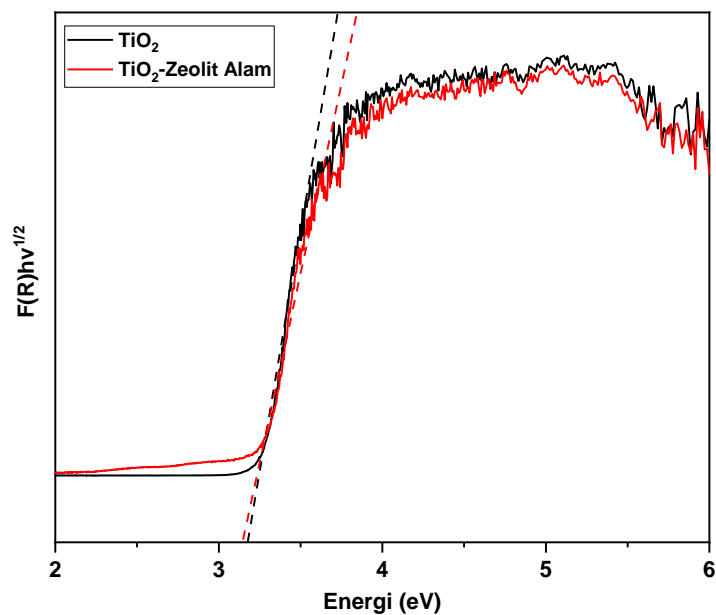
Analisis lebih lanjut dilakukan dengan menggunakan teori Kubelka-Munk.  $F(R)$  sebagai faktor Kubelka-Munk sebanding dengan nilai koefisien absorpsi per *scattering* (k/s). Pada Gambar 4.7 menunjukkan nilai faktor Kubelka-Munk.



Gambar 4.7 Hubungan antara faktor Kubelka-Munk dengan panjang gelombang

Pada sampel  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{TiO}_2$ -zeolit alam berdasarkan Gambar 4.7 mempunyai nilai koefisien absorpsi per *scattering* yang sangat tinggi pada panjang gelombang 200-300 nm dan masih memunculkan nilai koefisien absorpsi per *scattering* pada panjang gelombang 400-800 nm. Hal ini menunjukkan bahwa sampel  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{TiO}_2$ -zeolit alam mampu menyerap sinar pada daerah UV dan sinar tampak. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Yulianto (2021) yang menggunakan sampel  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{TiO}_2$ -N/zeolit alam menunjukkan bahwa kedua sampel mempunyai nilai koefisien absorpsi per *scattering* yang sangat tinggi pada panjang gelombang 200-300 nm dan masih memunculkan nilai koefisien absorpsi per *scattering* pada panjang gelombang 400-800 sehingga mampu menyerap sinar pada daerah UV dan sinar tampak.

Nilai energi celah pita (*bandgap energy*) didapatkan melalui plot hubungan antara  $F(R)hv^{1/2}$  terhadap  $hv$ , kemudian di tarik garis lurus pada sumbu x. Hasil energi celah pita ditunjukkan pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Hasil energi celah pita  $\text{TiO}_2$ -zeolit alam

Hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 menunjukkan bahwa penambahan pengemban zeolit alam dapat menurunkan energi celah pita pada fotokatalis  $\text{TiO}_2$ . Penurunan energi celah pita disebabkan karena terjadinya pergeseran panjang gelombang ke daerah yang lebih besar. Semakin kecil nilai energi celah pita, maka semakin kecil pula energi yang diperlukan suatu elektron untuk melakukan eksitasi dari pita valensi menuju pita konduksi. Sehingga pembentukan radikal hidroksil ( $\bullet\text{OH}$ ) akan semakin banyak. Radikal hidroksil ( $\bullet\text{OH}$ ) merupakan spesi yang dihasilkan dari reaksi material ( $h^+$ ) dan  $\text{H}_2\text{O}$  yang kemudian akan menyerang molekul organik dan mendegradasinya menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  (Arutanti dan Khairurrijal, 2009). Hasil perhitungan energi celah pita dan serapan panjang gelombang ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Energi celah pita dan serapan panjang gelombang

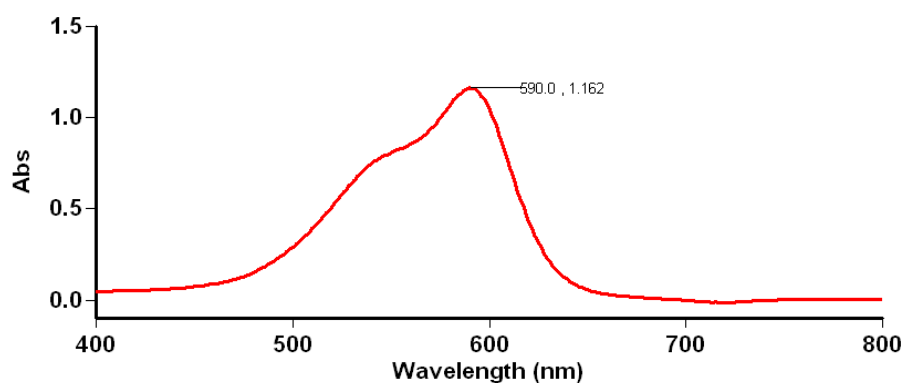
Sampel Fotokatalis	Energi Celah Pita (eV)	Panjang Gelombang (nm)
TiO <sub>2</sub>	3,17 eV	408 nm
TiO <sub>2</sub> -Zeolit Alam	3,14 eV	412 nm

Berdasarkan Tabel 4.2 yang menunjukkan bahwa pada fotokatalis TiO<sub>2</sub>-zeolit alam, penambahan pengemban zeolit alam mampu menghasilkan energi celah pita yang lebih kecil dibandingkan dengan fotokatalis TiO<sub>2</sub> yaitu dari 3,17 eV menjadi 3,14 eV. Pennington (2015) menyebutkan bahwa energi celah pita sinar UV memiliki rentang 3,1-6,2 eV, sehingga adanya penurunan energi celah pita setelah penambahan. Hal ini dikarenakan penambahan zeolit alam yang berfungsi sebagai katalis, adsorben dan *ion exchanger*, sehingga dapat mendispersi TiO<sub>2</sub> pada permukaan zeolit alam yang mengakibatkan luas permukaan material fotokatalis semakin luas. Hasil tersebut juga sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Wang dan Li (2014), yang menyatakan bahwa penambahan zeolit alam pada fotokatalis TiO<sub>2</sub> mampu menurunkan energi celah pita yang semula TiO<sub>2</sub> sebesar 2,86 eV menjadi TiO<sub>2</sub>-zeolit alam sebesar 2,84 eV. Pada penelitian lainnya yang dilakukan oleh Setthaya, *et al.* (2017) juga menyatakan bahwa penambahan zeolit alam juga mampu menurunkan energi celah pita yang semula 3,24 eV menjadi 3,20 eV.

#### **4.4 Penentuan Panjang Gelombang Serapan Maksimum dan Kurva Kalibrasi Standar Metil Violet**

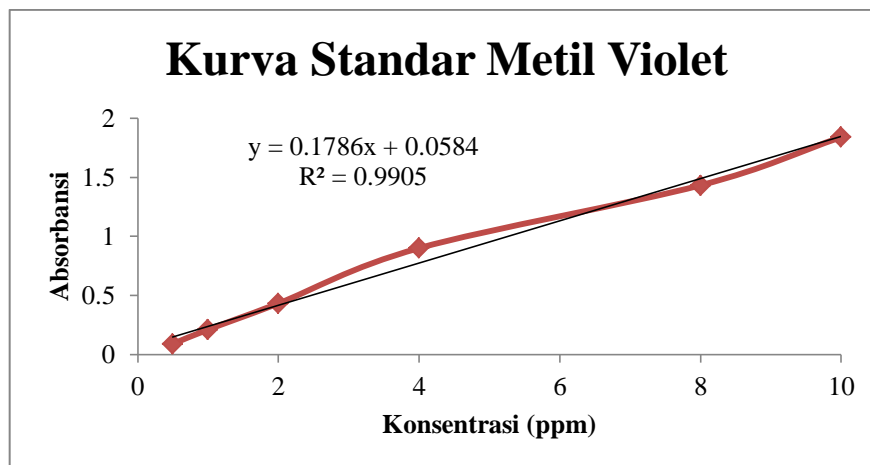
Larutan metil violet dengan konsentrasi 10 ppm diukur panjang gelombang maksimum pada panjang gelombang 400-800 nm. Berdasarkan hasil

pengukuran panjang gelombang menggunakan spektrofotometer UV-Vis, didapatkan puncak maksimum pada panjang gelombang sebesar 590 nm. Hal ini dapat disimpulkan bahwa panjang gelombang dari metil violet sesuai dengan hasil penelitian dari Parshetti, dkk (2009) yang mendapatkan panjang gelombang maksimum sebesar 590 nm. Sehingga pengukuran kurva kalibrasi dilakukan pada panjang gelombang 590 nm untuk menentukan nilai absorbansi metil violet pada berbagai seri konsentrasi seperti Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Panjang gelombang maksimum metil violet

Penentuan kurva kalibrasi dilakukan untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi metil violet dengan nilai absorbansinya. Persamaan yang didapatkan yaitu  $y = 0.17863x + 0.05837$  dengan  $R^2 = 0.99047$  yang mengalami pembulatan pada hasil grafik di Excel yaitu sebesar  $y = 0.1786x + 0.0584$  dengan  $R^2 = 0.9905$ . Nilai (y) adalah absorbansi, sedangkan nilai (x) adalah konsentrasi yang didapat. Nilai  $R^2$  yang mendekati 1 menunjukkan bahwa hubungan antara absorbansi dan konsentrasi hampir linear dan sesuai dengan hukum Lambert Beer.



Gambar 4.10 Kurva standar metil violet

#### 4.5 Uji Degradasi Metil Violet menggunakan $\text{TiO}_2$ -Zeolit Alam

##### 4.5.1 Penentuan pH Optimum pada Fotodegradasi Metil Violet

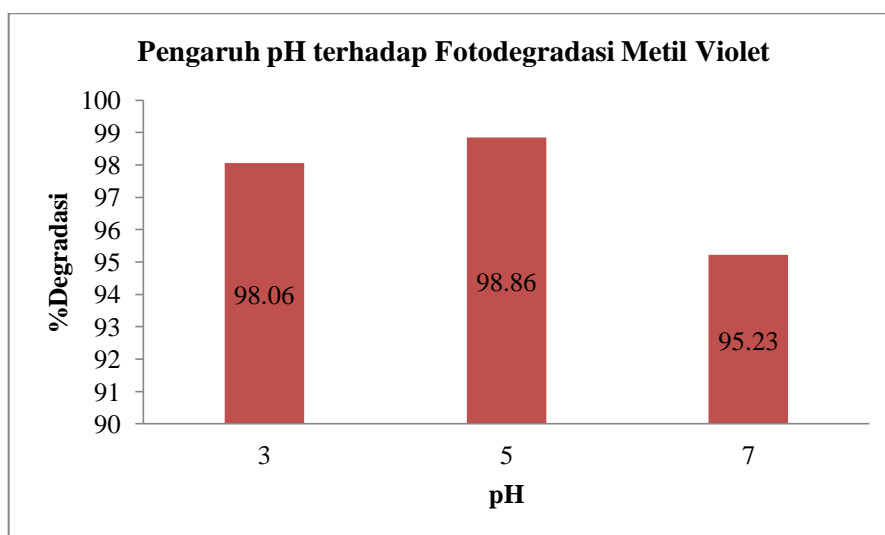
Salah satu faktor yang mempengaruhi aktivitas suatu fotokatalis yaitu pH. Penentuan pH dilakukan untuk menentukan efektivitas degradasi metil violet pada range pH tertentu. Penentuan pH optimum dilakukan dengan penambahan fotokatalis  $\text{TiO}_2$ -zeolit alam. Tahap awal dari penentuan pH optimum yaitu pengaturan larutan metil violet pada pH 3; 5; dan 7. Larutan metil violet 10 ppm dimasukkan ke dalam *beaker glass* 50 mL untuk di atur pH dengan menambahkan larutan HCl 0,01 M. pH 3 dan 5 diatur dengan penambahan HCl pertetes hingga pH mendekati, sedangkan pH 7 diatur dengan penambahan akuademineralisasi hingga pH mendekati. Larutan HCl digunakan karena mudah berdisosiasi menjadi ion  $\text{H}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  yang dapat berinteraksi dengan molekul lain dalam larutan untuk penyesuaian pH sehingga bersifat stabil saat proses terjadi proses fotokatalitik.

Larutan metil violet yang sudah diatur pH kemudian dimasukkan ke dalam *beaker glass* 50 mL dan ditambahkan 20 mg  $\text{TiO}_2$ -zeolit alam. Langkah berikutnya yaitu dilakukan penyinaran dengan lampu UV selama 150 menit dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer*. setelah penyinaran, larutan hasil

pengadukan kemudian dipindahkan ke *macrotube* untuk dilakukan sentrifugasi selama 30 menit untuk memisahkan larutan dengan hasil sisa fotokatalis. Pemisahan dilakukan untuk memisahkan residu agar tidak mempengaruhi nilai absorbansi dan proses fotodegradasi tidak berlanjut. Kemudian larutan metil violet diukur absorbansinya pada panjang 590 nm dengan spektrofotometer UV-Vis secara *triplo*. Hasil degradasi pengaruh pH terhadap metil violet dapat dilihat melalui Tabel 4.3 dan Gambar 4.11.

Tabel 4.3 Hasil penentuan pH optimum degradasi metil violet dengan fotokatalis TiO<sub>2</sub>-zeolit alam

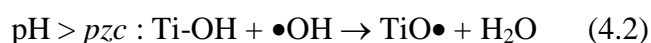
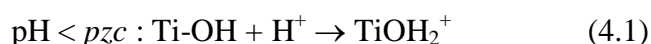
pH	Sampel		Abs Rata-Rata	C <sub>0</sub> (ppm)	C <sub>t</sub> (ppm)	%Degradasi
	I	II				
3	0.0953	0.0950	0.0952	10.60974	0.2057671	98.06
<b>5</b>	<b>0.0798</b>	<b>0.0787</b>	<b>0.0793</b>	<b>10.21333</b>	<b>0.1167413</b>	<b>98.86</b>
7	0.1392	0.1481	0.1437	10	0.4773236	95.23



Gambar 4.11 Pengaruh variasi pH terhadap fotodegradasi metil violet

Dari Gambar 4.11 juga diketahui bahwa degradasi metil violet pada pH 3 memiliki persen degradasi sebesar 98,06% dikarenakan pada pH 3 keberadaan

$H^+$  mengalami reaksi kimia dengan atom nitrogen dalam metil violet dengan mensubstitusi gugus metil. Kemudian pH mengalami peningkatan dari pH 3 dan 5 dengan persen degradasi terbaik diperoleh pada pH 5 sebesar 98,86% yang disebabkan ketika pH dalam keadaan asam metil violet mudah terdegradasi oleh radikal  $\bullet OH$  dan jumlah  $H^+$  yang terbentuk pada kondisi asam lebih banyak daripada kondisi basa. Adanya ion  $H^+$  menyebabkan pembentukan radikal  $\bullet OH$  dan dapat menyerap oksigen dari larutan dan menghasilkan radikal  $\bullet O_2H$  dan diubah menjadi radikal  $\bullet OH$ . Pada pH optimum yaitu pH 5, Ti-OH stabil sehingga fotokatalis bekerja sangat optimal sehingga menjadi efektif seperti reaksi 4.1. Persen degradasi semakin menurun seiring bertambahnya pH di mana hasil penelitian persen degradasi berkurang pada pH 7 sebesar 95,23%. Hal ini disebabkan telah terjadinya rekombinasi dari radikal  $\bullet O_2H$  yang mempengaruhi penurunan persen degradasi metil violet sehingga disimpulkan bahwa semakin besar persen degradasi metil violet maka semakin bertambahnya sifat keasaman metil violet dan begitu pula sebaliknya. Berikut adalah reaksi dari penentuan pH pada fotodegradasi metil violet.



Hirakawa dan Nosaka (2002) menyatakan bahwa pada kondisi asam,  $TiO_2$  dapat bereaksi dengan molekul air untuk menghasilkan ion hidroksil ( $OH^-$ ) yang dapat menyerang molekul pewarna dan menurunkannya menjadi senyawa yang lebih sederhana dan tidak berbahaya. Mekanisme reaksi melibatkan transfer elektron dari  $TiO_2$  tereksitasi ke molekul air yang menghasilkan ion hidroksil dan spesies  $TiO_2^+$  yang sangat reaktif. Penelitian ini sesuai dengan Yang *et al.* (2013)

yang menggunakan fotokatalis  $\text{TiSiW}_{12}\text{O}_{40}/\text{TiO}_2$  untuk mendegradasi metil violet menunjukkan pH optimum pada pH 5,5.

#### **4.5.2 Penentuan Efektivitas Penambahan $\text{H}_2\text{O}_2$ pada Fotodegradasi Metil Violet**

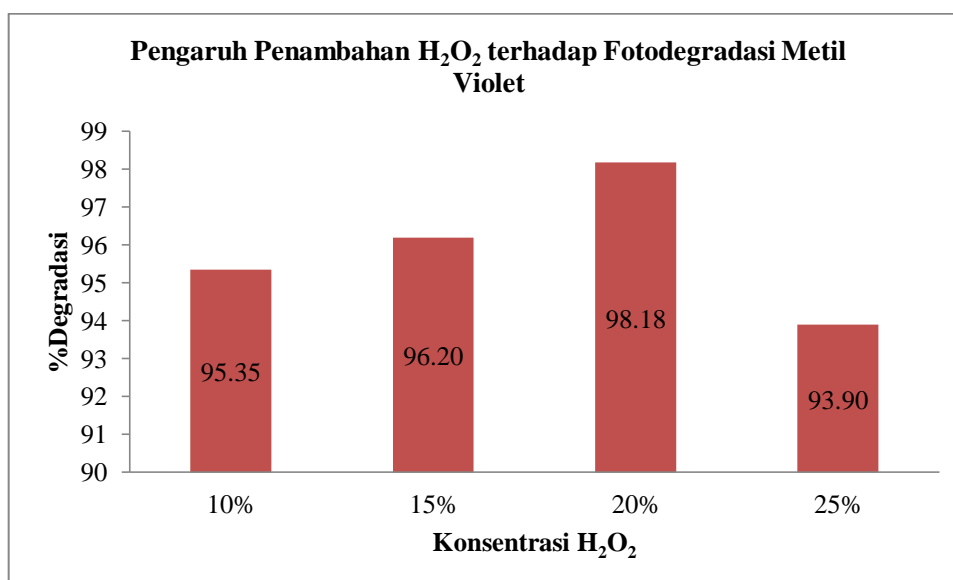
Penentuan efektivitas penambahan  $\text{H}_2\text{O}_2$  dilakukan untuk mengetahui efisiensi degradasi senyawa organik tertentu. Hal ini dikarenakan  $\text{H}_2\text{O}_2$  merupakan agen pengoksidasi dan juga dapat bereaksi dengan radikal hidroksil ( $\text{OH}\bullet$ ) yang dihasilkan dari reaksi fotokatalitik, membentuk spesies oksigen aktif seperti superoksida ( $\text{O}_2\bullet^-$ ) dan hidroperoksil ( $\text{HO}_2\bullet$ ), yang dapat membantu mempercepat degradasi senyawa organik.

Penentuan efektivitas  $\text{H}_2\text{O}_2$  optimum dilakukan dengan penambahan fotokatalis  $\text{TiO}_2$ -zeolit alam. Larutan metil violet 10 ppm dimasukkan ke dalam *beaker glass* 50 mL pada pH optimum (pH 5) dengan menambahkan larutan  $\text{H}_2\text{O}_2$  berbagai konsentrasi. Larutan metil violet pada pH optimum (pH 5) kemudian ditambahkan 20 mg  $\text{TiO}_2$ -zeolit alam dan ditambahkan 1 mL larutan  $\text{H}_2\text{O}_2$  berbagai konsentrasi. Langkah berikutnya yaitu dilakukan penyinaran dengan lampu UV selama 150 menit dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer*. Setelah penyinaran, larutan hasil pengadukan kemudian dipindahkan ke *microtube* untuk dilakukan sentrifugasi selama 30 menit untuk memisahkan larutan dengan hasil sisa fotokatalis. Pemisahan dilakukan untuk memisahkan residu agar tidak mempengaruhi nilai absorbansi dan proses fotodegradasi tidak berlanjut. Kemudian larutan metil violet diukur absorbansinya pada panjang 590 nm dengan

spektrofotometer UV-Vis secara *triplo*. Hasil degradasi pengaruh pH terhadap metil violet dapat dilihat melalui Tabel 4.4 dan Gambar 4.11.

Tabel 4.4 Hasil penentuan efektivitas  $H_2O_2$  optimum degradasi metil violet dengan fotokatalis  $TiO_2$ -zeolit alam

Konsentrasi	Sampel		Abs Rata-Rata	$C_0$ (ppm)	$C_t$ (ppm)	%Degradasi
	I	II				
10%	0.1299	0.1539	0.1419	10.06495	0.4675252	95.35
15%	0.1466	0.1135	0.1301	10.54983	0.4011758	96.20
<b>20%</b>	<b>0.0975</b>	<b>0.0854</b>	<b>0.0915</b>	<b>10.14894</b>	<b>0.1850504</b>	<b>98.18</b>
25%	0.1933	0.1547	0.1740	10.61702	0.6472564	93.90



Gambar 4.12 Pengaruh efektivitas  $H_2O_2$  terhadap fotodegradasi metil violet

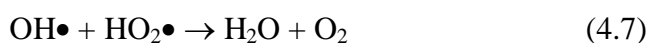
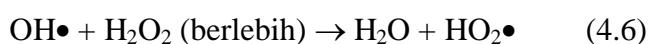
Pada Gambar 4.11 menunjukkan bahwa pada konsentrasi 10% dan 15% memiliki persen degradasi yang rendah dikarenakan adanya kontak antara metil violet dengan fotokatalis serta  $H_2O_2$  yang mengakibatkan jumlah radikal hidroksil ( $\bullet OH$ ) semakin bertambah sehingga meningkatkan laju degradasi. Penambahan  $H_2O_2$  hingga konsentrasi  $H_2O_2$  20% meningkatkan fotodegradasi metil violet. Hal ini dikarenakan semakin banyak  $H_2O_2$  yang digunakan dapat mengikat elektron

( $e^-$ ) dari pita valensi ke pita konduksi sehingga terjadi pemisahan muatan ( $e^-$ ) dan ( $h^+$ ) dan berfungsi membentuk radikal ditunjukkan reaksi 4.3 yang merupakan reaksi inisiasi. Semakin banyaknya jumlah radikal  $\bullet\text{OH}$  yang dihasilkan menyebabkan semakin banyak pula senyawa metil violet yang didegradasi. Sedangkan pada penambahan konsentrasi  $\text{H}_2\text{O}_2$  25% mengalami penurunan sehingga degradasi metil violet menurun. Hal ini dikarenakan penambahan  $\text{H}_2\text{O}_2$  berlebih dapat bereaksi membentuk reaksi propagasi dengan  $\bullet\text{OH}$  yang telah terbentuk akan menghasilkan  $\text{H}_2\text{O}$  dan radikal  $\text{HO}_2\bullet$  kembali (reaksi 4.6) yang menyebabkan jumlah radikal  $\bullet\text{OH}$  semakin berkurang sehingga pada konsentrasi 25% mengalami penurunan. Penambahan  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang berlebih juga dapat menyebabkan terjadinya efek antiseri. Efek antiseri ini akan menyebabkan terbentuknya radikal  $\text{HO}_2\bullet$  yang bersifat kurang reaktif sehingga tidak dapat bereaksi cepat dengan senyawa atau polutan organik lainnya. Berikut adalah reaksi yang terjadi pada  $\text{H}_2\text{O}_2$  dengan adanya fotokatalis.

Reaksi inisiasi pada  $\text{H}_2\text{O}_2$ :



Reaksi propagasi pada  $\text{H}_2\text{O}_2$ :



Reaksi terminasi pada  $\text{H}_2\text{O}_2$ :



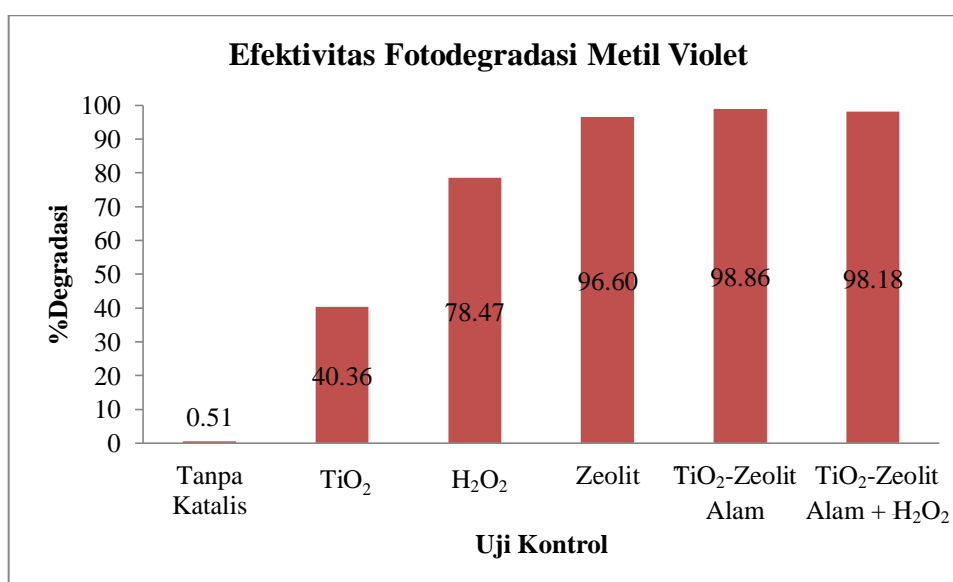
Pada penelitian ini didapatkan konsentrasi  $H_2O_2$  optimum pada konsentrasi 20% dengan persen degradasi sebesar 99,10%. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Marca dan Rahardian (2022) yang mendegradasi rhodamin B menggunakan  $TiO_2$ -N sebagai fotokatalis didapatkan konsentrasi optimum  $H_2O_2$  untuk degradasi rhodamin B adalah 20% dengan persen degradasi 90,26%. Hal ini diperkuat juga oleh Suhernadi, dkk (2014) yang mendegradasi rhodamin B dengan  $TiO_2$ -bentonit yang menyatakan bahwa penambahan  $H_2O_2$  akan mengalami peningkatan karena semakin banyak  $H_2O_2$  yang mengikat elektron sehingga terjadi pemisahan muatan.

#### **4.6 Uji Efektivitas Fotodegradasi Metil Violet**

Uji efektivitas dilakukan untuk uji kontrol fotodegradasi metil violet terhadap fotokatalis yang berbeda pada kondisi pH dan konsentrasi  $H_2O_2$  optimum. Penentuan uji kontrol pada pH optimum dilakukan dengan memasukkan 25 mL metil violet dengan pH optimum (pH 5) pada *beaker glass* 50 mL dan diuji kontrol dengan tanpa katalis,  $TiO_2$ , zeolit serta  $TiO_2$ -zeolit dan untuk ditambahkan larutan  $H_2O_2$  20% pada kondisi optimun. Kemudian disinari dengan lampu UV selama 150 menit dan disentrifugasi selama 30 menit. Kemudian larutan metil violet diukur absorbansinya pada panjang 590 nm dengan spektrofotometer UV-Vis secara *triplo*. Hasil uji kontrol pengaruh pH terhadap metil violet dapat dilihat melalui Tabel 4.5 dan Gambar 4.12.

Tabel 4.5 Hasil uji efektivitas fotodegradasi metil violet

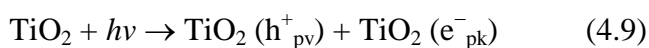
Uji Kontrol	Sampel		Abs Rata-Rata	C <sub>0</sub> (ppm)	C <sub>t</sub> (ppm)	%Degradasi
	I	II				
Tanpa Katalis	1.9189	1.9716	1.9453	10.61926	10.56467	0.51
TiO <sub>2</sub>	1.1573	1.2519	1.2046	10.76148	6.4176932	40.36
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0.4439	0.4344	0.4392	10	2.1318589	78.47
Zeolit	0.1253	0.1222	0.1238	10.76148	0.3659015	96.60
TiO <sub>2</sub> -Zeolit Alam	0.0798	0.0787	0.0793	10.21333	0.1167413	98.86
TiO <sub>2</sub> -Zeolit + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0.0854	0.0641	0.07475	0.091545	0.99098	99.10



Gambar 4.13 Grafik efektivitas fotodegradasi metil violet

Pada Tabel 4.5 menunjukkan bahwa fotodegradasi metil violet pada pH optimum (pH 5) dengan tanpa katalis didapatkan persen degradasi sebesar 0,51%. Hal ini dikarenakan sifat metil violet yang dapat terdegradasi oleh sinar tanpa adanya penambahan fotokatalis. Akan tetapi, energi foton tidak cukup untuk memutus ikatan rangkap senyawa azo, sehingga persen degradasinya rendah. Kemudian pada fotokatalis TiO<sub>2</sub> didapatkan persen degradasi sebesar 40,36%

karena pada kondisi asam, akan semakin banyak ion metil violet yang diserap pada permukaan  $\text{TiO}_2$  dengan adanya *hole*  $\text{TiO}_2$  ( $h^+_{\text{pv}}$ ) yang bermuatan positif (reaksi 4.8). *Hole* pada  $\text{TiO}_2$  ini akan bereaksi dengan molekul  $\text{H}_2\text{O}$  atau ion  $\text{OH}^-$  dan memproduksi radikal  $\bullet\text{OH}$  (reaksi 4.12) yang akan mendekomposisi metil violet. Selain itu, pada kondisi asam jumlah ion  $\text{H}^+$  akan meningkat dan bereaksi dengan  $\text{O}_2^-$  akan meningkatkan jumlah  $\text{H}_2\text{O}_2$  (reaksi 4.10). Akibat dari meningkatnya jumlah  $\text{H}_2\text{O}_2$  maka jumlah radikal  $\bullet\text{OH}$  dan  $\text{OH}^-$  yang dihasilkan bertambah seperti reaksi 4.11, dimana banyaknya  $\text{OH}^-$  yang terbentuk akan meningkatkan jumlah radikal  $\bullet\text{OH}$  yang berperan dalam mendegradasi metil violet (reaksi 4.12). Berikut adalah reaksi metil violet yang diserap oleh permukaan  $\text{TiO}_2$ .



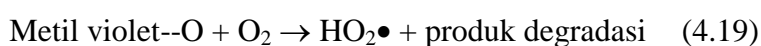
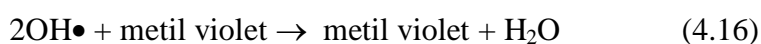
Penambahan  $\text{H}_2\text{O}_2$  pada uji efektivitas fotodegradasi metil violet didapatkan hasil persen degradasi sebesar 78,47%. Hal ini dikarenakan  $\text{H}_2\text{O}_2$  menghasilkan  $\bullet\text{OH}$  ketika disinari UV yang dimana radikal hidroksil ( $\bullet\text{OH}$ ) ini memiliki peran untuk mendegradasi metil violet seperti pada persamaan 4.4 dan memiliki hasil reaksi seperti persamaan 4.14.



Pada fotokatalis zeolit, didapatkan hasil persen degradasi sebesar 96,60%. Hal ini dikarenakan permukaan zeolit mengalami protonasi pada permukaan

zeolit yang mencegah molekul zat warna kationik terserap ke permukaan zeolit sehingga terjadi tolakan elektrostatis antar kedua spesi tersebut. Terjadinya kompetisi antara ion  $H^+$  pada larutan dengan muatan positif zat warna juga mengakibatkan rendahnya kapasitas zat warna kationik pada permukaan zeolit. Selain itu, pada pH asam permukaan adsorben dikelilingi oleh ion  $H^+$ , sehingga gaya tolak dihasilkan antara permukaan zeolit dan metil violet.

Pada fotokatalis  $TiO_2$ -zeolit dan dengan penambahan  $H_2O_2$  masing-masing didapatkan persen degradasi sebesar 98,86% dan 99,10%. Hal ini disebabkan karena tanpa penambahan  $H_2O_2$ , ion  $H^+$  membentuk radikal  $\bullet OH$  dan dapat menyerap oksigen dari larutan dan menghasilkan radikal  $HO_2\bullet$  dan diubah menjadi ion  $OH$ . Pada penambahan  $H_2O_2$  sebagai akseptor elektron yang dapat meningkatkan konsentrasi radikal  $\bullet OH$  yang dimana radikal ini dapat menghambat adanya perubahan warna (dekolorisasi) yang dimana  $H_2O_2$  memiliki peran sebagai agen pengoksidasi yang kuat. Berikut adalah reaksi fotodegradasi metil violet dengan  $H_2O_2$ .



Radikal peroksil ( $HO_2\bullet$ ) bereaksi dengan metil violet:



#### 4.7 Perspektif Islam terhadap Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-Zeolit Alam

Untuk memanfaatkan alam dan lingkungan hutan, terdapat komponen tindakan manusia sebagai makhluk berakal, yang mempunyai eksistensi agar dapat mengolah dan membudidayakan sehingga relasi diantara makhluk hidup dapat bertahan dan berlangsung dengan baik. Terlebih lagi manusia yang ditugaskan oleh Allah sebagai *khalifah fil ard* (wakil Allah di bumi), dalam Q.S al-Baqarah: 30.

وَإِذْ قَالَ رَبُّكَ لِلْمَلَائِكَةِ إِنِّي جَاعِلٌ فِي الْأَرْضِ خَلِيفَةً قَالُوا أَتَجْعَلُ فِيهَا مَنْ يُفْسِدُ فِيهَا وَيَسْفِكُ الدِّمَاءَ وَنَحْنُ نُسَبِّحُ بِحَمْدِكَ وَنُقَدِّسُ لَكَ قَالَ إِنِّي أَعْلَمُ مَا لَا تَعْلَمُونَ

Artinya: “Ingatlah ketika Tuhanmu berfirman kepada para malaikat, "Sesungguhnya Aku hendak menjadikan seorang khalifah di muka bumi." Mereka berkata, "Mengapa Engkau hendak menjadikan (khalifah) di bumi itu orang yang akan membuat kerusakan padanya dan menumpahkan darah, padahal kami senantiasa bertasbih dengan memuji Engkau dan menyucikan Engkau!" Tuhan berfirman, "Sesungguhnya Aku mengetahui apa yang tidak kalian ketahui.” (Q.S al-Baqarah: 30).

Menurut al-Maraghi menyatakan bahwa ke-*khalifah*-an yang diamanahkan Allah SWT kepada manusia, mencakup etika dan adab kepada Allah swt, sesama manusia, serta alam semesta. Adapun dalam pelaksanaan amanah tersebut, manusia dibekali dengan kekuatan akal, dan tuntunan wahyu. Karena itulah manusia diberi amanah oleh Allah swt. untuk menjaga bumi agar tidak tercemari oleh segala bentuk pencemaran lingkungan.

Rasulullah saw. juga mengajarkan bahwa manusia harus menjaga lingkungan dengan cara tidak membuang kotoran pada air. Hal ini sesuai dengan hadits Rasulullah saw. yang diriwayatkan oleh Abu Dawud r.a. yang berbunyi:

عَنْ مُعَاذِ بْنِ جَبَلٍ قَالَ قَالَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ اتَّقُوا الْمَلَاعِينَ الثَّلَاثَةَ الْبَرَّازَ فِي الْمَوَارِدِ وَقَارِعَةَ الطَّرِيقِ وَالظِّلَّ. (رواه أبو داود)

Artinya: “dari Mu’adz bin Jabal, dia berkata; Rasulullah shallallahu ‘alaihi wasallam bersabda: “Takutlah kalian terhadap tiga hal yang terlaknat; buang air besar di sumber air, tengah jalanan, dan tempat berteduh.” (HR. Abu Dawud (no.24), Syaikh al-Albani mengatakan : Hasan, dan Ibnu Majah (no.328)).

Rasulullah saw. telah mengajarkan kita untuk menjaga kebersihan lingkungan, kesehatan, kenyamanan dan kelestarian lingkungan hidup, seperti air, tanah, dan udara harus bebas dari polusi. Apa yang diajarkan oleh Rasulullah saw. tersebut apabila dilanggar oleh umat manusia, maka itu dapat dikategorikan sebagai pencemaran terhadap lingkungan. Islam adalah agama yang selalu mengajarkan agar bersikap ramah terhadap lingkungan. Semua larangan yang berhubungan dengan pencemaran lingkungan tersebut dimaksudkan untuk mencegah agar tidak mencelakakan umat manusia itu sendiri, sehingga terhindar dari musibah yang menimpahnya.

Untuk mencegah pencemaran pada lingkungan, Allah swt. telah menciptakan sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan oleh manusia. Sumber daya alam yang dapat diambil manfaatnya adalah mineral alam yang maupun logam-logam yang berasal dari gunung-gunung, sesuai dengan firman Allah swt:

وَجَعَلَ فِيهَا رَوَاسِيَ مِنْ فَوْقِهَا وَبَرَكَ فِيهَا وَقَدَّرَ فِيهَا أَقْوَاتَهَا فِي أَرْبَعَةِ أَيَّامٍ سَوَاءً لِّلسَّابِلِينَ

Artinya: “Dan Dia menciptakan di bumi itu gunung-gunung yang kokoh di atasnya. Dia memberkahinya dan Dia menentukan padanya kadar makanan-makanan (penghuni)nya dalam empat masa (Penjelasan itu sebagai jawaban) bagi orang-orang yang bertanya” (Q.S Fussilat: 10).

Surah tersebut menjelaskan bahwa Allah swt. menciptakan gunung-gunung sebagai berkah seperti meletusnya gunung berapi yang menghasilkan banyaknya material vulkanik yang berupa mineral-mineral alam yang dapat kita manfaatkan sebaik mungkin dengan jumlah yang berlimpah. Hasil penelitian ini juga memberikan banyak hikmah untuk kehidupan sehari-hari. Salah satu mineral alam yang dihasilkan dari kegiatan vulkanis yaitu zeolit. Zeolit memiliki banyak fungsi seperti katalis maupun adsorben. Selain itu dapat dimanfaatkan sebagai pengemban untuk material fotokatalis seperti  $TiO_2$ . Gabungan ini diharapkan memiliki aktivitas fotokatalitik yang lebih efisien yang bertujuan untuk menggeser energi celah pita sehingga dapat diaplikasikan di bawah sinar matahari.

Pada proses fotodegradasi membutuhkan bantuan sinar berupa sinar ultraviolet (UV) yang dihasilkan oleh matahari. Pada surah Yunus ayat 5-6 dijelaskan manfaat penciptaan sinar matahari agar dapat dimanfaatkan oleh manusia yang berbunyi:

هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسَ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُورًا وَقَدَرَهُ مَنَازِلَ لِتَعْلَمُوا عَدَدَ السِّنِينَ وَالْحِسَابَ مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ يُفَصِّلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ

إِنَّ فِي اخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ وَمَا خَلَقَ اللَّهُ فِي السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ لآيَاتٍ لِقَوْمٍ يَتَّقُونَ

Artinya: “Dialah yang menjadikan matahari bersinar dan bulan bercahaya, dan Dialah yang menetapkan tempat-tempat orbitnya, agar kamu mengetahui bilangan tahun, dan perhitungan (waktu). Allah tidak menciptakan demikian itu melainkan dengan benar. Dia menjelaskan tanda-tanda (kebesaran-Nya) kepada orang-orang yang mengetahui. Sesungguhnya pada pergantian malam dan siang dan pada apa yang diciptakan Allah di langit dan di bumi, pasti terdapat tanda-tanda (kekuasaanNya) bagi orang-orang yang bertakwa” (Q.S Yunus: 5-6).

Menurut tafsir Ibnu Katsir pada surah Yunus ayat 5-6, dijelaskan bahwa Allah swt. tidak menciptakan sesuatu dengan sia-sia melainkan Dia mempunyai

kebijaksanaan yang besar dalam penciptaan-Nya itu, juga mengandung hujah yang jelas. Firman diatas juga menjelaskan bahwa sinar matahari memiliki banyak manfaat untuk manusia. Dalam proses fotokatalis ini membutuhkan sinar yang berupa sinar ultraviolet (UV) yang dapat dipergunakan untuk proses eksitasi elektron. Material fotokatalis yang dihasilkan dapat dipergunakan untuk mendegradasi limbah organik menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O yang lebih aman bagi lingkungan.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil XRD menunjukkan karakteristik kristal TiO<sub>2</sub> pada sampel yaitu anatase yang teramati pada puncak  $2\theta = 25,356^\circ$  serta TiO<sub>2</sub>-zeolit alam menunjukkan adanya perbedaan puncak pada  $2\theta = 27,904^\circ$  yang menunjukkan karakteristik mineral modernit. Data spektra FTIR menunjukkan karakteristik TiO<sub>2</sub> dapat diamati pada serapan bilangan gelombang  $743\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan vibrasi ulur Ti-O dari TiO<sub>2</sub>. Hasil UV-Vis DRS menunjukkan penurunan energi celah pita setelah penambahan pengemban zeolit alam sebesar 3,14 eV.
2. Hasil pH optimum pada fotodegradasi metil violet dengan fotokatalis TiO<sub>2</sub>-zeolit alam didapatkan pada pH 5 dengan persen degradasi sebesar 98,86%. Hasil efektivitas H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> optimum didapatkan pada konsentrasi 20% dengan persen degradasi sebesar 98,18%.

#### **5.2 Saran**

1. Perlu dilakukan analisis XRD lanjut pada zeolit aktivasi untuk mengetahui morfologi dan perbandingan TiO<sub>2</sub> sebelum dan sesudah ditambahkan zeolit alam sebagai pengemban.

2. Perlu dilakukan analisis FTIR lanjut pada zeolit alam sebelum aktivasi untuk mengetahui perbandingan antara sebelum dan sesudah diaktivasi.
3. Perlu dilakukan penentuan efektivitas  $H_2O_2$  pada konsentrasi 0% untuk mengetahui perbedaan kemampuan degradasi metil violet pada konsentrasi yang berbeda.
4. Perlu dilakukan uji statistik untuk signifikansi perbedaan pada data efektivitas fotodegradasi metil violet.
5. Perlu dilakukan uji daur ulang fotokatalis  $TiO_2$ -zeolit alam untuk mengetahui apakah fotokatalis  $TiO_2$ -zeolit alam dapat digunakan berkali-kali atau tidak.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. 2009. Penjernihan Air Dari Pencemar Organik dengan Proses Fotokatalis pada Permukaan Titanium Dioksida ( $\text{TiO}_2$ ). *Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi*. Berita Penelitian Institut Teknologi Bandung. ISSN 1979-0880, 53-55.
- Agusriyanti, S., dan Artsanti, P. 2015. Pemanfaatan Zeolit Alam Ciamis sebagai Pengemban Fotokatalis  $\text{TiO}_2$  untuk Fotodegradasi Zat Warna Rhodamin B. *Jurnal Sains Dasar*, 4(1): 92-99.
- Akgedik, R., Aytakin I., Kurt A. B., Dagli, C. E. 2016. Recurrent Pneumonia Due to Olive Aspiration in a Healthy Adult: a Case Report. *The Clinical Respiratory Journal*. 10(6): 809-810.
- Almu'minin, A. S. 2015. Sintesis dan Karakterisasi Film Lapis Tipis  $\text{TiO}_2$  sebagai Pendegradasi Pewarna Tekstil Procion Red MX-8B. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember: Jember.
- Alwash, A. H., Abdullah, A. H., dan Ismail, N. 2012. Zeolite Y Encapsuled with Fe- $\text{TiO}_2$  for Ultrasound-Assisted Degradation of Amaranth Dye in Water. *Journal of Hazardous Materials*, (233-234): 184-193.
- Andari, N. D., dan Wardhani, S. 2014. Fotokatalis  $\text{TiO}_2$ -Zeolit untuk Degradasi Metilen Biru, *Chem. Prog.*, Vol. 7, No.1.
- Andarini, N. R., Sri, W., dan Mohammad, M. K. 2013. Fotodegradasi Zat Warna Metil Jingga Menggunakan  $\text{TiO}_2$ -Zeolit dengan Penambahan Anion Anorganik  $\text{NO}_3^-$ . *Kimia. Student Journal*, 1(1): 98-104.
- Ansari, S., Sriatun, dan Pardoyo. 2016. Modifikasi Zeolit Alam Menggunakan  $\text{TiO}_2$  sebagai Fotokatalis Zat Pewarna Indigo Carmine. *Jurnal Kimia dan Aplikasi*. No. 2. Hal. 68-71.
- Arutanti, O., & M. Abdullah. 2009. Penjernihan Air Dari Pencemar Organik dengan Proses Fotokatalis pada Permukaan Titanium Dioksida ( $\text{TiO}_2$ ). *J. Nano Saintek. Spec. Ed. Agust* : 43-45
- Astuti, W., Sulistyaningsih, T., Maksiola, M. 2017. Equilibrium and kinetics of adsorption of methyl violet from aqueous solutions using modified Ceiba pentandra sawdust. *Asian Journal of Chemistry*, 29(1): 133-138.
- Azmi, W., Sani, R. K., and Banerjee, U. C. 1998. Biodegradation of Triphenylmethane Dyes. *Enzyme Microb. Technol.* 22, 185-191.
- Bang, J.H. and Suslick, K.S. 2010. Applications of Ultrasound to the Synthesis of Nanostructured Materials. *Advanced Materials*, 22: 1039-1059.

- Batista, A. P. L., Carvalho, H. W., Luz, G. H. P., Martins, P. F. Q., Goncalves, M., Oliveira, L. C. A. O. 2010. Preparation of CuO/SiO<sub>2</sub> and Photocatalytic Activity by Degradation of Methylene Blue. *Environ Chem Lett*, (8), 63-67.
- Berliano, M., Ghulam, M., & Arifin, I. 2020. Mengatasi Limbah Industri Plastik Menurut Pandangan Islam. *Jurnal Pendidikan Dan Pemikiran Islam*, 7(2): 226-242.
- Black, J. J., Holmes, M., Dymerski, P. P., and Zapisek, W. F. 1980. *Fish Tumor Pathology and Aromatic Hydrocarbon Pollution in a Great Lakes Estuary*. In: *Hydrocarbons and Halogenated Hydrocarbons in the Aquatic Environment* (Afghan, B. K. and Mackay, D.. Eds.). Plenum Press: New York, 559-565.
- Bouasla, C., Samar, M. E. H., & Ismail, F. 2010. Degradation of methyl violet 6B dye by the Fenton process. *Desalination*, 254(1-3), 35-41.
- Castellote, M., Bengtsson, N., Ohama, N. Y. and Gemert, D.V. 2011. *Application of Titanium Dioxide Photocatalysis to Construction Materials*. Boca Roton: CRC Press. ISBN 9789400712966.
- Chandra, D. A. P., Syah, Y., & Widati, A. A. 2012. Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Tekstil Rhodamin B Menggunakan Zeolit Terimpregnasi TiO<sub>2</sub>. *ADLN Perpustakaan Universitas Airlangga*, 207.
- Czech B., 2009, Effect of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Addition on Phenol Removal from Wastewater Using TiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as Photocatalyst, *Polish J. of Environ. Stud.* 18(6): 989-993.
- Chowdhury, P., & Viraraghavan, T. (2009). Sonochemical Degradation Of Chlorinated Organic Compounds, Phenolic Compounds and Organic Dyes—a Review. *Science of the total environment*, 407(8), 2474-249.
- Corrent, S., Cosa, G., Scaiano, J. C., Galletero, M. S., Alvaro, M., & Garcia, H. 2001. *Articles Properties of Nanosized TiO<sub>2</sub> Clusters Included in.* 15, 715-722.
- Damayanti, C. A., Wardhani, S., Purwonugroho, D., 2014. Pengaruh Konsentrasi TiO<sub>2</sub> dalam Zeolit Alam terhadap Degradasi *Methylene Blue* secara Fotokatalitik. *KIMIA.STUDENTJOURNAL*, 1(1): 8-14.
- Delmifiana, B., dan Astuti. 2013. Pengaruh Sonikasi terhadap Struktur ZnO dan Morfologi Nanopartikel Magnetik yang Disintesis dengan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Fisika Univeritas Andalas*, 2(3): 2302-8491.
- Diebold, U. 2003. The Surface Science of Titanium Dioxide. *Surface Science Report*. 48: 53-229.

- Dini, E. W. P., dan Sri, W. 2014. Degradasi Metilen Biru menggunakan Fotokatalis ZnO-Zeolit. *Chem Prog*, 7(1): 29-33.
- Egerton, R. F. 2005. *Physical Principles of Electron Microscopy: an Introduction to TEM, SEM, and AEM*. USA: Springer Science + Business Media, Inc.
- Fatmawati, R. Y., Wijaya, K., & Tahir, I. 2018. Material CuO/Bentonit sebagai Bahan Antibakteri *Escherichia coli*. *BIMIPA*, 25(3): 216-223.
- Fatimah, I. 2009. TiO<sub>2</sub> Dispersion to in SiO<sub>2</sub>-Montmorillonit: Effect of Precursor Type. *Jurnal Penelitian Saintek*, 14(1).
- Fatimah, I., Said, A., Hasanah, U. A. 2015. Preparation of TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> using Rice Husk Ash as Silica Source and the Kinetics Study as Photocatalyst in Methyl Violet Decolorization. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 10 (1): 43-49.
- Fujishima, A., Rao, T. N. Tryk, D. A. 2000. Titanium Dioxide Photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* 1: 1-21.
- Gandjar, I. G., dan Rohman, A. 2007. *Kimia Farmasi Analisis*. Pustaka Pelajar: Yogyakarta, pp. 353-368.
- Glusker, J. P. dan Trueblood, K. N. 1985. *Crystal Structure Analysis: A primer, 3<sup>rd</sup> edition*. New York: Oxford University Press.
- Hardeli., Afrianti, R., Desy, K., Nopri, A., Hary, S. 2014. Degradasi Methil Violet dan Methilen Blue oleh Fotokatalis TiO<sub>2</sub>. *Eksakta*. Vol 1.
- Hartati, E., 2007, Studi Pengolahan Kandungan Ion Logam (Fe,Mn,Cu,Zn) Lindi Sampah oleh Zeolit, *J. Sains Mipa, Edisi Khusus*, 13(1): 29-34.
- Hartini, E. 2011. Modifikasi Zeolit Alam dengan ZnO untuk Degradasi Fotokatalisis Zat Warna. *Tesis*. Depok: Universitas Indonesia.
- Hay, R. L. 1966. *Zeolites and zeolitic reactions in sedimentary rocks*. California: Dept. Geology and Geophysics, University of California.
- Hidayanto, E., Susanto, H., Mukholit, dan Wibowo, S. 2017. Morphology and Degradation Kinetics of N-Doped TiO<sub>2</sub> Nano Particle Synthesized Using Sonochemical Method. *Solid State Phenomena*. Vol. 266.
- Hirakawa, T., & Nosaka, Y. 2002. Properties of O<sub>2</sub>•<sup>-</sup> and OH• formed in TiO<sub>2</sub> aqueous suspensions by photocatalytic reaction and the influence of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and some ions. *Langmuir*, 18(8): 3247-3254.

- Hoffmann, M. R., Martin, S.T., Choi, W., Bahnemann, D. W. 1995. Environmental Applications of Semiconductor Photocatalysis. *Chem. Rev.* 95: 69-96.
- Hosseinnia, A., Keyanpour-Rad, M., & Pazouki, M. 2010. Photo-catalytic Degradation of Organic Dyes with Different Chromophores by Synthesized Nanosize TiO Particles 2. *World Applied Sciences Journal*, 8(11), 1327–1332.
- Houari, M., Saidi, M., Tabet, D., Pichat, P., and Khalaf, H. 2005. The Removal of 4-Chlorophenol and Dichloroacetic Acid in Aster Using Ti-, Zr- and Ti/Zr-Pillared Bentonites as Photocatalyst. *American J. of Appl. Sci.* 2 (7), 1136-1140.
- Huang, Y. R., Kong, Y., Li, H. Z., & Wei, X. M. 2020. Removal of crystal violet by ultraviolet/persulfate: effects, kinetics and degradation pathways. *Environmental Technology & Innovation*, 18, 1-10.
- Joshi, K.M., & Shrivastava, V.S. 2010. Removal of Hazardious Textile Dyes from Aqueous Solution by Using Commercial Activated carbon with TiO<sub>2</sub> and ZnO as Photocatalyst. *International Journal of ChemTech Research*, 2(1), 427–435.
- Kim, D. S., Han, S. J, dan Kwak, S. Y. 2007. Synthesis and Photocatalytic activity of Mesoporous TiO<sub>2</sub> with The Surface Area, Crystallite Size, and Pore Size. *Journal of Colloid and Interface Science*, 316: 85-91.
- Kurniadi, T. 2000. *Studi Fotodegradasi dan Biodegradasi PET Beraditif Benzofenon Naftalen dan Kitin*. Semarang: FMIPA Univeritas Diponegoro.
- Laokul, P., Amornkitbamrung, V., Seraphin, S., & Maensiri, S. 2011. Characterization and Magnetic Properties of Nanocrystalline CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Powders Prepared by the *Aloe vera* Extract Solution. *Current Applied Physics*, 11(1), 101–108.
- Leena, M., dan Srinivasan, S., 2015. Synthesis and Ultrasonic Investigations of Titanium Oxide Nanofluids. *Journal of Molecular Liquids* 206, 103–109.
- Lestari, D., Sunarto, W., dan Susatyo, E.B. 2012. Preparasi Nanokomposit ZnO/TiO<sub>2</sub> dengan Sonokimia Serta Uji Aktivitasnya untuk Fenol. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 1 (1): 7-12.
- Lestari, Y. D., Wardhani, S., & Khunur, M. M. 2015. Degradasi Methylene Blue Menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>- N/Zeolit dengan Sinar Matahari. *American Journal of Therapeutics*, 10(4), 289–291.
- Linsebliger, A. L., Guangquan, L., dan Yates, J. T. 1995. Photocatalysis on TiO<sub>2</sub> Surface: Principles, Mechanisms, and Selected Results. *Chemical Reviews*,

95: 735-758.

- Liu, S., Lim, M., & Amal, R. 2014. TiO<sub>2</sub>-coated Natural zeolite: Rapid Humic Acid Adsorption and Effective Photocatalytic Regeneration. *Chemical Engineering Science*, 105, 46–52.
- MacKay, K.M., MacKay, R.A., Henderson, W. 2002. *Introduction to Inorganic Chemistry*, 6th edition. United Kingdom: Nelson Thornes Ltd.
- Marca, C. D., & Zainul, R. 2022. Degradasi Rhodamin B Menggunakan Katalis TiO<sub>2</sub>-N dan Oksidator Hidrogen Peroksida. *Periodic*, 11(2): 89-92.
- Moghaddam, M. B., Yangjeh, A. H.. 2011. Effect of Operational Parameters on Photodegradation of Methylene Blue on ZnS Nanoparticles Prepared in Presence of An Ionic Liquid as A Highly Efficient Photocatalyst. *J. Iran. Chem. Soc.*8: 169- 175.
- Nasrullah, dan Khairullah, M. 2020. Mengarifi Al-Qur'an sebagai Risalah Ramah Lingkungan. *Jurnal Syhadah*. 8(1): 93-114.
- Parshetti, G., Saratale, G., Telke, A., & Govindwar, S. 2009. Biodegradation of hazardous triphenylmethane dye methyl violet by *Rhizobium radiobacter* (MTCC 8161). *Journal of basic microbiology*, 49(S1): S36-S42.
- Pennington, A.M., 2015. *Increased Visible-Light Photocatalytic Activity of TiO<sub>2</sub> Via Band Gap Manipulation*. Rutgers The State University of New Jersey New Brunswick.
- Permatasari, O.S., Wardhani, S., dan Darjito, D. 2015. Studi Pengaruh Penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> terhadap Degradasi Methyl Orange menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N. *Jurnal Ilmu Kimia Universitas Brawijaya*, 1(1), pp-661.
- Poluakan, M., Wuntu, A., Sangi, M. S. 2015. Aktivitas Fotokatalitik TiO<sub>2</sub>-Karbon Aktif dan TiO<sub>2</sub>-Zeolit pada Fotodegradasi Zat Warna *Remazol Yellow*. *Jurnal Mipa Unsrat Online*. 4(2): 137-140.
- Prasad, K., Pinjari, D.V., Pandit, A.B dan Mhaske, S.T. 2010. Phase Transformation of Nanostructured Titanium Dioxide from Anatase to Rutile Via Combined Ultrasound Assisted Sol-Gel Technique. *Ultrasonics Sonochemistry*, 17 (2): 409–415.
- Puppe, W. 1999. *Catalysis and Zeolite*. Springer: Berlin.
- Purnawan, C., Patiha, dan Qodri., A. A. 2011. Fotodegradasi Zat Warna *Remazol Yellow* FG dengan Fotokatalis Komposit TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>. *Jurnal EKOSAINS*, 3(1): 17-23.
- Purnawan, C., Wahyuningsih, S., & Nawakusuma, V. 2018. Methyl violet

- degradation using photocatalytic and photoelectrocatalytic processes over graphite/PbTiO<sub>3</sub> composite. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 13(1): 127-135.
- Rahchamani, J., Mousavi, H. Z., & Behzad, M. 2011. Adsorption of Methyl Violet from Aqueous Solution by Polyacrylamide as an Adsorbent: Isotherm and Kinetic Studies. *Desalination*, 267(2–3), 256–260.
- Rahman, A. dan Hartono, B. 2004. Penyaringan Air Tanah dengan Zeolit Alami untuk Menurunkan Kadar Besi dan Mangan. *Makara, Kesehatan*, 8(1): 1-6.
- Rahman, T., Fadhulloh, M. A., Nandiyanto, A. B. D., dan Mudzkir. 2014. Review: Sintesis Titanium Dioksida Nanopartikel. *Jurnal Integrasi Proses*. Vol. 5. No. 1. Hal 15-29.
- Rahman, I. A., & Padavettan, V. 2012. Synthesis of Silica Nanoparticles by Sol-Gel: Size-dependent Properties, Surface Modification, and Applications in Silica-Polymer Nanocompositesa Review. *Journal of Nanomaterials*, 2012.
- Ratnasari, J., & Chodijah, S. 2020. Kerusakan Lingkungan Menurut Sains dan Ahmad Mustafa Al-Maraghi: Studi Tafsir Al-Maraghi pada Surat Al-Rum Ayat 41, Al-Mulk Ayat 3-4 dan Al-A'raf Ayat 56. *Jurnal Ilmu AlQURAN DAN TAFSIR*, 5(1): 121–136.
- Rini, R.S., Imelda, F., dan Agung, A.K. 2019. Pengaruh Penambahan Hidrogen Peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) Terhadap Efektivitas Fotodegradasi *Naphthol* Menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>. *Analit: Analytical and Enviromental Chemistry*, 4(1): 26-40.
- Saadati, F., Keramati, N., and Mehdipour Ghazi, M. 2016. Synthesis of Nanocomposite based on Semnan Natural Zeolite for Photocatalytic Degradation of Tetracycline under Visible Light. *Advances in Environmental Technology*, 2(2), 63-70.
- Saeed, K., Khan, I., Gul, T., & Sadiq, M. (2017). Efficient Photodegradation of Methyl Violet Dye Using TiO<sub>2</sub>/Pt and TiO<sub>2</sub>/Pd photocatalysts. *Applied Water Science*, 7(7), 3841-3848.
- Samadi, N., Abdolmohamad-Zade, H., & Salmasi, M. (2017). A novel magnetic nano-hybrid as a sorbent for solid-phase extraction-spectrophotometric determination of methyl violet 10B dye. *Analytical and Bioanalytical Chemistry Research*, 4(2), 269-283.
- Sanjaya, H., Hardeli., dan Syafitri, R. 2018. Degradasi Metil Violet Menggunakan Katalis ZnO-TiO<sub>2</sub> secara Fotosonolisis. *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 19(1): 91–99.
- Santos, J. G., Ogasawara, T., dan Correa, R. A. 2009. Synthesis of Mesoporous Titania in Rutile Phase With Pore-Stable. *Brazilian Journal of Chemical*

*Engineering*, 26 (3): 555 – 561.

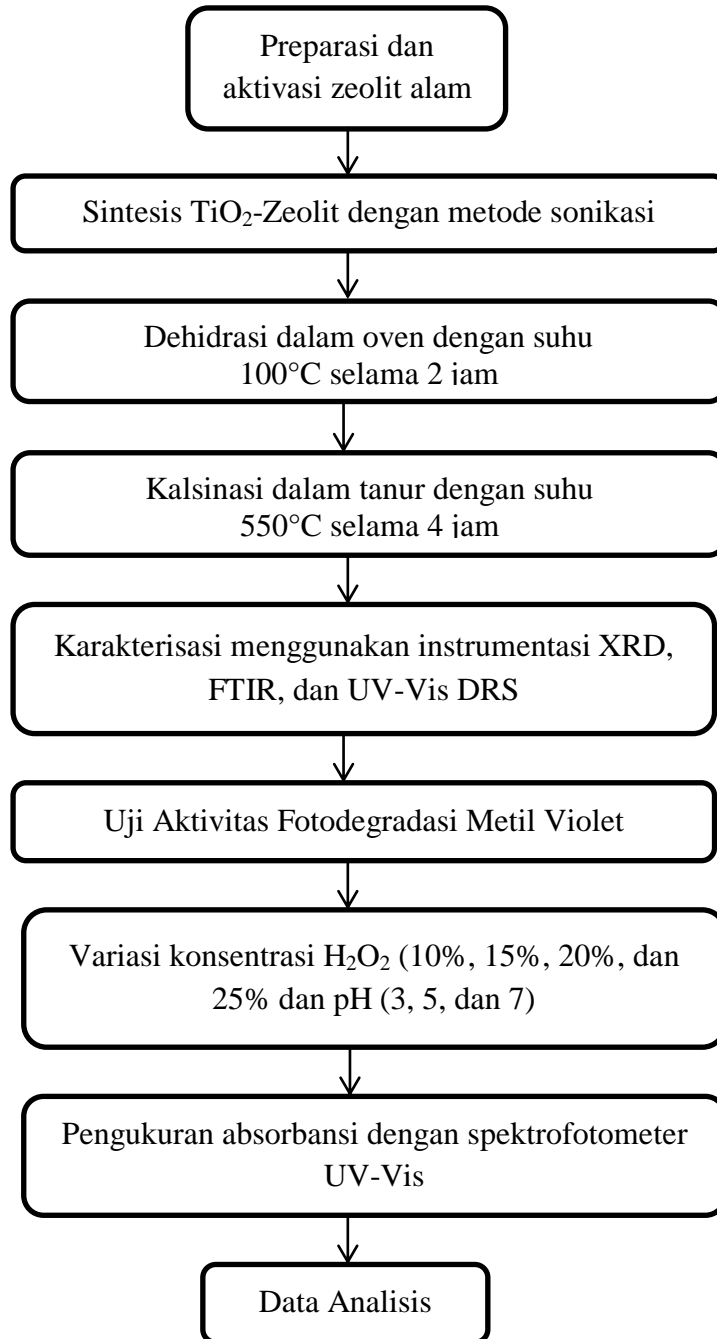
- Sene, R. A., Moradi, G. R., & Sharifnia, S. 2017. Sono-dispersion of TiO<sub>2</sub> nanoparticles over clinoptilolite used in photocatalytic hydrogen production: Effect of ultrasound irradiation during conventional synthesis methods. *Ultrasonics Sonochemistry*, 37: 490-501.
- Setthaya, N., Chindaprasirt, P., Yin, S., & Pimraksa, K. 2017. TiO<sub>2</sub>-zeolite photocatalysts made of metakaolin and rice husk ash for removal of methylene blue dye. *Powder technology*, 313: 417-426.
- Sirimahachai, U., Phongpaichit, S., and Wongnawa, S. 2009. Evaluation of Bactericidal Activity of TiO<sub>2</sub> Photocatalysts: A Comparative Study of Laboratory-made and Commercial TiO<sub>2</sub> Samples. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 31(5): 517–525.
- Shankar, M. V, Ananadan S., Venkatachalam N., Arabindo B., dan Murugesan V. 2006. Fine Route of an Efficient Removal of 2,4-dichlorophenolxyacetic Acid (2,4-D) by Zeolite-Supported TiO<sub>2</sub>. *Chemosphere*, 63: 1014-1021.
- Slamet, R. Syakur, dan Danamulyo, D. 2003. Modifikasi Zeolit Alam Lampung dengan Fotokatalis TiO<sub>2</sub> melalui Metode Sol Gel dan Aplikasinya untuk Penyisihan Fenol. *Jurnal Makara Teknologi* (7): 27-32.
- Smart, L., dan Moore, E. 1993. *Solid State Chemistry First edition*. Chapman and Hall University and Professional Division, London.
- Suhail, F. S. A., Mashkour, M. S., Saeb, D. 2015. The Study on Photo Degradation of Crystal Violet by Polarographic Technique. *International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS*. Vol 15. No 3.
- Suherjadi, A. 2014. Studi Pengaruh Penambahan Hidrogen Peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) terhadap Degradasi Methylene Blue Menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-Bentonit. *Tesis*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Suherjadi, A., Wardhani, S., dan Purwonugroho, D. 2014. Studi Pengaruh Penambahan Hidrogen Peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) Terhadap Degradasi Methylene Blue Menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-Bentonit. *Kimia.StudentJournal*. 2(2): 569-575.
- Sunardi. 2008. *Penuntun Praktikum Kimia Analisis Instrumen*. Departemen Kimia, FMIPA UI.
- Suslick, K.S., Casadonte, D.J., Green, M.L.H Thompson, M.E., 1987. Effects of High Intensity Ultrasound on Inorganic Solids. *Ultrasonics* 25 (1): 56–59.
- Suslick, K.S. dan Price, G.J. 1999. Application of Ultrasound to Material Chemistry. *Annual Review of Materials Science*, 29: 295– 326.

- Sutarti, M. dan Rachmawati, M. 1994. *Zeolit: Tinjauan Literatur*. Jakarta: Pusat Dokumentasi dan Informasi LIPI.
- Teh, C. Y., Wu, T. Y., dan Juan, J. C., 2017. An Application of Ultrasound Technology in Synthesis of Titania-Based Photocatalyst for Degrading Pollutant. *Chemical Engineering Journal* 317, 586–612.
- Tjahjanto, R. T., dan Jarnuzi, G. 2001. Preparasi Lapisan Tipis TiO<sub>2</sub> sebagai Fotokatalis: Keterkaitan antara Ketebalan Preparasi Lapisan Tipis TiO<sub>2</sub> sebagai Fotokatalis. *Makara, Jurnal Penelitian Universitas Indonesia*, 5(2), 81–90.
- Torrent, J., and Barrón, V. 2015. Diffuse reflectance spectroscopy. *Methods of Soil Analysis, Part 5: Mineralogical Methods*, 5(March 2020), 367–385.
- Utubira, Y., Wijaya, K., Triyono, T., & Sugiharto, E. 2010. Preparation and Characterization of TiO<sub>2</sub>-zeolite and its Application to Degrade Textille Wastewater by Photocatalytic Method. *Indonesian Journal of Chemistry*, 6(3).
- Wahyu, E., dan Dini, P. 2014. Degradasi Metilen Blue Menggunakan Fotokatalis ZnO-Zeolit. *Chemistry Progress*, 7(1), 29–33.
- Wang, H., Niu, J., Long, X., and He, Y. 2008. Sonophotocatalytic Degradation of Methyl Orange by Nano-sized Ag/TiO<sub>2</sub> Particles Inaqueous Solutions. *Ultrasonics Sonochemistry*. 15: 386-392.
- Wang, C., & Li, Y. 2014. Preparation and characterisation of S doped TiO<sub>2</sub>/natural zeolite with photocatalytic and adsorption activities. *Materials Technology*, 29(4): 204-209.
- Wijaya, K., Sugiharto, E., Fatimah, I., Sudiono, S., dan Kurniaysih, D., 2006, Utilisasi TiO<sub>2</sub>-Zeolit dan Sinar UV Untuk Fotodegradasi Zat Warna Congo Red, *Teknoin*, 11(3) : 199–209.
- Wijayanto, A. T. 2013. Fotodegradasi Metilen Biru Menggunakan Komposit TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>. *Skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga: Yogyakarta.
- Wu, J. S., Liu, C. H., Chu, K. H., & Suen, S. Y. (2008). Removal of cationic dye methyl violet 2B from water by cation exchange membranes. *Journal of membrane science*, 309(1-2), 239-245.
- Yan, W., Liu, D., Tan, D., Yuan, P., dan Chen, M. 2012. FTIR Spectroscopy Study of The Structure Changes of Polygorskite Under Heating. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. No. 97. Hal. 1052-1057.

- Yang, S., Xu, Y., Huang, Y., Zhou, G., Yang, Z., Yang, Y., & Wang, G. 2013. Photocatalytic Degradation of Methyl Violet with  $\text{TiSiW}_{12}\text{O}_{40}/\text{TiO}_2$ . *International Journal of Photoenergy*, 2013.
- Yang, S. J., Xu, Y. L., Gong, W. P., Huang, Y. K., Wang, G. H., Yang, Y., Feng, C. Q. 2015. Photocatalytic Degradation of Organic Dyes with  $\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}/\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ . *Rare Met.* 35(10).
- Zawrah, M. F., & Abd-el-, H. M. 2009. Facile and economic synthesis of silica nanoparticles. *Journal of Ovonic Research*, 5(5), 129–133.
- Zhang, H., Sun, L., dan Qinhu, S. 2015. Photocatalytic Degradation of Methyl Orange Over Nitrogen-doped  $\text{TiO}_2$  Prepared by Ultrasonic Method. *International Power, Electronics and Materials Engineering Conference*. Atlantis Press.
- Zhang, J., Wu, W., Yan, S., Chu, G., Zhao, S., dan Wang, X, Li, C. 2015. Enhanced Photocatalytic Activity for The Degradation of Rhodamine B by  $\text{TiO}_2$  Modified with  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  Calcined at High Temperature. *Applied Surface Science*, 344: 249-256.
- Zuhdi, A. C. 2012. Krisis Lingkungan Hidup dalam Perspektif al-Qur'an. *Mutawatir: Jurnal Keilmuan Tafsir Hadith*, 2(2), 140-162.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1 Rancangan Penelitian



## Lampiran 2 Perhitungan Pembuatan Larutan

### L.2.1 Pembuatan larutan HCl 6 M dan 0,01 M

#### ➤ HCl 6 M

$$\text{BJ HCl pekat} = 1,267 \text{ g/mL}$$

$$\text{Konsentrasi} = 37\% = \frac{37 \text{ g HCl}}{100 \text{ g larutan}}$$

$$\text{BM HCl} = 36,5 \text{ g/mol}$$

$$n = 1 \text{ (jumlah mol ion H}^{\text{+}}\text{)}$$

$$\text{mol} = \frac{\text{g HCl}}{\text{Mr HCl}} = \frac{37 \text{ g HCl}}{100 \text{ g larutan}} = 1,014 \text{ mol}$$

$$100 \text{ g larutan} = \frac{100 \text{ g}}{1,267 \text{ g/mL}} = 78,9 \text{ mL} = 0,0789 \text{ L}$$

$$\text{Molaritas} = \frac{\text{mol}}{\text{L}} = \frac{1,014 \text{ mol}}{0,0789 \text{ L}} = 12,85 \text{ M}$$

$$\begin{aligned} \text{Normalitas} &= n \times \text{Molaritas} \\ &= 1 \times 12,85 \text{ M} = 12,85 \text{ N} \end{aligned}$$

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$12,85 \text{ M} \cdot V_1 = 6 \text{ M} \cdot 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 4,67 \text{ mL}$$

#### ➤ HCl 0,01 M

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$12,85 \text{ M} \times V_1 = 0,01 \text{ M} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,07 \text{ mL}$$

### L.2.2 Pembuatan Larutan Induk, Standar, dan Sampel Metil Violet

#### ➤ Pembuatan larutan induk metil violet 100 ppm

$$\begin{aligned} 100 \text{ ppm} &= 10 \text{ mg/L} \\ &= 10 \text{ mg} / 1000 \text{ mL} \\ &= 0,01 \text{ g} / 100 \text{ mL} \end{aligned}$$

➤ Pembuatan larutan standar metil violet

- 0,5 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = 0,5 \text{ ppm} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,25 \text{ mL}$$

- 1 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = 1 \text{ ppm} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,5 \text{ mL}$$

- 2 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = 2 \text{ ppm} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = 1 \text{ mL}$$

- 4 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = 4 \text{ ppm} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = 2 \text{ mL}$$

- 8 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = 8 \text{ ppm} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = 4 \text{ mL}$$

- 10 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = 10 \text{ ppm} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = 5 \text{ mL}$$

➤ Pembuatan larutan sampel metil violet

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ mL} \times V_1 = 10 \text{ ppm} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = 5 \text{ mL}$$

### L.2.3 Pembuatan Larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> teknis = 30%

- 10%

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$30\% \times V_1 = 10\% \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = 16,7 \text{ mL}$$

- 15%

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$30\% \times V_1 = 15\% \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = 25 \text{ mL}$$

- 20%

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$30\% \times V_1 = 20\% \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = 33,3 \text{ mL}$$

- 25%

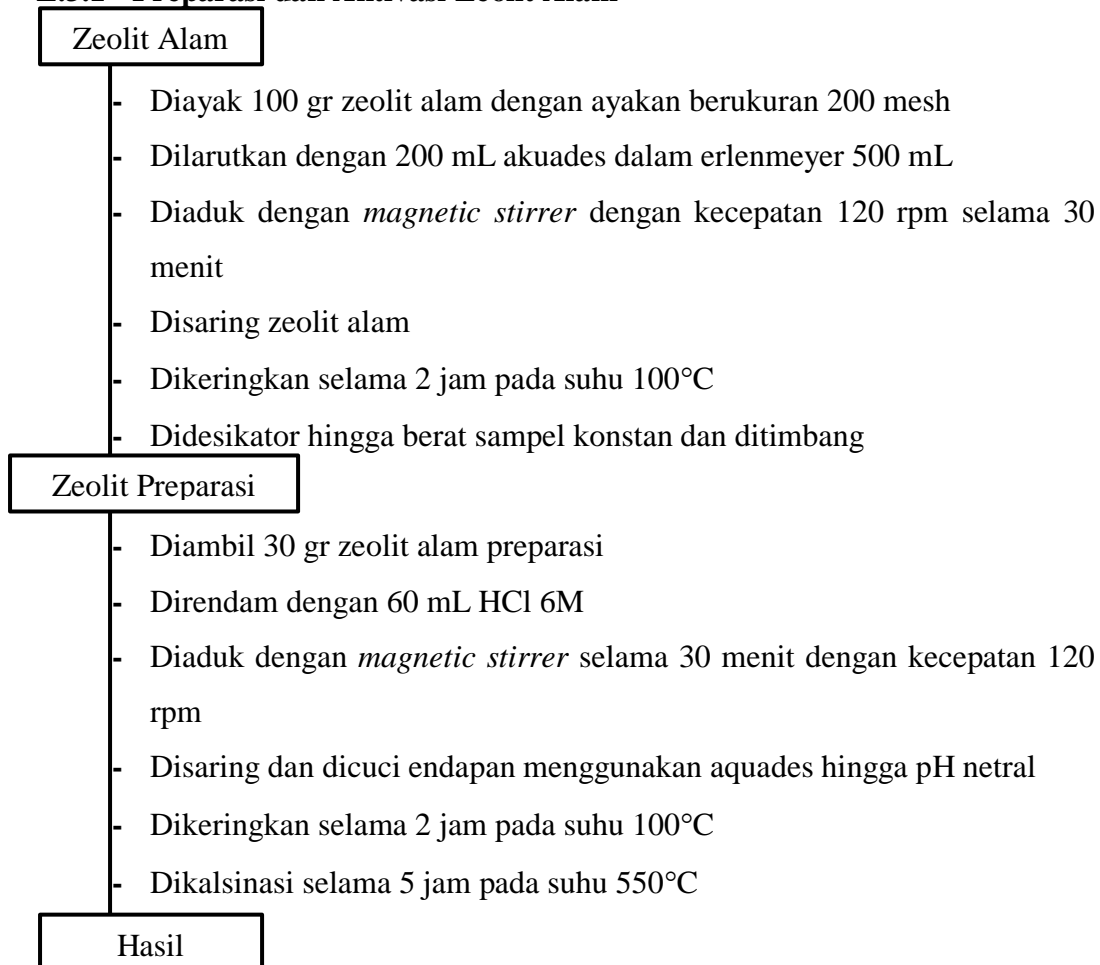
$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$30\% \times V_1 = 25\% \times 50 \text{ mL}$$

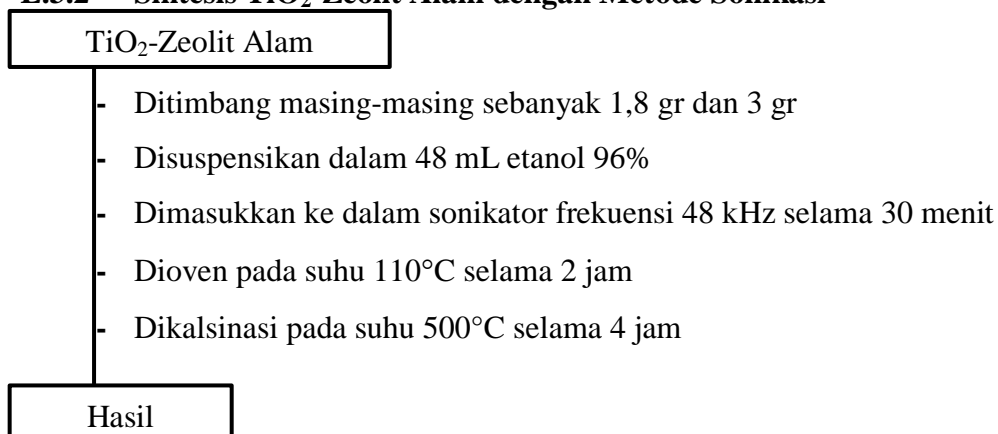
$$V_1 = 41,7 \text{ mL}$$

### Lampiran 3 Diagram Alir Penelitian

#### L.3.1 Preparasi dan Aktivasi Zeolit Alam

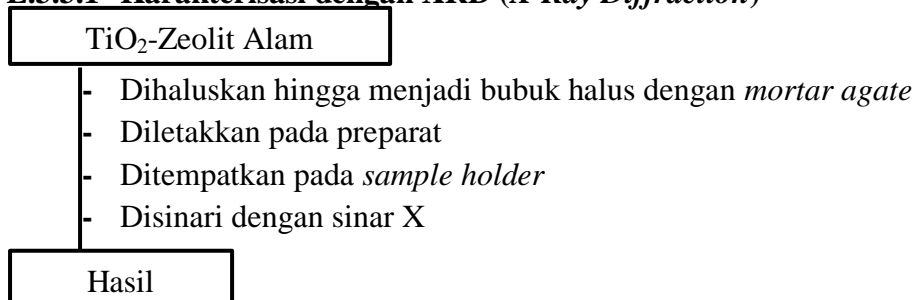


#### L.3.2 Sintesis TiO<sub>2</sub>-Zeolit Alam dengan Metode Sonikasi

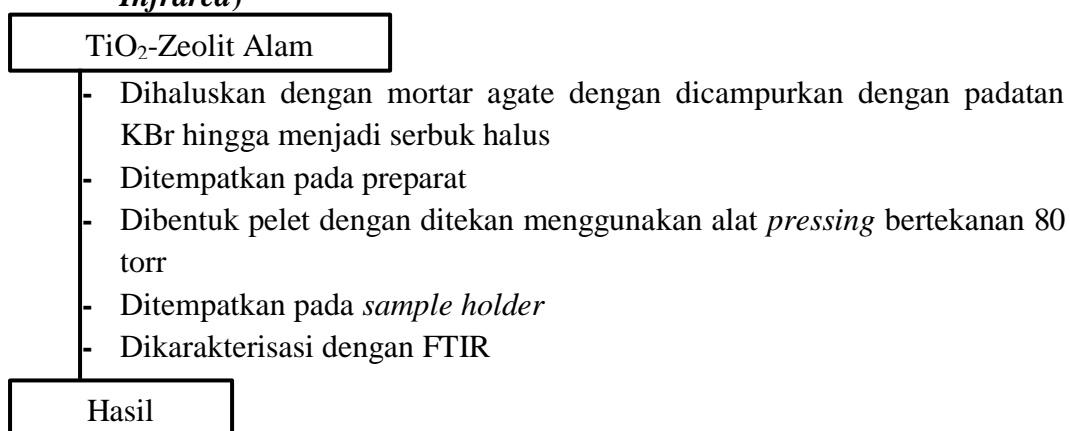


### L.3.3 Karakterisasi Hasil Sintesis TiO<sub>2</sub>-Zeolit Alam

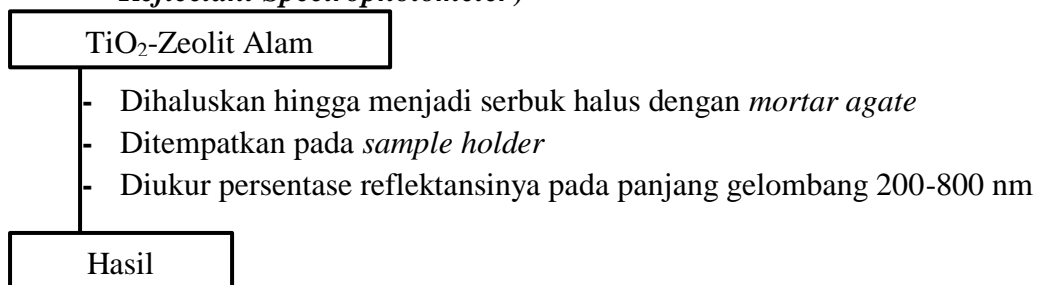
#### L.3.3.1 Karakterisasi dengan XRD (*X-Ray Diffraction*)



#### L.3.3.2 Karakterisasi dengan Spektrofotometer FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

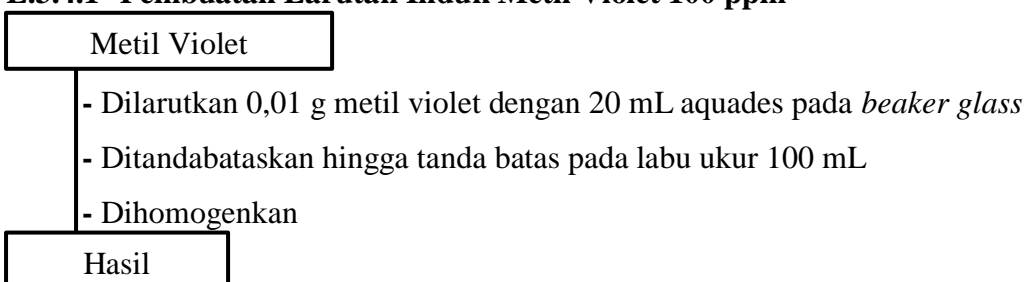


#### L.3.3.3 Karakterisasi dengan Spektrofotometer UV-Vis DRS (*Diffuse Reflectant Spectrophotometer*)



### L.3.4 Pembuatan Larutan Metil Violet

#### L.3.4.1 Pembuatan Larutan Induk Metil Violet 100 ppm



**L.3.4.2 Pembuatan Larutan Standar Metil Violet**

Metil Violet

- Diambil larutan induk metil violet 100 ppm dengan pipet ukur sebanyak 0,50; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0; dan 10,0 mL ke dalam labu ukur 50 mL
- Ditandabatkan hingga tanda batas pada labu ukur
- Dihomogenkan
- Didapatkan larutan standar dengan konsentrasi 0,5; 1; 2; 4; 8 dan 10 ppm

Hasil

**L.3.4.3 Pembuatan Larutan Sampel Metil Violet 10 ppm**

Metil Violet

- Diambil larutan induk metil violet 100 ppm secara kuantitatif sebanyak 5 mL dengan pipet ukur
- Dipindahkan ke dalam labu ukur 50 mL
- Ditandabatkan hingga tanda batas
- Dihomogenkan
- Diperoleh larutan sampel metil violet dengan konsentrasi 10 ppm

Hasil

**L.3.4.4 Pengukuran Absorbansi Larutan Sampel dan Standar Metil Violet**

Metil Violet

- Diukur absorbansi larutan sampel dan standar metil violet menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 400-600 nm

Hasil

### L.3.5 Uji Aktivitas Fotodegradasi Metil Violet dengan Variasi

#### L.3.5.1 Variasi pH

##### Metil Violet

- Disiapkan *beaker glass* 50 mL dan diberi label 1-6
- Diisi *beaker glass* dengan 25 mL larutan metil violet 10 ppm
- Diatur pH dengan ditambahkan menggunakan larutan HCl 0,01 M menjadi pH 3, 5, 7 dan 9
- Ditambahkan 20 mg TiO<sub>2</sub>-zeolit alam
- Disinari dengan dengan reaktor UV dengan menggunakan lampu UVA (380 nm) selama 150 menit
- Disentrifugasi larutan campuran hasil penyinaran selama 30 menit
- Ditriplo
- Diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 590 nm

##### Hasil

#### L.3.5.2 Variasi Efektivitas H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

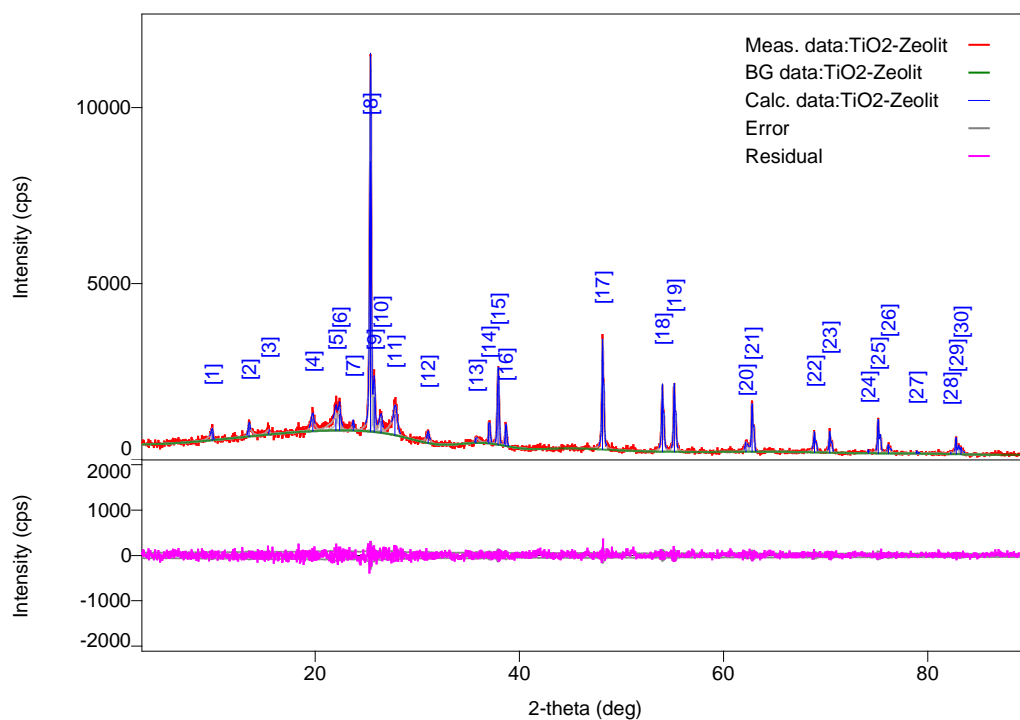
##### Metil Violet

- Disiapkan *beaker glass* 50 mL dan diberi label 1-6
- Diisi dengan 25 mL metil violet
- Ditambahkan 20 mg katalis TiO<sub>2</sub>-zeolit alam
- Ditambahkan 1 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dengan variasi konsentrasi 10%, 15%, 20%, dan 25%
- Disinari dengan dengan reaktor UV dengan menggunakan lampu UVA (380 nm) selama 45 menit
- Disentrifugasi larutan campuran hasil penyinaran selama 30 menit
- Ditriplo
- Diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 590 nm

##### Hasil

## Lampiran 4 Karakterisasi Hasil Sintesis TiO<sub>2</sub>-Zeolit Alam

### L.4.1 Hasil Difraksi XRD (X-Ray Diffraction) sampel TiO<sub>2</sub>-Zeolit Alam



Gambar L.4.1 Pola difraksi sampel TiO<sub>2</sub>-zeolit alam

No.	2θ(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	9.907(1)	8.921(14)	228(44)	0.29(4)	105(8)	0.46(12)	2.4(6)
2	13.52(3)	6.543(13)	269(47)	0.26(4)	116(10)	0.43(11)	0.9(5)
3	15.45(6)	5.73(2)	90(27)	0.37(13)	56(10)	0.6(3)	3(3)
4	19.74(4)	4.493(9)	337(53)	0.33(5)	179(13)	0.53(12)	1.4(9)
5	22.03(3)	4.031(6)	338(53)	0.47(8)	335(135)	1.0(6)	2.7(10)
6	22.384(	3.969(3)	463(62)	0.23(11)	223(130)	0.5(3)	2.7(10)
7	23.715(	3.749(2)	197(40)	0.13(6)	50(8)	0.25(9)	3(4)
8	25.413(	3.5020(7)	7669(253)	0.170(4)	1653(37)	0.215(12)	1.7(2)
9	25.777(	3.4534(1)	984(91)	0.20(3)	256(27)	0.26(5)	1.7(2)
10	26.420(	3.3708(1)	331(53)	0.32(4)	135(11)	0.41(10)	1.7(2)
11	27.80(3)	3.207(3)	585(70)	0.50(4)	451(18)	0.77(12)	1.0(3)
12	31.06(5)	2.877(4)	246(45)	0.26(8)	111(10)	0.45(12)	1.8(19)
13	35.74(7)	2.510(5)	123(32)	0.25(10)	53(10)	0.43(19)	0.5(7)
14	37.008(	2.4271(3)	546(67)	0.135(14)	87(6)	0.16(3)	0.5(2)
15	37.907(	2.3716(5)	1721(120)	0.170(7)	349(8)	0.203(19)	1.5(3)
16	38.66(2)	2.3274(1)	516(66)	0.157(18)	87(7)	0.17(4)	1.0(5)
17	48.135(	1.8888(2)	2796(153)	0.136(7)	560(11)	0.200(15)	1.3(3)
18	53.999(	1.6968(2)	1692(119)	0.149(8)	380(8)	0.22(2)	1.6(4)
19	55.157(	1.66383(	1776(122)	0.142(7)	371(7)	0.209(18)	1.2(3)
20	62.166(	1.4920(3)	246(45)	0.22(4)	70(6)	0.28(8)	0.70(18)
21	62.775(	1.47899(	1288(104)	0.150(9)	251(8)	0.19(2)	0.70(18)

22	68.878(	1.3621(3	521(66)	0.163(18)	135(6)	0.26(4)	1.5(8)
23	70.375(	1.3367(2	575(69)	0.159(13)	120(6)	0.21(4)	0.7(3)
24	74.164(	1.2775(2	91(28)	0.11(4)	13(3)	0.15(8)	0.8(15)
25	75.126(	1.26354(	935(88)	0.158(9)	206(6)	0.22(3)	0.9(3)
26	76.116(	1.24954(	236(44)	0.16(4)	67(5)	0.28(8)	0.7(5)
27	78.90(3	1.2123(3	84(26)	0.07(2)	6(2)	0.07(5)	0.7(11)
28	82.25(3	1.1712(3	71(24)	0.17(6)	16(5)	0.23(14)	1.4(6)
29	82.760(	1.16526(	446(61)	0.149(15)	89(6)	0.20(4)	1.4(6)
30	83.232(	1.1599(2	178(39)	0.18(3)	42(6)	0.24(8)	1.4(6)

#### L.4.2 Perhitungan Ukuran Kristal Sampel Fotokatalis

Perhitungan ukuran kristal dilakukan dengan menggunakan persamaan Debye-Scherrer.

$$D = \frac{(k\lambda)}{(\beta \cos \theta)}$$

##### 1. TiO<sub>2</sub>

Diketahui:

$$\lambda = 1,54060 \text{ \AA}$$

$$\theta = \frac{25,374}{2}$$

$$= 12,687$$

$$\cos \theta = 0,992$$

$$\beta \text{ (FWHM)} = \frac{0,157}{180^\circ} \times 3,14$$

$$= 0,008$$

Ditanya:

$$D = ?$$

Jawab:

$$D = \frac{(k\lambda)}{(\beta \cos \theta)}$$

$$D = \frac{(0,9 \times 1,54060 \text{ \AA})}{(0,008 \times 0,994)}$$

$$D = 162,3 \text{ \AA} \cong 16,23 \text{ nm}$$

##### 2. TiO<sub>2</sub>-Zeolit Alam

Diketahui:

$$\lambda = 1,54060 \text{ \AA}$$

$$\theta = \frac{25,413}{2}$$

$$= 12,7065$$

$$\cos \theta = 0,990$$

$$\beta \text{ (FWHM)} = \frac{0,170}{180^\circ} \times 3,14$$

$$= 0,009$$

Ditanya:

$$D = ?$$

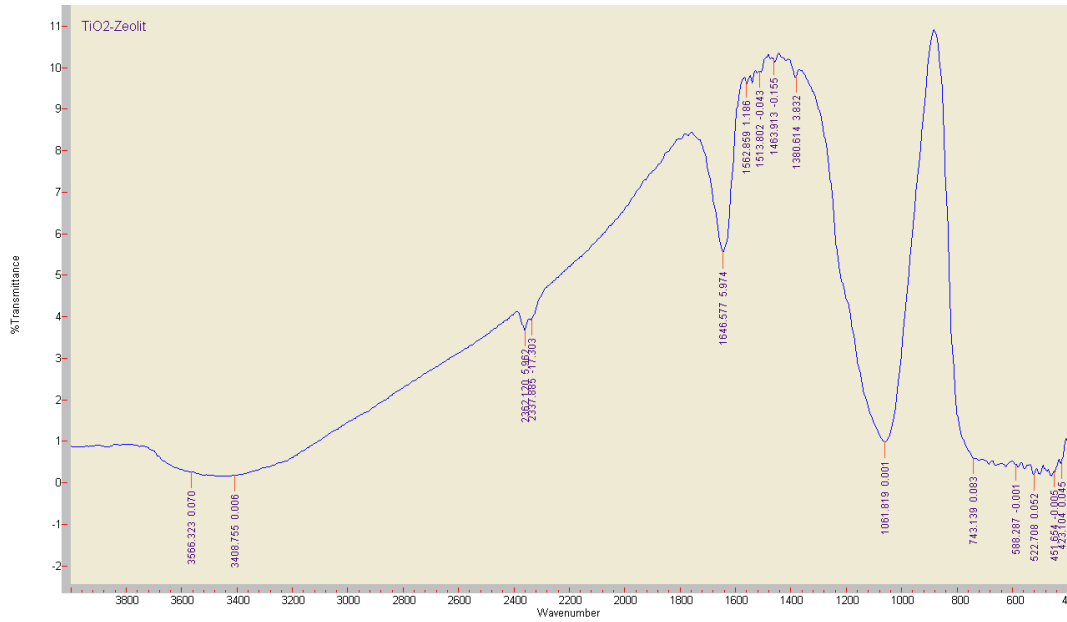
Jawab:

$$D = \frac{(k\lambda)}{(\beta \cos \theta)}$$

$$D = \frac{(0,9 \times 1,54060 \text{ \AA})}{(0,009 \times 0,990)}$$

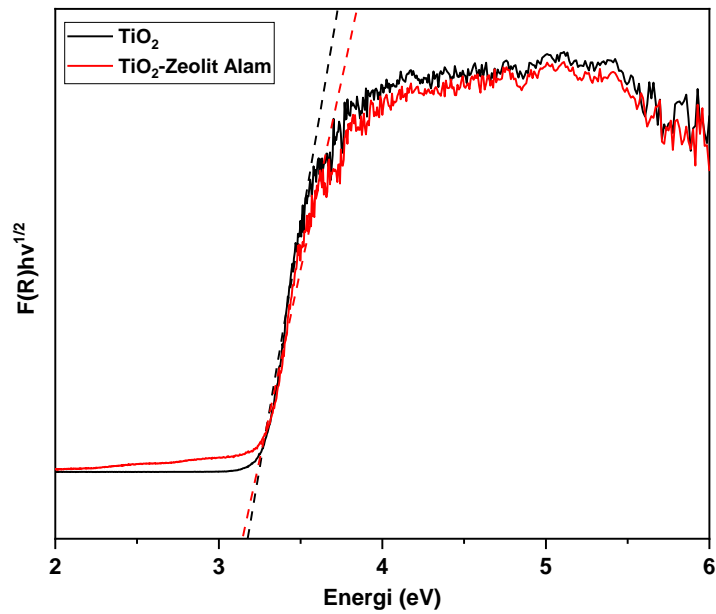
$$D = 150,2 \text{ \AA} \cong 15,02 \text{ nm}$$

**L.4.3 Hasil Spektra FTIR sampel TiO<sub>2</sub>-Zeolit Alam**



Gambar L.4.2 Hasil Spektra FTIR TiO<sub>2</sub>-zeolit alam

**L.4.4 Spektra Energi Celah Pita UV-Vis DRS pada sampel TiO<sub>2</sub>-Zeolit Alam**



Gambar L.4.3 Nilai  $(F(R)hv)^{1/2}$

### L.4.5 Perhitungan Panjang Gelombang pada Sampel TiO<sub>2</sub>-Zeolit Alam

1. TiO<sub>2</sub>

Diketahui:

$$E = 3,17 \text{ eV}$$

$$h = 6,624 \times 10^{-34} \text{ Js} \rightarrow 4,135 \times 10^{-15} \text{ eVs}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Ditanya:

$$\lambda = ?$$

Jawab:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{hc}{E}$$

$$\lambda = \frac{(4,135 \times 10^{-15} \text{ eVs}) \times (3 \times 10^8 \text{ m/s})}{3,17 \text{ eV}}$$

$$\lambda = 4,08 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$\lambda = 408 \text{ nm}$$

2. TiO<sub>2</sub>-Zeolit Alam

Diketahui:

$$E = 3,14 \text{ eV}$$

$$h = 6,624 \times 10^{-34} \text{ Js} \rightarrow 4,135 \times 10^{-15} \text{ eVs}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Ditanya:

$$\lambda = ?$$

Jawab:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{hc}{E}$$

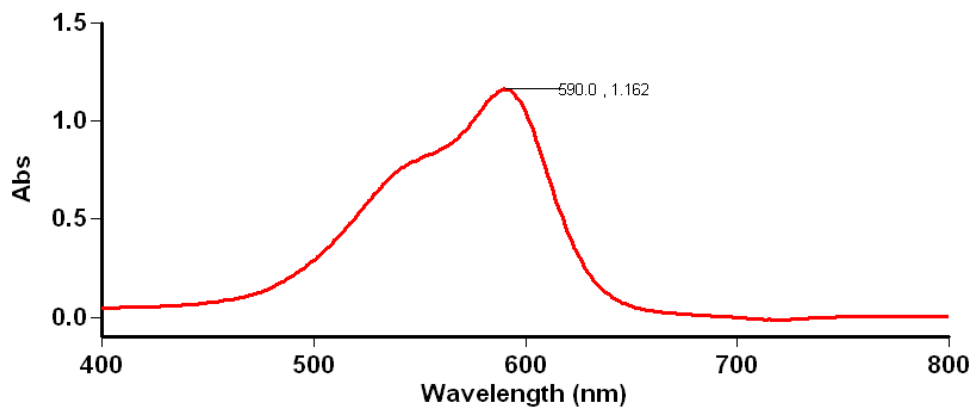
$$\lambda = \frac{(4,135 \times 10^{-15} \text{ eVs}) \times (3 \times 10^8 \text{ m/s})}{3,14 \text{ eV}}$$

$$\lambda = 4,12 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$\lambda = 412 \text{ nm}$$

### L.4.6 Pengukuran Panjang Gelombang dan Kurva Standar pada Sampel TiO<sub>2</sub>-Zeolit Alam dengan Spektrofotometer UV-Vis

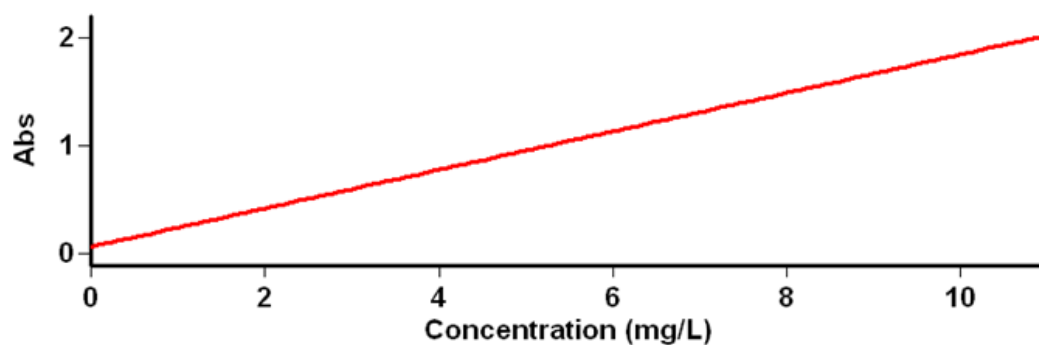
#### 1. Pengukuran Panjang Gelombang ( $\lambda_{maks}$ )



Gambar L.4.4 Panjang gelombang metil violet 10 ppm

Wavelength (nm)	Abs
590.0	1.162
303.0	0.336
251.0	0.304

#### 2. Pengukuran Kurva Standar



Gambar L.4.5 Kurva standar metil violet

#### Zero Report

Read	Abs	nm
Zero	(0.1487)	590.0

## Calibration

Standard	Concentration mg/L	F	Mean	SD	%RSD	Readings
Std 1						0.0902
						0.0899
	<b>0.5</b>		<b>0.0899</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.25</b>	<b>0.0897</b>
Std 2						0.2106
						0.2105
	<b>1.0</b>		<b>0.2106</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.06</b>	<b>0.2107</b>
Std 3						0.4324
						0.4319
	<b>2.0</b>		<b>0.4322</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.06</b>	<b>0.4322</b>
Std 4						0.9026
						0.8995
	<b>4.0</b>		<b>0.9003</b>	<b>0.0020</b>	<b>0.22</b>	<b>0.8989</b>
Std 5						1.4306
						1.4276
	<b>8.0</b>		<b>1.4323</b>	<b>0.0058</b>	<b>0.40</b>	<b>1.4388</b>
Std 6						1.8666
						1.8097
	<b>10.0</b>		<b>1.8400</b>	<b>0.0286</b>	<b>1.56</b>	<b>1.8437</b>
Calibration eqn	Abs = 0.17863*Conc +0.05837					
Correlation Coefficient	0.99047					

## Lampiran 5 Uji Aktivitas Metil Violet dengan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-Zeolit Alam

### L.5.1 Perhitungan pengaruh pH

pH	Sampel		Abs Rata-Rata	C <sub>0</sub> (ppm)	C <sub>t</sub> (ppm)	%Degradasi
	I	II				
3	0.0953	0.0950	0.0952	10.60974	0.2057671	98.06
<b>5</b>	<b>0.0798</b>	<b>0.0787</b>	<b>0.0793</b>	<b>10.21333</b>	<b>0.1167413</b>	<b>98.86</b>
7	0.1392	0.1481	0.1437	10	0.4773236	95.23

• pH 3

Diketahui:

$$y = 0.1786x + 0.0584$$

$$\text{Abs rata-rata} = 0.0952$$

Ditanya:

$$\% \text{Degradasi} = ?$$

Jawab:

$$y = 0.1786x + 0.0584$$

$$0.0952 = 0.1786x + 0.0584$$

$$0.0368 = 0.1786x$$

$$x = 0.2057 \text{ ppm}$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

%Degradasi

$$= \frac{10.6097 \text{ ppm} - 0.2057 \text{ ppm}}{10.6097 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{9.806}{10.6097 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = 98.06\%$$

• pH 5

Diketahui:

$$y = 0.1786x + 0.0584$$

$$\text{Abs rata-rata} = 0.0793$$

Ditanya:

$$\% \text{Degradasi} = ?$$

Jawab:

$$y = 0.1786x + 0.0584$$

$$0.0793 = 0.1786x + 0.0584$$

$$0.0209 = 0.1786x$$

$$x = 0.1167 \text{ ppm}$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

%Degradasi

$$= \frac{10.2133 \text{ ppm} - 0.1167 \text{ ppm}}{10.2133 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{9.886}{10.2133 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = 98.86\%$$

- pH 7

$$y = 0.1786x + 0.0584$$

$$\text{Abs rata-rata} = 0.1437$$

Ditanya:

%Degradasi = ?

Jawab:

$$y = 0.1786x + 0.0584$$

$$0.1437 = 0.1786x + 0.0584$$

$$0.0853 = 0.1786x$$

$$x = 0.4773 \text{ ppm}$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{10 \text{ ppm} - 0.4773 \text{ ppm}}{10 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{9.523}{10 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = 95.23\%$$

### L.5.2 Perhitungan Efektivitas Penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Konsentrasi	Sampel		Abs Rata-Rata	C <sub>0</sub> (ppm)	C <sub>t</sub> (ppm)	%Degradasi
	I	II				
10%	0.1299	0.1539	0.1419	10.06495	0.4675252	95.35
15%	0.1466	0.1135	0.1301	10.54983	0.4011758	96.20
<b>20%</b>	<b>0.0975</b>	<b>0.0854</b>	<b>0.0915</b>	<b>10.14894</b>	<b>0.1850504</b>	<b>98.18</b>
25%	0.1933	0.1547	0.1740	10.61702	0.6472564	93.90

• 10%

Diketahui:

$$y = 0.1786x + 0.0584$$

$$\text{Abs rata-rata} = 0.1419$$

Ditanya:

$$\% \text{Degradasi} = ?$$

Jawab:

$$y = 0.1786x + 0.0584$$

$$0.1419 = 0.1786x + 0.0584$$

$$0.0835 = 0.1786x$$

$$x = 0.4675 \text{ ppm}$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

%Degradasi

$$= \frac{10.0649 \text{ ppm} - 0.4675 \text{ ppm}}{10.0649 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{9.535}{10.0649 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = 95.35\%$$

• 15%

Diketahui:

$$y = 0.1786x + 0.0584$$

$$\text{Abs rata-rata} = 0.1301$$

Ditanya:

$$\% \text{Degradasi} = ?$$

Jawab:

$$y = 0.1786x + 0.0584$$

$$0.1301 = 0.1786x + 0.0584$$

$$0.0717 = 0.1786x$$

$$x = 0.4011 \text{ ppm}$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

%Degradasi

$$= \frac{10.5498 \text{ ppm} - 0.4011 \text{ ppm}}{10.5498 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{9.620}{10.5498 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = 96.20\%$$

- 20%

Diketahui:

$$y = 0.1786x + 0.0584$$

$$\text{Abs rata-rata} = 0.0915$$

Ditanya:

$$\% \text{Degradasi} = ?$$

Jawab:

$$y = 0.1786x + 0.0584$$

$$0.0915 = 0.1786x + 0.0584$$

$$0.0331 = 0.1786x$$

$$x = 0.1851 \text{ ppm}$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{10.1489 \text{ ppm} - 0.1851 \text{ ppm}}{10.1489 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{9.818}{10.1489 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = 98.18\%$$

- 25%

Diketahui:

$$y = 0.1786x + 0.0584$$

$$\text{Abs rata-rata} = 0.1740$$

Ditanya:

$$\% \text{Degradasi} = ?$$

Jawab:

$$y = 0.1786x + 0.0584$$

$$0.1740 = 0.1786x + 0.0584$$

$$0.1156 = 0.1786x$$

$$x = 0.6472 \text{ ppm}$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{10.6170 \text{ ppm} - 0.6472 \text{ ppm}}{10.6170 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{9.390}{10.6170 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = 93.90\%$$

### L.5.3 Perhitungan Efektivitas Fotodegradasi Metil Violet

Uji Kontrol	Sampel		Abs Rata-Rata	C <sub>0</sub> (ppm)	C <sub>t</sub> (ppm)	%Degradasi
	I	II				
Tanpa Katalis	1.9189	1.9716	1.9453	10.61926	10.56467	0.51
TiO <sub>2</sub>	1.1573	1.2519	1.2046	10.76148	6.4176932	40.36
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0.4439	0.4344	0.4392	10	2.1318589	78.47
Zeolit	0.1253	0.1222	0.1238	10.76148	0.3659015	96.60
TiO <sub>2</sub> -Zeolit Alam	0.0798	0.0787	0.0793	10.21333	0.1167413	98.86
TiO <sub>2</sub> -Zeolit + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0.0854	0.0641	0.07475	0.091545	0.99098	99.10

• Tanpa Katalis

Diketahui:

$$y = 0.1786x + 0.0584$$

$$\text{Abs rata-rata} = 1.9453$$

Ditanya:

$$\% \text{Degradasi} = ?$$

Jawab:

$$y = 0.1786x + 0.0584$$

$$1.9453 = 0.1786x + 0.0584$$

$$x = 10.5654 \text{ ppm}$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{10.6193 \text{ ppm} - 10.5654 \text{ ppm}}{10.6193 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{0.0051}{10.6192 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = 0.51 \%$$

• TiO<sub>2</sub>

Diketahui:

$$y = 0.1786x + 0.0584$$

$$\text{Abs rata-rata} = 1.2046$$

Ditanya:

$$\% \text{Degradasi} = ?$$

Jawab:

$$y = 0.1786x + 0.0584$$

$$1.2046 = 0.1786x + 0.0584$$

$$x = 6.417 \text{ ppm}$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{10.7615 \text{ ppm} - 6.417 \text{ ppm}}{10.7615 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{4.036}{10 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = 40.36 \%$$

- H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Diketahui:

$$Y = 0.1786x + 0.0584$$

$$\text{Abs rata-rata} = 0.4392$$

Ditanya:

$$\% \text{Degradasi} = ?$$

Jawab:

$$y = 0.1786x + 0.0584$$

$$0.4392 = 0.1786x + 0.0584$$

$$x = 2.131 \text{ ppm}$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{10 \text{ ppm} - 2.131 \text{ ppm}}{10 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{7.847}{10 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = 78.47 \%$$

- Zeolit alam

Diketahui:

$$y = 0.1786x + 0.0584$$

$$\text{Abs rata-rata} = 0.1238$$

Ditanya:

$$\% \text{Degradasi} = ?$$

Jawab:

$$y = 0.1786x + 0.0584$$

$$0.1238 = 0.1786x + 0.0584$$

$$x = 0.3660 \text{ ppm}$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{10.7615 \text{ ppm} - 0.3660 \text{ ppm}}{10.7615 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{9.660}{10.7615 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = 96.60 \%$$

- TiO<sub>2</sub>-zeolit alam (pH 5)

Diketahui:

$$y = 0.1786x + 0.0584$$

$$\text{Abs rata-rata} = 0.0793$$

Ditanya:

$$\% \text{Degradasi} = ?$$

Jawab:

$$y = 0.1786x + 0.0584$$

$$0.0793 = 0.1786x + 0.0584$$

$$x = 0.1167 \text{ ppm}$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{10.2133 \text{ ppm} - 0.1167 \text{ ppm}}{10.2133 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{9.886}{10.2133 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = 98.86\%$$

- TiO<sub>2</sub>-zeolit alam + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Diketahui:

$$y = 0.1786x + 0.0584$$

$$\text{Abs rata-rata} = 0.0748$$

Ditanya:

$$\% \text{Degradasi} = ?$$

Jawab:

$$y = 0.1786x + 0.0584$$

$$0.0748 = 0.1786x + 0.0584$$

$$x = 0.9909 \text{ ppm}$$

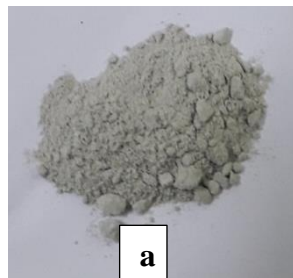
$$\% \text{Degradasi} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{10.1489 \text{ ppm} - 0.9909 \text{ ppm}}{10.1489 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = \frac{9.910}{10.1489 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$\% \text{Degradasi} = 99.10\%$$

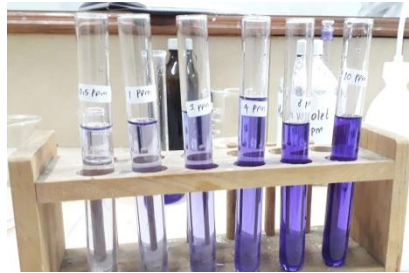
### Lampiran 6 Dokumentasi Hasil



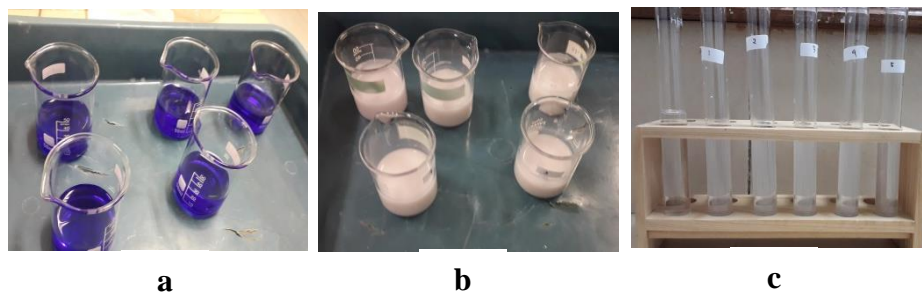
Gambar L.6.1 Zeolit sebelum aktivasi (a), dan zeolit setelah aktivasi (b)



Gambar L.6.2 Proses sintesis  $\text{TiO}_2$ -zeolit alam dengan metode sonikasi (a) dan hasil sintesis  $\text{TiO}_2$ -zeolit alam (b)



Gambar L.6.3 Pembuatan kurva standar metil violet



Gambar L.6.4 Perlakuan sebelum degradasi (a), setelah degradasi (b), dan setelah sentrifugasi (c)

