

**PENGARUH PENGEMBAN ZEOLIT ALAM DAN KARBON AKTIF  
TERHADAP FOTOKATALIS  $\text{TiO}_2\text{-N}$  DALAM MENDEGRADASI METIL  
JINGGA**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**ANDRI YULIANTO**  
**NIM. 16630049**



**PROGRAM STUDI KIMIA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2021**

**PENGARUH PENGEMBAN ZEOLIT ALAM DAN KARBON AKTIF  
TERHADAP FOTOKATALIS  $\text{TiO}_2\text{-N}$  DALAM MENDEGRADASI METIL  
JINGGA**

**SKRIPSI**

**Oleh:  
ANDRI YULIANTO  
NIM. 16630049**

**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  
2021**

**PENGARUH PENGEMBAN ZEOLIT ALAM DAN KARBON AKTIF  
TERHADAP FOTOKATALIS  $\text{TiO}_2\text{-N}$  DALAM MENDEGRADASI METIL  
JINGGA**

**SKRIPSI**

**Oleh:  
ANDRI YULIANTO  
NIM. 16630049**

**Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji  
Pada tanggal 27 Mei 2021**

**Pembimbing I**



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

**Pembimbing II**



**M. Imamudin Lc, MA  
NIP. 19740602 200901 1 010**

**Mengetahui,  
Ketua Prodi Kimia**



**Elok Kamilah Hayati, M.Si  
NIP. 19790620 200604 2 002**

**PENGARUH PENGEMBAN ZEOLIT ALAM DAN KARBON AKTIF  
TERHADAP FOTOKATALIS  $\text{TiO}_2\text{-N}$  DALAM MENDEGRADASI METIL  
JINGGA**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**ANDRI YULIANTO**  
NIM. 16630049

**Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi  
Dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Tanggal 27 Mei 2021**

<b>Penguji Utama</b>	<b>: Suci Amalia, M. Sc</b> NIP. 19821104 200901 2 007	 (.....)
<b>Ketua Penguji</b>	<b>: Anik Maunatin, S.T., M.P</b> NIP. 19760105 201801 2 068	 (.....)
<b>Sekretaris Penguji</b>	<b>: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc</b> NIDT. 19900906 20180201 2 239	 (.....)
<b>Anggota Penguji</b>	<b>: M. Imamudin Lc, MA</b> NIP. 19740602 200901 1 010	 (.....)

**Mengesahkan,  
Ketua Prodi Kimia**

  
**Elok Kamillah Hayati, M.Si**  
NIP. 19790620 200604 2 002

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Andri Yulianto

NIM : 16630049

Jurusan : Kimia

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Pengaruh Pengemban Zeolit Alam dan Karbon Aktif  
terhadap Fotokatalis  $\text{TiO}_2\text{-N}$  dalam Mendegradasi Metil  
Jingga

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 20 Juni 2021

Yang membuat pernyataan,

Andri Yulianto

NIM. 16630049

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Alhamdulillah, penulis mengucapkan rasa syukur dan terima kasih kepada Allah Swt. yang telah memberikan kesempatan untuk bisa menyelesaikan skripsi ini.*

*Pertama, penulis persembahkan karya ini untuk kedua orang tua tercinta yaitu Bapak Daryanto dan Ibu Widyawati Ningsih, yang senantiasa mendoakan dan berpesan kepada penulis untuk tetap belajar dan berjuang menjadi insan yang kuat serta mandiri dalam menghadapi segala tantangan hidup.*

*Kedua, penulis persembahkan karya ini untuk:*

- 1. Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc*
- 2. Muhammad Imamudin Lc, MA*
- 3. Suci Amalia, M.Sc*
- 4. Anik Maunatin, S.T., M.P*

*yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan nasehat selama penulisan karya ini.*

*Ketiga, penulis persembahkan karya ini untuk Teman seperjuangan Jurusan Kimia Angkatan 2016 yang telah menemani dalam perjuangan penulis selama perkuliahan di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.*

*Terakhir, penulis persembahkan karya ini untuk Teman seperjuangan Pondok Pesantren Anwarul Huda Malang yang telah banyak memberikan ilmu agama serta nasehat tentang kehidupan.*

*Selamat tinggal Kota Malang, terima kasih atas waktu dan pengalaman yang sangat luar biasa. Semooga kita dapat berjumpa lagi di kemudian hari.*

*See you. . .*

MOTTO

"خَيْرُ النَّاسِ أَنْفَعُهُمُ لِلنَّاسِ"

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Alhamdulillah* rabbil'alam, segala puji syukur kepada Allah Swt. yang telah memberikan rahmat, taufik, hidayah serta inayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Selawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad saw., hamba Allah Swt. yang detik demi detik hidupnya digunakan untuk mengabdikan kepada Allah Swt. Skripsi yang telah penulis susun ini berjudul **“Pengaruh Pengemban Zeolit Alam dan Karbon Aktif terhadap Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N dalam Mendegradasi Metil Jingga”**.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini tidak akan tersusun dengan baik tanpa adanya bantuan dari pihak-pihak yang terkait. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Abdul Haris selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
3. Elok Kamilah Hayati, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
4. Lulu'atul Hamudatu Ulya, M.Sc selaku Dosen Pembimbing Jurusan Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
5. M. Imamudin Lc, MA selaku Dosen Pembimbing Agama Jurusan Teknik Informatika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
6. Suci Amalia, M.Sc selaku Dosen Penguji Utama Jurusan Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
7. Anik Maunatin, S.T., M.P selaku Dosen Ketua Penguji Jurusan Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
8. Semua Laboran PJ. Laboratorium Kimia UIN Malang yakni Rika Dian N., S.Si; Mei Rhomawati, S.Si; Isnaeni H., S.Si; M. Chalid Al Ayubi, S.Si; Susilowati, S.Si; Moh. Taufiq, S.Si; M. Royanudin, S.Si atas bantuan pemakaian instrument dan jasa analisis selama proses penelitian
9. Laboratorium Kimia Analisis Glabs Indonesia atas bantuan jasa analisis Difraksi Sinar-X bubuk (XRD)

10. Ibu, Bapak, adik dan keluarga yang selalu mendoakan serta memberi dukungan dengan sepenuh hati
11. Teman-teman Kimia angkatan 2016 Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah membantu penyusunan skripsi ini baik dari segi ide dan waktu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini, baik dari segi bahasa maupun pembahasan. Penulis berharap semoga susunan skripsi ini dapat bermanfaat bagi banyak orang dan menambah wawasan ilmu pengetahuan. Amiin.

Malang, 20 Juni 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>MOTTO</b> .....	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xiv</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xvi</b>
<b>المخلص</b> .....	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan Penelitian .....	6
1.4 Batasan Masalah .....	6
1.5 Manfaat Penelitian .....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
2.1 Material Semikonduktor TiO <sub>2</sub> sebagai Fotokatalis .....	7
2.2 Mekanisme Fotokatalisis dengan Material Semikonduktor TiO <sub>2</sub> .....	10
2.3 Penggunaan Dopan N sebagai Peningkatan Aktivitas Fotokatalisis .....	13
2.4 Material Penyangga .....	15
2.4.1 Zeolit Alam .....	15
2.4.2 Karbon Aktif .....	17
2.5 Degradasi Metil Jingga dengan Fotokatalis TiO <sub>2</sub> .....	19
2.6 Sintesis Fotokatalis dengan Metode Sonikasi .....	22
2.7 Karakterisasi Material Fotokatalis .....	22
2.7.1 Identifikasi Fasa dan Ukuran Kristal dengan XRD .....	22
2.7.2 Identifikasi Energi Celah Pita dengan UV-Vis DRS .....	24
2.8 Pandangan Islam terhadap Pencemaran Lingkungan dan Usaha Mengatasinya .....	26
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>31</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	31
3.2 Alat dan Bahan .....	31
3.2.1 Alat .....	31
3.2.2 Bahan .....	31
3.3 Tahapan Penelitian .....	31
3.4 Prosedur Kerja .....	32
3.4.1 Pembuatan Larutan .....	32
3.4.1.1 Pembuatan Larutan Induk Metil Jingga 1000 ppm .....	32

3.4.1.2 Pembuatan Larutan Kurva Standar .....	32
3.4.1.3 Pembuatan Larutan Sampel Metil Jingga .....	32
3.4.1.4 Pembuatan Panjang Gelombang Maksimum Metil Jingga ...	32
3.4.1.5 Penentuan Kurva Standar Metil Jingga.....	33
3.4.2 Pembuatan Fotokatalis TiO <sub>2</sub> -N/Zeolit Alam dan TiO <sub>2</sub> -N/Karbon Aktif .....	33
3.4.2.1 Preparasi Zeolit Alam dan Karbon Aktif .....	33
3.4.2.2 Aktivasi Zeolit Alam dan Karbon Aktif.....	33
3.4.2.3 Sintesis TiO <sub>2</sub> -N .....	33
3.4.2.4 Impregnasi Zeolit Alam dan Karbon Aktif .....	34
3.4.3 Karakterisasi Fotokatalis Menggunakan XRD dan UV-Vis DRS ....	34
3.4.3.1 Identifikasi Fasa dan Ukuran Kristal Fotokatalis TiO <sub>2</sub> -N/Zeolit Alam dan TiO <sub>2</sub> -N/Karbon Aktif dengan <i>X-Ray Diffraction</i> .....	34
3.4.3.2 Identifikasi Energi Celah Pita Fotokatalis TiO <sub>2</sub> -N/Zeolit Alam dan TiO <sub>2</sub> -N/Karbon Aktif Menggunakan UV-Vis <i>Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> .....	35
3.4.4 Uji Efektivitas Degradasi Metil Jingga Menggunakan Fotokatalis TiO <sub>2</sub> -N/Zeolit Alam dan TiO <sub>2</sub> -N/Karbon Aktif.....	35
3.5 Analisis Data .....	36
3.5.1 Analisis Data XRD.....	36
3.5.2 Analisis Data UV-Vis DRS.....	36
3.5.3 Analisis Data Aktivitas Fotokatalisis .....	36
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>38</b>
4.1 Analisis Karakterisasi Struktur Fotokatalis TiO <sub>2</sub> -N/Zeolit Alam dan TiO <sub>2</sub> -N/Karbon Aktif Menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> .....	39
4.2 Analisis Karakterisasi Energi Celah Pita Fotokatalis TiO <sub>2</sub> -N/Zeolit Alam Dan TiO <sub>2</sub> -N/Karbon Aktif Menggunakan UV-Vis <i>Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> .....	42
4.3 Analisis Efektivitas Degradasi Metil Jingga Menggunakan Fotokatalis TiO <sub>2</sub> -N/Zeolit Alam dan TiO <sub>2</sub> -N/Karbon Aktif.....	47
4.4 Hasil Penelitian dalam Perspektif Islam .....	56
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>59</b>
5.1 Kesimpulan .....	59
5.2 Saran.....	59
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>60</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>66</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Eksitasi elektron material semikonduktor .....	7
<b>Gambar 2.2</b> Nilai energi celah pita, posisi pita valensi, posisi pita konduksi, dan potensial redoks dari berbagai semikonduktor.....	8
<b>Gambar 2.3</b> Struktur kristal TiO <sub>2</sub> : (a) anatase dan (b) rutil.....	9
<b>Gambar 2.4</b> Mekanisme reaksi fotokatalisis pada TiO <sub>2</sub> .....	11
<b>Gambar 2.5</b> Aktivitas fotokatalis TiO <sub>2</sub> dalam mendegradasi metil jingga.....	12
<b>Gambar 2.6</b> Kurva hubungan antara konsentrasi fotokatalis TiO <sub>2</sub> -N terhadap persen degradasi larutan metil jingga.....	14
<b>Gambar 2.7</b> Struktur zeolit .....	15
<b>Gambar 2.8</b> Struktur zeolit alam modernit .....	16
<b>Gambar 2.9</b> Diagram batang hubungan variasi konsentrasi TiO <sub>2</sub> -zeolit terhadap konstanta laju degradasi metil biru.....	16
<b>Gambar 2.10</b> SEM karbon aktif.....	17
<b>Gambar 2.11</b> DRS (a) plot Kubelka-Munk, (b) plot P25, TiO <sub>2</sub> murni, TiO <sub>2</sub> /karbon aktif .....	18
<b>Gambar 2.12</b> Struktur metil jingga .....	20
<b>Gambar 2.13</b> Pengaruh variasi konsentrasi metil jingga terhadap aktivitas fotokatalis TiO <sub>2</sub> -plat kaca.....	21
<b>Gambar 2.14</b> Hasil karakterisasi XRD .....	23
<b>Gambar 2.15</b> Refleksi spekular dan refleksi difusi.....	25
<b>Gambar 2.16</b> Hasil karakterisasi UV-Vis DRS .....	25
<b>Gambar 4.1</b> Hasil beberapa fotokatalis .....	38
<b>Gambar 4.2</b> Pola difraksi TiO <sub>2</sub> -N/Zeolit Alam dan TiO <sub>2</sub> -N/Karbon Aktif .....	39
<b>Gambar 4.3</b> Hubungan antara % reflektansi dengan panjang gelombang.....	43
<b>Gambar 4.4</b> Hubungan antara nilai absorbansi dengan panjang gelombang.....	43
<b>Gambar 4.5</b> Hubungan antara Kubelka-Munk dengan panjang gelombang .....	44
<b>Gambar 4.6</b> Hasil nilai energi celah pita .....	45
<b>Gambar 4.7</b> Panjang gelombang maksimum metil jingga.....	48
<b>Gambar 4.8</b> Kurva standar larutan metil jingga .....	48
<b>Gambar 4.9</b> Mekanisme reaksi degradasi senyawa azo metil jingga .....	55
<b>Gambar L.4.1</b> Pola difraksi standar JCPDS TiO <sub>2</sub> anatase .....	75
<b>Gambar L.4.2</b> Pola difraksi standar JCPDS TiO <sub>2</sub> rutil.....	79
<b>Gambar L.4.3</b> Pola difraksi standar JCPDS karbon aktif.....	83
<b>Gambar L.4.4</b> Pola difraksi standar JCPDS zeolit alam .....	85
<b>Gambar L.4.5</b> Pola difraksi sampel TiO <sub>2</sub> -N/Karbon Aktif .....	90
<b>Gambar L.4.6</b> Pola difraksi sampel TiO <sub>2</sub> -N/Zeolit Alam .....	91
<b>Gambar L.5.1.1</b> Grafik penentuan nilai % reflektansi TiO <sub>2</sub> .....	94
<b>Gambar L.5.1.2</b> Grafik penentuan nilai % reflektansi TiO <sub>2</sub> -N .....	95
<b>Gambar L.5.1.3</b> Grafik penentuan nilai % reflektansi TiO <sub>2</sub> -N/Karbon Aktif... ..	96
<b>Gambar L.5.1.4</b> Grafik penentuan nilai % reflektansi TiO <sub>2</sub> -N/Zeolit Alam....	97
<b>Gambar L.5.2.1</b> Grafik penentuan nilai F(R) TiO <sub>2</sub> .....	98
<b>Gambar L.5.2.2</b> Grafik penentuan nilai F(R) TiO <sub>2</sub> -N .....	99
<b>Gambar L.5.2.3</b> Grafik penentuan nilai F(R) TiO <sub>2</sub> -N/Karbon Aktif .....	100
<b>Gambar L.5.2.4</b> Grafik penentuan nilai F(R) TiO <sub>2</sub> -N/Zeolit Alam .....	101
<b>Gambar L.5.3.1</b> Grafik penentuan nilai absorbansi TiO <sub>2</sub> .....	102
<b>Gambar L.5.3.2</b> Grafik penentuan nilai absorbansi TiO <sub>2</sub> -N .....	103

<b>Gambar L.5.3.3</b>	Grafik penentuan nilai absorbansi $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Karbon Aktif.....	104
<b>Gambar L.5.3.4</b>	Grafik penentuan nilai absorbansi $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Zeolit Alam.....	105
<b>Gambar L.5.4.1</b>	Grafik nilai energi celah pita $\text{TiO}_2$ .....	106
<b>Gambar L.5.4.2</b>	Grafik nilai energi celah pita $\text{TiO}_2\text{-N}$ .....	107
<b>Gambar L.5.4.3</b>	Grafik nilai energi celah pita $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Karbon Aktif .....	108
<b>Gambar L.5.4.4</b>	Grafik nilai energi celah pita $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Zeolit Alam .....	109
<b>Gambar L.6.4</b>	Grafik % degradasi beberapa sampel fotokatalis .....	142
<b>Gambar L.7.1</b>	Grafik % uji rancangan acak lengkap SPSS .....	144

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Data sifat P25, TiO <sub>2</sub> murni, dan TiO <sub>2</sub> /karbon aktif.....	18
<b>Tabel 2.2</b> Data sifat P25, TiO <sub>2</sub> murni, dan TiO <sub>2</sub> /karbon aktif.....	19
<b>Tabel 2.3</b> Nama dan struktur kimia kromofor .....	20
<b>Tabel 3.1</b> Perbandingan massa TiO <sub>2</sub> , N, zeolit alam, dan karbon aktif.....	34
<b>Tabel 4.1</b> Ukuran kristal beberapa sampel fotokatalis .....	41
<b>Tabel 4.2</b> Energi celah pita dan daerah serapan panjang gelombang.....	46
<b>Tabel 4.3</b> Degradasi (%) beberapa variasi sampel fotokatalis .....	49
<b>Tabel 4.4</b> Data duncan SPSS .....	50
<b>Tabel L.4.7</b> Hasil ukuran kristal beberapa sampel fotokatalis .....	93
<b>Tabel L.5.5</b> Hasil energi celah pita dan daerah serapan panjang gelombang ....	111
<b>Tabel L.6.4.1</b> Hasil degradasi (%) sampel fotokatalis full data .....	141
<b>Tabel L.6.4.2</b> Hasil degradasi (%) 3 absorbansi terbaik .....	142
<b>Tabel L.7.1</b> Data anova SPSS .....	143
<b>Tabel L.7.2</b> Data duncan SPSS .....	143

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1</b>	Diagram alir penelitian .....	66
<b>Lampiran 2</b>	Skema kerja penelitian.....	67
<b>Lampiran 3</b>	Perhitungan penelitian .....	72
<b>Lampiran 4</b>	Hasil karakterisasi menggunakan XRD.....	75
<b>Lampiran 5</b>	Hasil karakterisasi menggunakan UV-Vis DRS.....	94
<b>Lampiran 6</b>	Hasil analisis Spektrofotometer UV-Vis .....	112
<b>Lampiran 7</b>	Hasil analisis uji rancangan acak lengkap SPSS .....	144
<b>Lampiran 8</b>	Dokumentasi penelitian .....	145

## ABSTRAK

Yulianto, A. 2021. **Pengaruh Pengemban Zeolit Alam dan Karbon Aktif terhadap Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N dalam Mendegradasi Metil Jingga. Skripsi.** Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing I: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc, Pembimbing II: M. Imamudin Lc, MA.

---

**Kata Kunci:** Fotokatalis, TiO<sub>2</sub>, Zeolit Alam, Karbon Aktif, Sonikasi

Metil jingga merupakan limbah cair organik yang mengandung zat warna berbahaya yang bersifat toksik dan sulit didegradasi di dalam perairan. Salah satu upaya penanggulangan terhadap limbah cair organik ini adalah mendegradasinya menggunakan material fotokatalis. Penelitian ini dilakukan pengaruh pengemban zeolit alam dan karbon aktif terhadap fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N dalam mendegradasi metil jingga. Komposisi yang digunakan pada sintesis TiO<sub>2</sub>:N (%) yaitu sebesar (95:5), sedangkan komposisi yang digunakan pada impregnasi TiO<sub>2</sub>-N:Zeolit Alam dan TiO<sub>2</sub>-N:Karbon Aktif (gr) yaitu sebesar (1,8:3). Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam dan TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)* untuk menentukan fasa dan ukuran kristal senyawa yang dihasilkan, sedangkan karakterisasi menggunakan *UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS)* untuk menentukan energi celah pita hasil material hasil sintesis, serta dilakukan uji aktivitas fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam dan TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif dalam mendegradasi metil jingga. Hasil XRD menunjukkan bahwa fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif dan TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam memiliki fasa tunggal (anatas), sedangkan ukuran kristalnya yaitu TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif sebesar 56,84 nm dan TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam sebesar 47,37 nm. Hasil UV-Vis DRS menunjukkan bahwa fotokatalis TiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>-N, TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif dan TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam memiliki energi celah pita masing-masing sebesar 3,05 eV; 3,00 eV; 2,80 eV; dan 2,76 eV. Hasil analisis UV-Vis menunjukkan bahwa aktivitas variasi fotokatalis metil jingga, karbon aktif, zeolit alam, TiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>-N, TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif dan TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam memiliki % degradasi metil jingga masing-masing sebesar 29,05%, 33,52%, 37,74%, 48,54%; 52,96%; 53,03%; dan 56,04%. Berdasarkan hasil analisis tersebut, dapat diketahui bahwa penambahan zeolit alam dan karbon aktif dapat meningkatkan aktivitas fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N. Pengemban zeolit alam menunjukkan % degradasi yang lebih besar dibandingkan dengan pengemban karbon aktif.

## ABSTRACT

Yulianto, A. 2021. **Effect of Natural Zeolite and Active Carbon Carrier on TiO<sub>2</sub>-N Photocatalyst in Degradating Methyl Orange**. Thesis. Departemen of Chemistry, Science and Technology Faculty, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor I: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc, Supervisor II: M. Imamudin Lc, MA.

---

**Keywords:** Photocatalyst, TiO<sub>2</sub>, Natural Zeolite, Activated Carbon, Sonication

Methyl orange is an organic liquid waste that contains hazardous dyes which are toxic and difficult to degrade in the waters. One of the efforts to overcome this organic liquid waste is to degrade it using photocatalyst materials. The research was carried out effect of natural zeolite and activated carbon carrier on TiO<sub>2</sub>-N photocatalyst in degradating methyl orange. The composition used in the synthesis of TiO<sub>2</sub>:N (%) is equal to (95:5), while the composition used in the impregnation of TiO<sub>2</sub>-N:Natural Zeolite and TiO<sub>2</sub>-N:Activated Carbon (gr) is equal to (1.8:3). Photocatalysts TiO<sub>2</sub>-N/Natural Zeolite and TiO<sub>2</sub>-N/Activated Carbon are characterized using X-Ray Diffraction (XRD) to determine the phase and crystal size of the resulting compound, while characterization using Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS) to determine the band gap energy of the resulting material synthesis, and testing of TiO<sub>2</sub>-N/Natural Zeolite and TiO<sub>2</sub>-N/Activated Carbon photocatalyst activity in degradation of methyl orange. XRD results showed that the photocatalyst TiO<sub>2</sub>-N/Activated Carbon and TiO<sub>2</sub>-N/Natural Zeolite had a single phase (anatas), while the crystal size of TiO<sub>2</sub>-N/Activated Carbon was 56.84 nm and TiO<sub>2</sub>-N/Natural Zeolite was 47, 37 nm. The UV-Vis DRS results showed that the photocatalysts TiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>-N, TiO<sub>2</sub>-N/Activated Carbon and TiO<sub>2</sub>-N/Natural Zeolite had each gap energy of 3.05 eV; 3.00 eV; 2.80 eV; and 2.76 eV. The results of UV-Vis analysis showed that the photocatalyst activity variation of metil orange, activated carbon, narutal zeolite, TiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>-N, TiO<sub>2</sub>-N/Activated Carbon and TiO<sub>2</sub>-N/Natural Zeolite had % degradation of methyl orange respectively 29,05%, 33,52%, 37,74%, 48,54%; 52,96%; 53,03%; dan 56,04%. Based on the results of this analysis, it can be seen that the addition of natural zeolite and activated carbon can increase the activity of TiO<sub>2</sub>-N photocatalysts. Natural zeolite carriers show a greater % degradation compared to activated carbon carriers.

## المخلص

بولينوتو ، أ. (2021). تأثير ناقلات الزيوليت الطبيعي و الكربون المنشط على محفز  $TiO_2-N$  الضوئي في تآكل برتقال الميثيل. البحث العلمي. قسم الكيمياء ، كلية العلوم و التكنولوجيا ، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول: لؤلؤة الحميدة عليا الماجستير ؛ المشرف الثاني: محمد إمام الدين الماجستير.

الكلمات المفتاحية: محفز ضوئي ،  $TiO_2$  ، زيوليت طبيعي ، كربون منشط ، صوتنة

الميثيل البرتقالي هو نفايات سائلة عضوية تحتوي على أصباغ خطرة سامة ويصعب تحللها في المياه. أحد الإجراءات المضادة ضد هذه النفايات السائلة العضوية هو تحللها باستخدام مادة محفز ضوئي. تم إجراء هذا البحث على تأثير الزيوليت الطبيعي والكربون المنشط على المحفز الضوئي  $TiO_2-N$  في تحلل برتقال الميثيل. التركيبة المستخدمة في تخليق  $TiO_2:N$  (%) هي (5:95) ، في حين أن التركيبة المستخدمة في تشريب  $TiO_2-N$  : الزيوليت الطبيعي و  $TiO_2-N$  : الكربون المنشط (غرام) هي (8،1:3). تم تمييز المحفزات الضوئية الطبيعية  $TiO_2-N$ /الزيوليت و  $TiO_2-N$ /الكربون المنشط باستخدام حيود الأشعة السينية (XRD) لتحديد الطور و الحجم البلوري للمركبات الناتجة ، في حين استخدم التوصيف التحليل الطيفي للانعكاس المنتشر (UV-VIS DRS) لتحديد تم إجراء طاقة فجوة النطاق للناتج. المواد المصنعة ، و اختبار نشاط الحفز الضوئي للزيوليت الطبيعي  $TiO_2-N$  و/الزيوليت الطبيعي  $TiO_2-N$ /الكربون المنشط في تحلل برتقال الميثيل. أظهرت نتائج XRD أن المحفز الضوئي  $TiO_2-N$ /الكربون المنشط و  $TiO_2-N$ /الزيوليت الطبيعي له مرحلة واحدة (anatase) ، بينما كان الحجم البلوري لـ  $TiO_2-N$ /الكربون المنشط 56.84 نانومتر و  $TiO_2-N$ /الزيوليت الطبيعي كان 47 ، 37 نانومتر. أظهرت نتائج UV-VIS DRS أن المحفزات الضوئية  $TiO_2$  و  $TiO_2-N$  و  $TiO_2-N$ /الكربون المنشط و  $TiO_2-N$ /الزيوليت الطبيعي لديها طاقة فجوة نطاق تبلغ 3.05 لكل منها ؛ 3.00 ؛ 2.80 ؛ و 2.76 فولت. أظهرت نتائج تحليل UV-Vis أن النشاط التحفيزي الضوئي للمحفزات الضوئية لبرتقال الميثيل ، و الكربون المنشط ، و الزيوليت الطبيعي ، و  $TiO_2$  و  $TiO_2-N$  و  $TiO_2-N$  لكل  $TiO_2-N$ /الكربون المنشط و  $TiO_2-N$ /الزيوليت الطبيعي ، تحلل بنسبة مئوية من برتقال الميثيل كل من 29.05 ؛ 33.52 ؛ 37.74 ؛ 48.54 ؛ 52.96 ؛ 53.03 ؛ و 56.04. بناءً على نتائج هذا التحليل ، يمكن ملاحظة أن إضافة الزيوليت الطبيعي و الكربون المنشط يمكن أن يزيد من نشاط المحفزات الضوئية  $TiO_2-N$ . تظهر ناقلات الزيوليت الطبيعي نسبة مئوية أكبر من التدهور مقارنة بحاملات الكربون المنشط.

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri di Indonesia berjalan sangat cepat dari tahun ke tahun. Salah satu industri yang memberikan keuntungan yang sangat besar dalam peningkatan ekonomi masyarakat adalah industri tekstil. Namun dibalik dampak positif tersebut, masih terdapat dampak negatif dari industri tekstil yaitu dapat merusak lingkungan. Rusaknya lingkungan diakibatkan oleh adanya limbah cair organik yang mengandung bahan-bahan berbahaya dan beracun yang dapat mengganggu proses biologi dengan cara menghalangi sinar matahari yang menembus ke dalam lingkungan perairan. Limbah cair organik dapat berasal dari proses-proses industri seperti industri metalurgi, industri penyamakan kulit, industri pembuatan fungisida, industri cat dan zat warna tekstil. Beberapa limbah cair organik di antaranya metil jingga, metil biru, senyawa turunan fenol, tetrasilina dan klorobenzena (Riyani, dkk., 2008).

Metil jingga merupakan zat warna tekstil dengan rumus  $C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$  yang bersifat *non-biodegradable*, umumnya metil jingga dibuat dari senyawa azo dan turunannya yaitu gugus benzena. Senyawa azo digunakan sebagai senyawa celup yang dinamakan azo *dyes*. Senyawa azo memiliki sifat karsinogenik dan mutagenik yang dapat merusak lingkungan apabila terlalu lama berada di dalam lingkungan perairan (Amalina, dkk., 2016).

Lingkungan perairan merupakan semesta alam yang diciptakan Allah SWT yang memiliki banyak manfaat bagi makhluk hidup. Oleh karena itu manusia harus bisa mengelola dan menjaga lingkungan perairan dengan baik dan tidak merusaknya. Hal ini telah di jelaskan di dalam al-Qur'an, seperti yang terdapat di dalam surat asy-Syurâ' (26) ayat 183 sebagai berikut:

وَلَا تَبْخَسُوا النَّاسَ أَشْيَاءَهُمْ وَلَا تَعْتُوا فِي الْأَرْضِ مُفْسِدِينَ ۝ ١٨٣

Artinya:

*“Dan janganlah kamu merugikan manusia pada hak-haknya dan janganlah kamu merajalela di muka bumi dengan membuat kerusakan”* (Qs. Asy-Syurâ’/26 : 183).

Menurut tafsir Ibnu Katsir oleh Dr. Abdullah bin Muhammad bin Abdurrahman bin Ishaq Alu Syaikh, ayat ini ditujukan kepada seluruh manusia, baik yang mukmin maupun kafir. Allah SWT telah memberikan karunia kepada manusia berupa segala keindahan alam yang ada di bumi dan Allah SWT memerintahkan kepada mereka untuk tidak merajalela dan tidak merusaknya, serta selalu menjaga kelestarian alam supaya keindahan alam yang ada di bumi tetap terjaga (Abdullah, 2010). Oleh sebab itu, penelitian material fotokatalis ini merupakan salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menyelesaikan masalah yang ada di bumi khususnya mengenai kerusakan lingkungan perairan.

Limbah cair organik yang diproduksi oleh industri tekstil kerap kali menjadi permasalahan lingkungan karena dapat menyebabkan pencemaran air, sehingga diperlukan solusi untuk mengatasinya. Beberapa cara yang telah dilakukan untuk mengatasi pencemaran air yaitu menggunakan netralisasi, koagulasi, adsorpsi, dan fotokatalisis. Penggunaan fotokatalisis dianggap sebagai solusi terbaik dalam mengatasi masalah pencemaran air, hal ini dikarenakan fotokatalisis mempunyai beberapa kelebihan yaitu: sumber energi yang digunakan berupa cahaya matahari dan dapat meningkatkan laju reaksi oksidasi dan reduksi. Metode pengolahan fotokatalisis menawarkan solusi yang efektif dan mudah dalam mendegradasi limbah cair organik (Bere, 2013).

Beberapa jenis fotokatalis yang digunakan untuk proses fotokatalisis seperti  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CdS}$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{GaP}$ ,  $\text{SiC}$ , dan  $\text{WO}_3$ . Fotokatalis yang paling sering digunakan dalam proses fotokatalisis adalah senyawa  $\text{TiO}_2$  karena ekonomis, ramah lingkungan, stabilitas terhadap foton yang baik, dan aktivitas fotokatalis yang tinggi. Kelebihan  $\text{TiO}_2$  dibandingkan dengan material semikonduktor lain ialah tidak bersifat toksik dan kemampuannya dapat digunakan berulang kali tanpa kehilangan aktivitas fotokatalisnya (Choi, dkk., 2009). Selain itu, fotokatalis  $\text{TiO}_2$  juga dapat memanfaatkan cahaya matahari sebagai sumber energi yang dapat mengubah senyawa-senyawa yang bersifat toksik menjadi senyawa yang tidak berbahaya. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Tussa'adah (2015), yang melaporkan bahwa fotokatalis  $\text{TiO}_2$  dapat digunakan dalam mendegradasi air limbah tekstil, yang dibuktikan pada berubahnya warna air limbah tekstil menjadi bening ketika ditambahkan fotokatalis  $\text{TiO}_2$ . Namun, di sisi lain  $\text{TiO}_2$  memiliki dua

kelemahan yaitu nilai energi celah pitanya terlalu lebar sekitar (anatas: 3,2 eV, rutil: 3,04 eV) yang mengakibatkan fotokatalis  $\text{TiO}_2$  hanya aktif pada sinar UV dan aktivitas fotokatalis semikonduktor  $\text{TiO}_2$  dalam mendegradasi polutan masih lemah (Tian, dkk., 2009).

Usaha yang dilakukan untuk mengatasi kelemahan  $\text{TiO}_2$  terkait dengan nilai energi celah pita salah satunya adalah melakukan pendopongan dengan unsur non logam N karena memiliki energi ionisasi yang kecil, ukuran yang tidak jauh berbeda dengan oksigen, dan dapat mempersempit energi celah pita. Dopan N diperoleh dari urea karena memiliki kandungan nitrogen yang cukup tinggi, mudah didapat, dan harganya relatif murah. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Asahi dan Morikawa (2007), yang melaporkan bahwa dopan N yang masuk ke dalam  $\text{TiO}_2$  dapat mempengaruhi energi celah pita yang dimiliki  $\text{TiO}_2$ , karena terjadi pencampuran yang kuat antara orbital atom N dan atom O. Dengan masuknya atom N akan mempersempit energi celah pita, sehingga menjadikan aktivitas fotokatalis bergeser dari sinar UV ke sinar tampak. Dilaporkan pula bahwa substitusi sebagian atom O oleh N dalam  $\text{TiO}_2$  akan menghasilkan penyempitan energi celah pita yang didorong oleh pencampuran atom N dengan atom O. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Fraditasari, dkk. (2015), yang melaporkan bahwa penambahan dopan N pada fotokatalis  $\text{TiO}_2$  dapat meningkatkan aktivitas degradasi terhadap metil jingga. Fotokatalis  $\text{TiO}_2$  yang ditambahkan dopan N pada konsentrasi 1,6 g/L menggunakan sinar UV didapatkan persen degradasi metil jingga sebesar 26,8%, sedangkan fotokatalis  $\text{TiO}_2$  yang ditambahkan dopan N pada konsentrasi 3,2 g/L menggunakan sinar UV didapatkan persen degradasi metil jingga sebesar 52,41%. Hal ini membuktikan bahwa dopan N dapat mempengaruhi aktivitas degradasi fotokatalis  $\text{TiO}_2$ . Semakin besar konsentrasi dopan N yang ditambahkan pada fotokatalis  $\text{TiO}_2$ , maka semakin besar aktivitas fotokatalis  $\text{TiO}_2$  dalam mendegradasi limbah cair.

Selain itu, untuk mengatasi kelemahan  $\text{TiO}_2$  terkait lemahnya aktivitas fotokatalis semikonduktor  $\text{TiO}_2$  dalam mendegradasi polutan yaitu dengan melakukan sintesis material penyangga pada fotokatalis semikonduktor  $\text{TiO}_2$ . Menurut Shankar, dkk. (2006), fotokatalis  $\text{TiO}_2$  yang diimbangkan menggunakan

material penyangga dapat meningkatkan kemampuan fotokatalis. Beberapa material penyangga yang dapat digunakan yaitu zeolit alam dan karbon aktif.

Zeolit alam adalah salah satu jenis mineral kekayaan alam Indonesia yang dapat kita manfaatkan sebagai material penyangga terhadap semikonduktor  $\text{TiO}_2$  sehingga dapat meningkatkan aktivitas fotokatalisnya. Manfaat zeolit alam sebagai material penyangga terhadap material katalis ialah mampu memperbesar luas permukaan sehingga dapat memperkecil kemungkinan agregasi  $\text{TiO}_2$  pada permukaannya (Shankar, dkk., 2006). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Damayanti, dkk. (2014), yang melaporkan bahwa penambahan konsentrasi zeolit alam pada  $\text{TiO}_2$  dapat meningkatkan aktivitas fotokatalis dalam mendegradasi metil biru. Fotokatalis  $\text{TiO}_2$  yang ditambahkan zeolit alam pada konsentrasi 5 mmol/g dapat menghasilkan konstanta laju degradasi sebesar  $0,008 \text{ menit}^{-1}$ , sedangkan fotokatalis  $\text{TiO}_2$  yang ditambahkan zeolit alam pada konsentrasi 10 mmol/g dapat menghasilkan konstanta laju degradasi sebesar  $0,019 \text{ menit}^{-1}$ . Hal ini membuktikan bahwa zeolit alam dapat mempengaruhi aktivitas degradasi fotokatalis  $\text{TiO}_2$ . Semakin besar konsentrasi zeolit alam yang ditambahkan pada fotokatalis  $\text{TiO}_2$ , maka semakin besar aktivitas fotokatalis  $\text{TiO}_2$  dalam mendegradasi limbah cair.

Karbon aktif adalah salah satu adsorben dengan kemampuan absorpsi yang tinggi yang dapat meningkatkan aktivitas fotokatalis dengan cara memodifikasi struktur, luas permukaan dan ukuran kristal (Zaleska, 2008). Menurut Basuki (2007), karbon aktif merupakan adsorben yang tepat untuk disisipkan katalis  $\text{TiO}_2$  karena dapat menangkap dan menjerap partikel-partikel sangat halus, selain itu tidak bersifat toksik, mudah didapat dan ekonomis. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Martins, dkk. (2016), yang melaporkan bahwa  $\text{TiO}_2$  yang diimbangkan pada karbon aktif dapat memperluas permukaan dan menghasilkan ukuran kristal yang lebih kecil. Penambahan karbon aktif pada fotokatalis  $\text{TiO}_2$  juga dapat memperkecil energi celah pita. Energi celah pita  $\text{TiO}_2$  murni yaitu 3,07 eV, sedangkan setelah diimbangkan pada karbon aktif menghasilkan energi celah pita sebesar 3,04 eV.  $\text{TiO}_2$  yang diimbangkan pada karbon aktif hanya membutuhkan waktu 16 menit untuk mendegradasi metil jingga 50 mg/L dibandingkan  $\text{TiO}_2$  murni yang membutuhkan waktu 23 menit.

Berbagai metode telah digunakan untuk mensintesis suatu fotokatalis antara lain, metode sol-gel, metode padatan, polimerisasi kompleks, dan sonikasi. Salah satu metode paling populer dan sering digunakan untuk mensintesis suatu fotokatalis adalah sonikasi. Menurut Kas dan Birer (2012), metode sonikasi (*Ultrasonic Irradiation*) merupakan salah satu metode alternatif yang dapat dikembangkan untuk fabrikasi nanopartikel yang memanfaatkan gelombang ultrasonik dengan frekuensi 42 kHz. Metode sonikasi banyak digunakan untuk sintesis berbagai oksida logam dan non logam dengan memanfaatkan efek kavitasi yang dapat memecah agregat kristal berukuran besar menjadi agregat berukuran kecil hingga dapat berskala nano. Selain itu metodenya lebih mudah, laju reaksi cepat, membutuhkan energi kecil dengan suhu rendah, tidak memerlukan katalis, dan hasil yang diperoleh maksimal (Lestari, 2012).

Berdasarkan uraian di atas, maka dalam penelitian ini akan dilakukan pengaruh pengemban zeolit alam dan karbon aktif terhadap fotokatalis  $\text{TiO}_2\text{-N}$  dalam mendegradasi metil jingga. Fotokatalis  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Zeolit Alam dan  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Karbon Aktif dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) yang bertujuan untuk mengetahui fasa dan ukuran kristal senyawa yang dihasilkan, sedangkan karakterisasi menggunakan *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (DRS) bertujuan untuk mengetahui nilai energi celah pita material hasil sintesis, serta dilakukan uji aktivitas fotokatalis  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Zeolit Alam dan  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Karbon Aktif dalam mendegradasi metil jingga.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana fasa dan ukuran kristal dan nilai energi celah pita dari fotokatalis  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Zeolit Alam dan  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Karbon Aktif yang disintesis menggunakan metode sonikasi?
- b. Bagaimana aktivitas fotodegradasi metil jingga menggunakan fotokatalis  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Zeolit Alam dan  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Karbon Aktif?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Untuk mengetahui fasa dan ukuran kristal dan nilai energi celah pita dari fotokatalis  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Zeolit Alam dan  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Karbon Aktif yang disintesis menggunakan metode sonikasi.
- b. Untuk mengetahui aktivitas fotodegradasi metil jingga menggunakan fotokatalis  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Zeolit Alam dan  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Karbon Aktif.

### 1.4 Batasan Masalah

1. Sintesis  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Zeolit Alam dan  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Karbon Aktif menggunakan metode sonikasi.
2. Karakterisasi yang digunakan adalah XRD dan UV-Vis DRS.
3. Konsentrasi metil jingga yang digunakan adalah 10 ppm.
4. Waktu penyinaran yang digunakan adalah selama 60 menit, dengan pengulangan sebanyak 3 kali.

### 1.5 Manfaat Penelitian

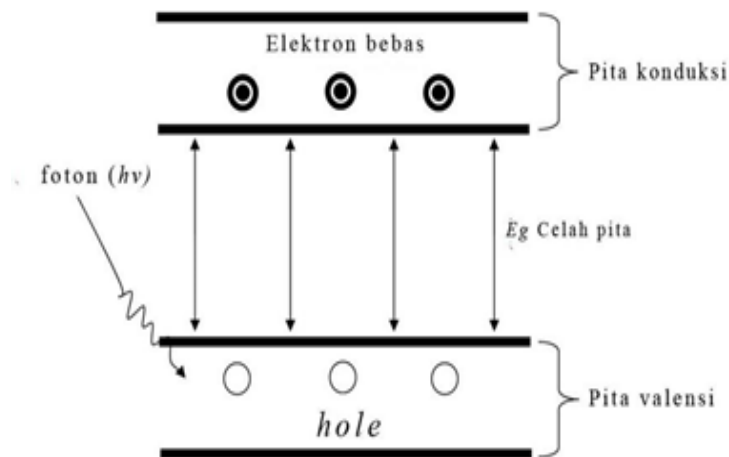
Manfaat dari penelitian ini yaitu memberikan informasi kepada masyarakat tentang karakteristik  $\text{TiO}_2$  terdoping nitrogen yang diimbangkan pada zeolit alam dan karbon aktif yang meliputi fasa, ukuran kristal, energi celah pita, dan aktivitas fotodegradasi terhadap metil jingga hasil sintesis menggunakan metode sonikasi. Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan ilmu dan teknologi tentang fotodegradasi metil jingga yang diharapkan mampu mengurangi polusi limbah cair organik pada industri tekstil.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Material Semikonduktor TiO<sub>2</sub> sebagai Fotokatalis

Semikonduktor adalah material dengan daya hambat elektrik antara isolator dengan konduktor dan biasanya dicirikan oleh struktur pita elektron. Semikonduktor memiliki nilai energi celah pita antara 0,5-5,0 eV. Pita yang mempunyai energi tertinggi disebut pita konduksi (C) dan pita energi terendah yang terisi elektron disebut dengan pita valensi (V) yang keduanya dipisahkan oleh energi celah pita (Kaneko dan Okura, 2002).

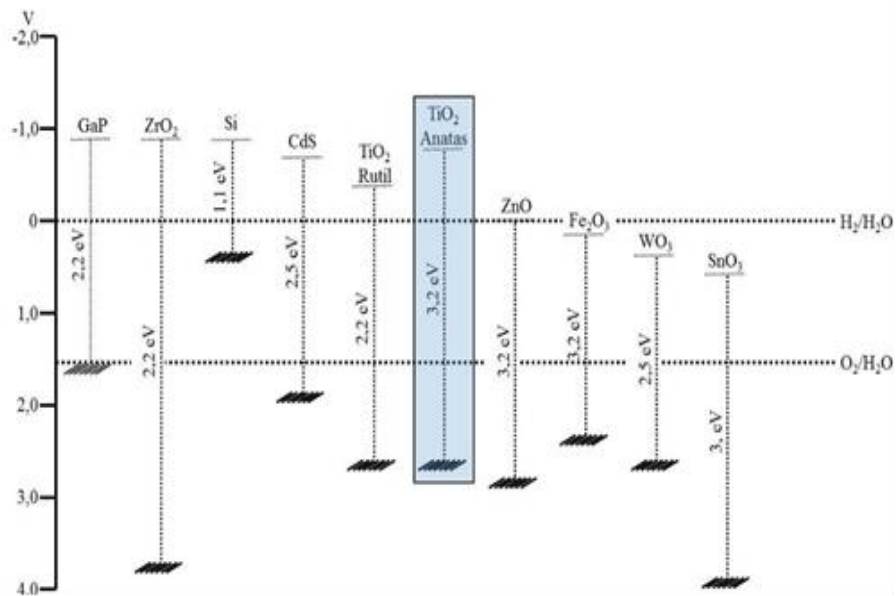
Energi celah pita adalah energi yang diperlukan suatu elektron untuk melakukan eksitasi dari pita valensi menuju pita konduksi, semakin lebar celah pita maka semakin besar energi yang diperlukan. Semikonduktor yang memiliki energi celah pita cukup lebar tidak akan mampu mengalami eksitasi. Akan tetapi dengan adanya energi dari luar seperti foton dengan energi yang lebih besar dari energi celah pitanya, maka elektron ( $e^-$ ) pada pita valensi akan tereksitasi ke pita konduksi menghasilkan *hole* ( $h^+$ ) pada pita valensi. Proses eksitasi tersebut akan menghasilkan *hole* ( $h^+$ ) pada pita valensi dan elektron ( $e^-$ ) pada pita konduksi (Ningsih, 2012). Proses eksitasi elektron diilustrasikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Eksitasi elektron material semikonduktor (Kaneko dan Okura, 2002)

Terdapat beberapa jenis semikonduktor yang dapat dipakai untuk proses fotokatalisis yaitu dari kelompok oksida logam dan sulfida logam. Beberapa kelompok oksida logam yang dapat digunakan sebagai fotokatalis misalnya: TiO<sub>2</sub>,

$\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{WO}_3$ , atau  $\text{SnO}_2$ , sedangkan dari kelompok sulfida logam misalnya:  $\text{CdS}$ ,  $\text{ZnS}$ ,  $\text{CuS}$ ,  $\text{FeS}$ . Semikonduktor yang berbeda memiliki nilai energi celah pita, konduktivitas, dan potensial redoks yang berbeda yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Semakin tinggi potensial pita valensi, semakin tinggi daya oksidasi yang dimiliki oleh *hole* ( $\text{h}^+$ ) (Palupi, 2006).

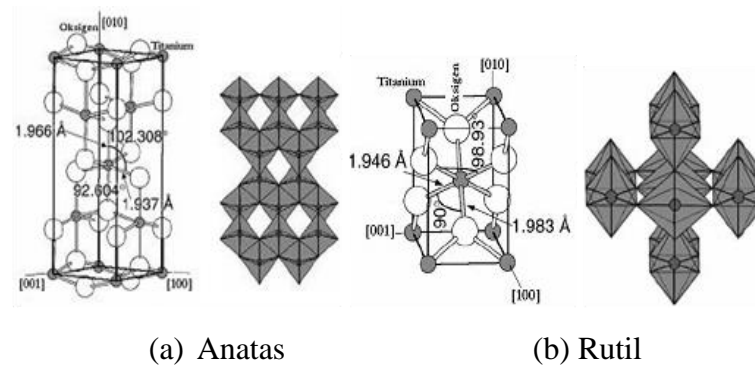


Gambar 2.2 Nilai energi celah pita, posisi pita valensi, posisi pita konduksi, dan potensial redoks dari berbagai semikonduktor (Palupi, 2006)

Salah satu semikonduktor yang sering digunakan adalah serbuk  $\text{TiO}_2$ . Hal ini dikarenakan  $\text{TiO}_2$  mudah digunakan, tingkat toksisitasnya rendah, stabil, tidak beracun, inert dan harganya murah dengan aktivitas dan efisiensi fotokatalis tinggi (Chen dan Mao, 2007).  $\text{TiO}_2$  mampu diaplikasikan di bawah sinar ultraviolet (UV) dari cahaya matahari untuk proses fotokatalisis karena  $\text{TiO}_2$  mempunyai energi celah pita yang nilainya lebih kecil dari energi sinar UV matahari, sehingga proses eksitasi elektron dapat berlangsung. Nilai energi celah pita dari  $\text{TiO}_2$  (anatase: 3,2 eV, rutil: 3,04 eV) adalah lebih kecil dibandingkan dengan semikonduktor lain seperti  $\text{ZnO}$  (3,35 eV) dan  $\text{SnO}_2$  (3,6 eV) (Saravanan, dkk., 2009).

$\text{TiO}_2$  muncul dalam tiga bentuk struktur yang berbeda yaitu anatase, rutil, dan brokit. Struktur kristal  $\text{TiO}_2$  anatase dan rutil merupakan bentuk paling umum yang digunakan dalam proses fotokatalisis, sedangkan brokit sulit dimurnikan dari

mineralnya sehingga sulit ditemukan dan diamati (Diebold, 2003). Struktur kristal  $\text{TiO}_2$  anatase dan rutil ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Struktur kristal  $\text{TiO}_2$ : (a) anatase dan (b) rutil (Diebold, 2003)

Struktur rutil lebih stabil pada suhu tinggi dan mulai terbentuk pada suhu  $700^\circ\text{C}$ . Rutil memiliki energi celah pita sebesar  $3,04\text{ eV}$  yang lebih dekat ke sinar tampak dengan panjang gelombang maksimum  $413\text{ nm}$ . Sementara itu, struktur anatase memiliki energi celah pita sebesar  $3,2\text{ eV}$  yang lebih dekat ke sinar ultraviolet dengan panjang gelombang maksimum  $388\text{ nm}$ , serta akan cenderung bertransformasi menjadi rutil pada suhu tinggi sekitar  $800^\circ\text{C}$  (Gupta, dkk., 2013).

Berdasarkan nilai energi celah pita fasa rutil dan fasa anatase, dapat diketahui bahwa anatase dan rutil mampu menyerap sinar ultraviolet sehingga dapat memungkinkan terjadinya banyak eksitasi elektron dari pita valensi dan pembentukan *hole* ( $\text{h}^+$ ) pada pita konduksi. Gambar 2.2 menunjukkan pita konduksi  $\text{TiO}_2$  anatase memiliki nilai potensial reduksi sebesar  $-1,0\text{ volt}$  dan pita valensi memiliki nilai potensial oksidasi sebesar  $+3,0\text{ volt}$ , sedangkan pita konduksi  $\text{TiO}_2$  rutil memiliki nilai potensial reduksi sebesar  $-0,5\text{ volt}$  dan pita valensi memiliki nilai potensial oksidasi kira-kira sebesar  $+3,0\text{ volt}$ .

Salah satu alasan perbedaan tersebut adalah karena jarak energi celah pita. Semakin positif nilai pita valensi, maka daya oksidasi akan semakin kuat sedangkan semakin negatif nilai pita konduksi, maka daya reduksi semakin kuat. Anatase dan rutil memiliki daya oksidasi yang tidak jauh berbeda, namun anatase memiliki daya reduksi yang lebih besar dibandingkan rutil. Sehingga  $\text{TiO}_2$  dengan fasa anatase memiliki aktivitas fotokatalis yang lebih baik daripada rutil sehingga kristal tersebut menjadi lebih reaktif terhadap cahaya dibandingkan rutil (Palupi, 2006).

## 2.2 Mekanisme Fotokatalisis dengan Material Semikonduktor TiO<sub>2</sub>

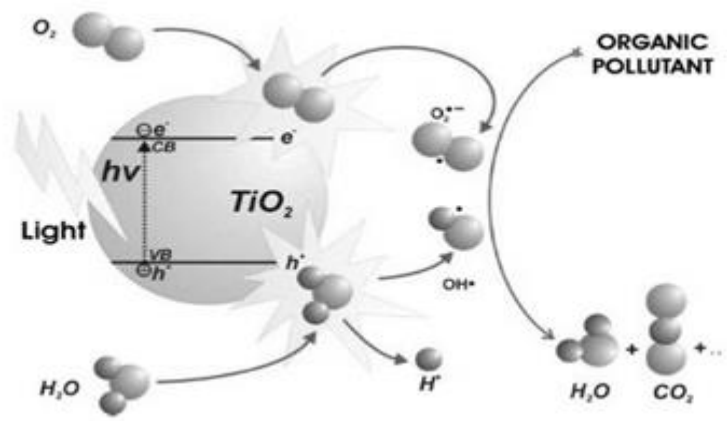
Fotokatalisis merupakan suatu gabungan antara proses fotokimia dan katalis. Proses fotokimia merupakan suatu proses transformasi kimia dengan bantuan cahaya sebagai pemicunya. Sedangkan katalis merupakan suatu substansi yang dapat mempercepat laju reaksi. Secara umum fotokatalisis didefinisikan sebagai suatu proses reaksi kimia yang menggunakan energi cahaya dan dipercepat dengan adanya material katalis (Bere, 2013).

Reaksi fotokatalisis terjadi pada permukaan partikel sehingga efektivitas reaksi fotokatalis dapat dipengaruhi oleh berbagai hal, beberapa di antaranya adalah ukuran dan bentuk partikel yang digunakan. Reaksi fotokatalisis akan efektif apabila ukuran partikel berada pada ukuran nano yaitu 1-100 nm. Semakin kecil ukuran kristal maka akan memperlebar luas permukaan partikel, sehingga interaksi antara reaktan pada permukaan partikel akan semakin besar (Naimah dan Ermawati, 2011).

Mekanisme fotokatalisis dimulai dengan terbentuknya pasangan *electron-hole* ( $e^-$  dan  $h^+$ ) akibat adanya eksitasi dari pita valensi menuju pita konduksi. Eksitasi akan terjadi ketika energi dari cahaya yang diberikan adalah sama atau melebihi dari energi celah pita yang dimiliki material semikonduktor. Mekanisme fotokatalisis terdiri dari beberapa proses umum sebagai berikut (Henderson, 2011):

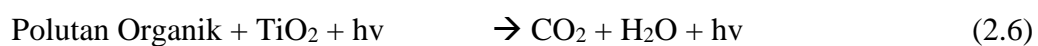
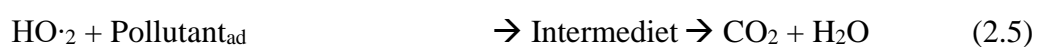
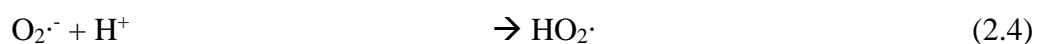
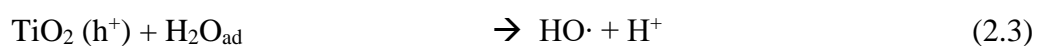
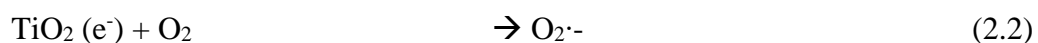
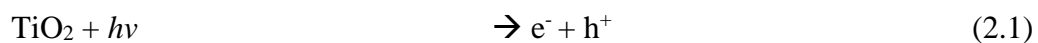
1. Penyerapan foton
2. Pembentukan muatan pasangan *electron-hole* ( $e^-$  dan  $h^+$ )
3. Proses transfer elektron dan *hole* pada permukaan TiO<sub>2</sub>
4. Penyerapan molekul organik
5. Reaksi penguraian molekul organik
6. Kehadiran promotor dan inhibitor (seperti adanya H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)
7. Struktur material dan permukaan

Ilustrasi reaksi kimia yang terjadi pada proses fotokatalisis ditunjukkan pada Gambar 2.4.

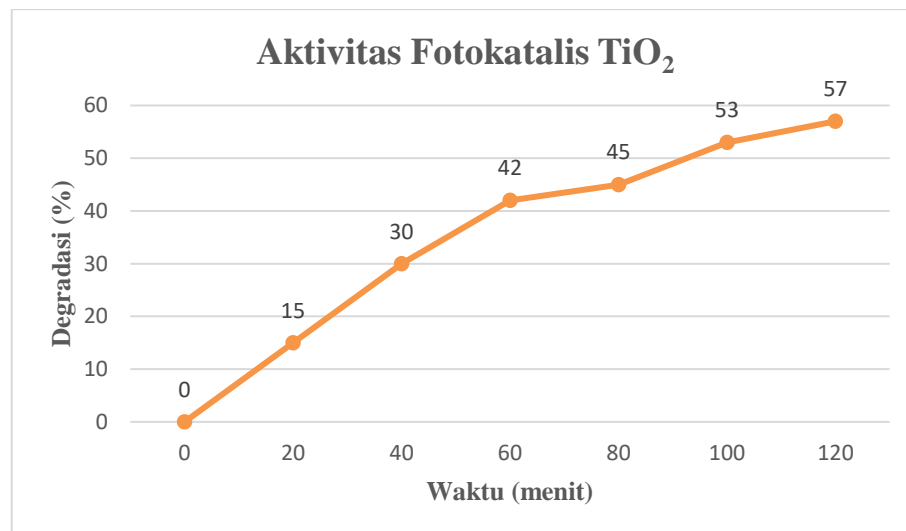


Gambar 2.4 Mekanisme reaksi fotokatalisis pada  $\text{TiO}_2$  (Fujishima, dkk., 2008)

Semikonduktor  $\text{TiO}_2$  jika dikenai cahaya ( $h\nu$ ) dengan energi yang sama atau lebih besar daripada energi celah pita ( $h\nu \geq$  energi celah pita), maka elektron ( $e^-$ ) pada pita valensi akan tereksitasi ke pita konduksi yang akan menyebabkan pembentukan pasangan *electron-hole*. Sebagian besar pasangan *electron-hole* akan mengalami rekombinasi kembali, baik dipermukaan ataupun di dalam *bulk* partikel. Namun, sebagian dari pasangan *electron-hole* dapat bertahan sampai permukaan semikonduktor dan dapat menginisiasi reaksi reduksi-oksidasi. *Hole* dapat menginisiasi reaksi oksidasi dan elektron akan menginisiasi reaksi reduksi senyawa organik yang ada pada permukaan semikonduktor. *Hole* tersebut memiliki afinitas yang tinggi terhadap oksigen dalam molekul  $\text{H}_2\text{O}$  yang teradsorpsi pada permukaan semikonduktor, sehingga akan bereaksi menjadi ( $\bullet\text{OH}$ ) dan  $\text{H}^+$ . Radikal hidroksil ( $\bullet\text{OH}$ ) merupakan spesi yang sangat reaktif menyerang molekul organik dan mendegradasinya menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  (Arutanti dan Khairurrijal, 2009). Berikut merupakan mekanisme reaksi pada material fotokatalis ditunjukkan pada persamaan 2.1-2.6.



Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Zheng, dkk., (2019), yang melaporkan bahwa  $\text{TiO}_2$  dapat digunakan sebagai fotokatalis dalam mendegradasi air limbah metil jingga menggunakan cahaya matahari. Hal ini dibuktikan dalam penelitiannya tentang pengaruh lama penyinaran pada proses fotokatalisis dalam mendegradasi air limbah metil jingga menggunakan fotokatalis  $\text{TiO}_2$  yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Aktivitas fotokatalis  $\text{TiO}_2$  dalam mendegradasi air limbah metil jingga (Zheng, dkk., 2019)

Berdasarkan Gambar 2.5 yang menunjukkan bahwa fotokatalis  $\text{TiO}_2$  sebanyak 7,5 mg/L mampu mendegradasi air limbah metil jingga menggunakan cahaya matahari. Semakin lama waktu penyinaran pada proses fotodegradasi metil jingga, maka semakin tinggi juga % degradasi yang dihasilkan. Material fotokatalis  $\text{TiO}_2$  memiliki daya oksidasi yang sangat kuat jika diaktifkan dengan cahaya matahari. Untuk mengaktifkan fotokatalis  $\text{TiO}_2$  dibutuhkan energi foton dengan panjang gelombang yang kecil. Aktivitas fotokatalis menyebabkan terjadinya fotooksidasi dan fotoreduksi sehingga terjadinya eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Pita konduksi menyebabkan adanya kekosongan atau *hole* ( $h^+$ ) selanjutnya bereaksi dengan  $\text{H}_2\text{O}$  dalam larutan dan membentuk ( $\bullet\text{OH}$ ) yang dapat mendegradasi senyawa organik menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  (Arutanti dan Khairurrijal, 2009).

Fotokatalis  $\text{TiO}_2$  menurut beberapa penelitian memang relatif cukup baik dalam mendegradasi limbah cair, namun di sisi lain  $\text{TiO}_2$  memiliki dua kelemahan yaitu nilai energi celah pitanya terlalu lebar sekitar (anatase: 3,2 eV, rutil: 3,04 eV) yang mengakibatkan fotokatalis  $\text{TiO}_2$  hanya aktif pada sinar UV dan aktivitas fotokatalis semikonduktor  $\text{TiO}_2$  dalam mendegradasi polutan masih lemah. Oleh karena itu dibutuhkan unsur logam atau non logam yang bertujuan untuk menggeser nilai energi celah pita ke daerah sinar tampak. Salah satu dopan yang digunakan pada fotokatalis  $\text{TiO}_2$  yaitu dopan non logam N karena memiliki energi ionisasi yang kecil, ukuran yang tidak jauh berbeda dengan oksigen, dan dapat mempersempit energi celah, sehingga dengan sempitnya energi celah pita akan menaikkan aktivitas fotokatalis. Selain itu, dibutuhkan juga material penyangga seperti adsorben untuk meningkatkan aktivitas fotokatalis semikonduktor  $\text{TiO}_2$  dalam mendegradasi polutan. Menurut Shankar, dkk. (2006), menyatakan bahwa fotokatalis  $\text{TiO}_2$  yang diimbangkan menggunakan material penyangga dapat meningkatkan kemampuan proses fotokatalisis dan kapasitas serapannya. Beberapa material penyangga yang dapat digunakan yaitu zeolit alam dan karbon aktif.

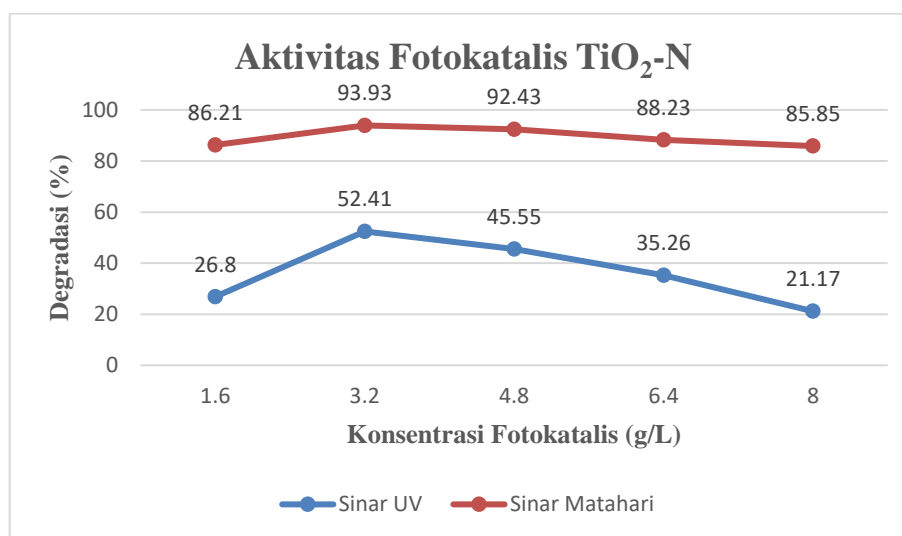
### **2.3 Penggunaan Dopan N sebagai Peningkatan Aktivitas Fotokatalisis**

Doping merupakan suatu proses memasukkan atom lain (dopan) ke dalam material fotokatalis. Tujuan pendopingan terhadap material fotokatalis yaitu untuk memperbaiki sifat-sifat bahan sesuai dengan kebutuhan. Dopan memiliki beberapa keuntungan di antaranya dapat meningkatkan konduktivitas fotokatalis dan memperoleh semikonduktor yang memiliki energi celah pita yang lebih kecil dari asalnya (Lestari, 2009).

Dopan yang digunakan untuk mendoping material semikonduktor dapat berupa dopan logam dan non logam. Dopan non logam yang telah terbukti mampu meningkatkan aktivitas fotokatalis adalah N dan C (Riyani, dkk., 2012). Sedangkan dopan logam yang terbukti mampu meningkatkan aktivitas fotokatalis adalah V, Ni, Pt, dan Cu (Choi, dkk., 2009). Dari beberapa unsur logam dan non logam tersebut, unsur non logam N ditemukan sebagai dopan paling efektif karena memiliki energi ionisasi yang kecil, ukuran yang tidak jauh berbeda dengan oksigen, dan dapat mempersempit energi celah pita. Dopan N diperoleh dari urea karena memiliki

kandungan nitrogen yang cukup tinggi, mudah didapat, dan harganya relatif murah. Oleh karena itu  $\text{TiO}_2$  terdoping N menjadi sistem yang paling banyak dipelajari dan berbagai usaha terus dikembangkan berkaitan dengan sintesis, karakterisasi dan aplikasinya (Fraditasari, dkk., 2015).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Fraditasari, dkk. (2015), yang melaporkan bahwa penambahan dopan N terhadap material  $\text{TiO}_2$  menggunakan sinar UV dan sinar matahari dapat mempengaruhi aktivitas degradasi metil jingga yang ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Kurva hubungan antara konsentrasi fotokatalis  $\text{TiO}_2$ -N terhadap persen degradasi larutan metil jingga (Fraditasari, dkk., 2015)

Berdasarkan Gambar 2.6 menunjukkan bahwa pada kondisi penyinaran sinar UV maupun sinar matahari persen degradasi metil jingga meningkat dengan penambahan fotokatalis  $\text{TiO}_2$ -N dengan konsentrasi dari 1,6 hingga 3,2 g/L, namun menurun dari 3,2 hingga 8,0 g/L. Peningkatan persen degradasi ini disebabkan karena dengan bertambahnya jumlah fotokatalis  $\text{TiO}_2$ -N di dalam larutan metil jingga, maka jumlah sisi aktif fotokatalis akan meningkat, sehingga energi foton yang terserap oleh fotokatalis semakin banyak, dan meningkatkan terbentuknya ( $\bullet\text{OH}$ ) untuk proses fotodegradasi senyawa metil jingga. Sedangkan penurunan persen degradasi metil jingga disebabkan oleh terbentuknya agregat pada fotokatalis  $\text{TiO}_2$ -N yang terlalu banyak, sehingga menutupi sisi aktif pada permukaan fotokatalis untuk absorpsi sinar. Selain itu, penurunan persen degradasi

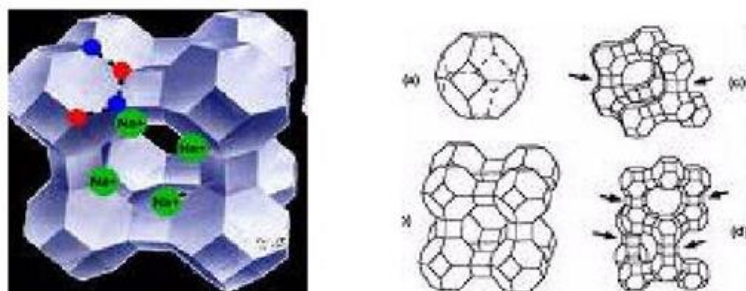
juga disebabkan oleh meningkatnya turbiditas larutan akibat terhamburnya fotokatalis  $\text{TiO}_2\text{-N}$  di dalam larutan metil jingga, sehingga mengurangi kuantitas sinar yang dapat diserap oleh permukaan fotokatalis. Berkurangnya kuantitas sinar yang mengenai sisi aktif fotokatalis ini menyebabkan sedikitnya ( $\bullet\text{OH}$ ) yang terbentuk, sehingga kemampuan fotokatalis  $\text{TiO}_2\text{-N}$  dalam mendegradasi senyawa metil jingga menjadi berkurang.

## 2.4 Material Penyangga

### 2.4.1 Zeolit Alam

Zeolit merupakan batuan atau mineral alam yang secara kimiawi termasuk golongan mineral silika dan dinyatakan sebagai alumina silika terhidrasi dengan rumus kimia  $M_8(\text{Si}_{40}\text{Al}_{18}\text{O}_{96})24\text{H}_2\text{O}$  dimana  $M$  adalah kation penyeimbang (alkali/alkali tanah) dalam rangka zeolit. Zeolit memiliki struktur kerangka tiga dimensi yang terbentuk dari tetrahedral  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  dan  $[\text{AlO}_4]^{5-}$  yang saling terhubung oleh atom oksigen. Penggunaan zeolit sendiri berkaitan dengan 3 sifat yang dimilikinya yaitu (Hasibuan, 2012):

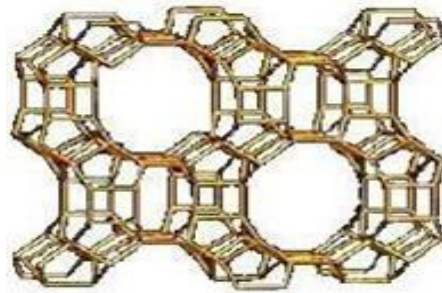
1. Kemampuannya dalam melakukan pertukaran ion
2. Daya serap dan daya saring molekul yang baik
3. Daya katalis yang baik



Gambar 2.7 Struktur zeolit (Hasibuan, 2012)

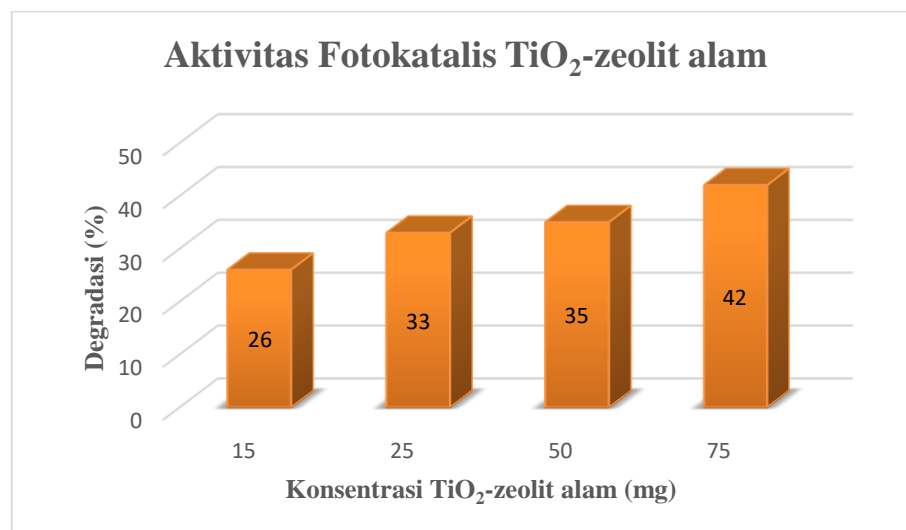
Hingga kini terdapat kurang lebih 40 jenis mineral zeolit di antaranya modernit, klinoptilolit, kabsit, pilipsit, dan analsit yang ditemukan melimpah, salah satunya di Indonesia (Wang dan Peng, 2010). Zeolit alam yang ada di Indonesia diketahui 60-70 % merupakan jenis modernit dan sisanya klinoptilolit (Trisunaryanti, dkk., 2005). Zeolit alam jenis modernit merupakan zeolit yang

memiliki kandungan Si sedang dengan perbandingan Si/Al = 5 dan ukuran pori 6,7-7 Å. Zeolit ini memiliki kemampuan penyerapan dan difusi reaktan serta dapat digunakan sebagai bahan pengemban logam dan non logam. Selain itu, rongga dan saluran yang dimiliki zeolit mordenit mampu digunakan sebagai adsorben, penukar ion dan katalisator (Hasibuan, 2012). Struktur zeolit mordenit seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Struktur zeolit alam mordenit (Utubira, dkk., 2006)

Zeolit alam sering digunakan sebagai material penyangga pada sintesis fotokatalis  $\text{TiO}_2$  di beberapa penelitian karena fungsinya yang dapat mempercepat laju degradasi limbah zat warna. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Pundisari, dkk. (2013), yang melaporkan bahwa penambahan konsentrasi zeolit alam ke dalam  $\text{TiO}_2$  dapat mempengaruhi aktivitas fotokatalis dalam mendegradasi metil jingga. Konstanta laju degradasi metil biru ditampilkan pada Gambar 2.9.

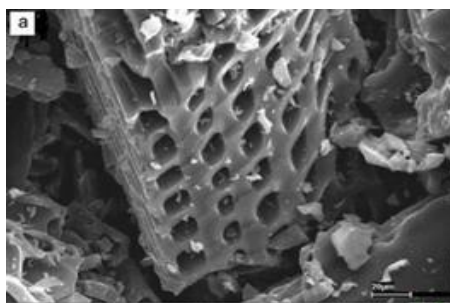


Gambar 2.9 Diagram batang degradasi metil jingga dengan variasi jumlah fotokatalis  $\text{TiO}_2$ -zeolit alam

Berdasarkan Gambar 2.9 menunjukkan bahwa bertambahnya konsentrasi  $\text{TiO}_2$ -zeolit alam dari 15 mg hingga 75 mg akan meningkatkan sisi aktif fotokatalis. Peningkatan sisi aktif menyebabkan banyak ion metil biru terserap pada permukaan  $\text{TiO}_2$  yang memiliki *hole* bermuatan positif. *Hole* pada  $\text{TiO}_2$  ini akan bereaksi dengan molekul  $\text{H}_2\text{O}$  atau ion  $\text{OH}^-$  dan memproduksi ( $\bullet\text{OH}$ ) dalam jumlah yang banyak, sehingga nilai % degradasi metil jingga semakin naik. Semakin banyak jumlah fotokatalis yang ditambahkan semakin cepat interaksi antara sinar UV dengan logam  $\text{TiO}_2$ , sehingga semakin banyak pula ( $\bullet\text{OH}$ ) yang dihasilkan. Semakin banyak ( $\bullet\text{OH}$ ) yang dihasilkan maka semakin besar degradasi pada proses fotokatalis.

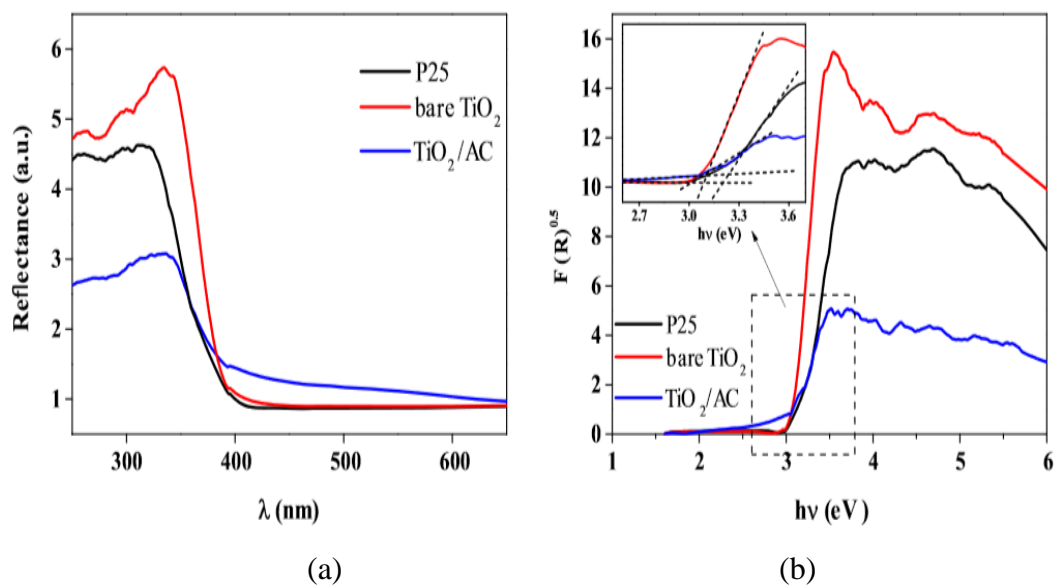
#### 2.4.2 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Karbon aktif merupakan salah satu jenis karbon amorf yang tersusun paralel berbentuk cincin heksagonal menyerupai struktur grafit. Sifat fisika dari karbon aktif terutama ditentukan oleh ukuran pori dan luas permukaannya. Karbon aktif mempunyai luas permukaan yang cukup tinggi, yaitu berkisar antara  $500\text{-}1500\text{ m}^2\text{g}^{-1}$  dan volume pori berkisar antara  $0,7\text{-}1,8\text{ cm}^3\text{g}^{-1}$  sehingga sangat memungkinkan untuk menyerap adsorbat dalam jumlah yang banyak. Semakin luas permukaan dari karbon aktif, maka daya serapnya semakin tinggi. Karena memiliki luas permukaan yang cukup besar, karbon aktif sering digunakan sebagai adsorben yang dapat membantu proses adsorbs katalisis (Idrus, dkk., 2013). Morfologi dan permukaan karbon ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 SEM karbon aktif (Asiltürk dan Şener, 2011)

Karbon aktif sering digunakan sebagai material penyangga pada sintesis fotokatalis  $\text{TiO}_2$  karena fungsinya dapat memperluas permukaan  $\text{TiO}_2$  dengan mendistribusikan  $\text{TiO}_2$  secara merata di permukaan karbon aktif (Leary dan Westwood, 2011). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Martins, dkk. (2016), yang melaporkan bahwa penambahan karbon aktif ke dalam fotokatalis  $\text{TiO}_2$  dapat mempengaruhi luas permukaan, volume pori, ukuran pori, ukuran kristal, dan energi celah pita  $\text{TiO}_2$ . Sehingga aktivitas fotodegradasi terhadap metil biru juga berubah yang dirangkum dalam Tabel 2.1 dan Tabel 2.2



Gambar 2.11 DRS (a) Plot Kubelka-Munk, (b) plot P25,  $\text{TiO}_2$  murni,  $\text{TiO}_2$  /karbon aktif (Martins, dkk., 2016)

Tabel 2.1 Data sifat P25,  $\text{TiO}_2$  murni, dan  $\text{TiO}_2$ /karbon aktif (Martins, dkk., 2016)

Katalis	Luas Permukaan ( $S_{\text{BET}} \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ )	Volume Pori ( $\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$ )	Ukuran Pori (nm)
P25	70	0,28	16,96
$\text{TiO}_2$ murni	96	0,25	10,44
$\text{TiO}_2$ /karbon aktif	129	0,30	9,260

Tabel 2.2 Data sifat P25, TiO<sub>2</sub> murni, dan TiO<sub>2</sub>/karbon aktif (Martins, dkk., 2016)

Katalis	Ukuran Kristal (nm)	Energi Celah Pita (eV)	Waktu Degradasi (min)
P25	18,7	3,21	19,6
TiO <sub>2</sub> murni	10,3	3,07	23,7
TiO <sub>2</sub> /karbon aktif	8,53	3,04	16,2

Berdasarkan Tabel 2.1, penambahan karbon aktif ke dalam fotokatalis TiO<sub>2</sub> mampu memperbesar luas permukaan dan volume pori, sehingga dihasilkan juga ukuran pori yang semakin mengecil. Berdasarkan Tabel 2.2, penambahan karbon aktif ke dalam fotokatalis TiO<sub>2</sub> mampu memperkecil ukuran kristal TiO<sub>2</sub> murni yang semula 10,3 nm menjadi 8,53 nm. Ukuran kristal yang semakin kecil inilah yang membuat luas permukaan semakin besar, sehingga aktivitas fotokatalis TiO<sub>2</sub> juga semakin meningkat. Data DRS yang ditampilkan pada Gambar 2.11 menunjukkan bahwa nilai energi celah pita TiO<sub>2</sub>/karbon aktif lebih kecil dibandingkan nilai energi celah pita TiO<sub>2</sub> murni. Energi celah pita TiO<sub>2</sub> murni yaitu 3,07 eV, sedangkan setelah diimbangkan pada karbon aktif menghasilkan energi celah pita sebesar 3,04 eV. Martin, dkk. (2016) juga menyatakan bahwa aktivitas fotokatalis TiO<sub>2</sub> meningkat ketika diimbangkan pada karbon aktif. Hal ini ditunjukkan pada Tabel 2.2 yang menyatakan bahwa TiO<sub>2</sub> murni mampu mendegradasi metil biru selama 23,7 menit sedangkan setelah penambahan karbon aktif mempercepat proses degradasi menjadi 16,2 menit.

## 2.5 Degradasi Metil Jingga dengan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>

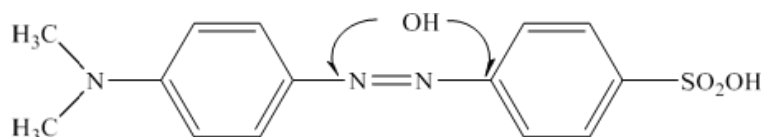
Molekul zat warna merupakan gabungan dari zat organik tidak jenuh dengan kromofor dan auksokrom. Gugus kromofor merupakan gugus yang menyebabkan molekul menjadi berwarna. Pada Tabel 2.3 dapat dilihat beberapa nama gugus kromofor dan struktur kimianya. Sedangkan auksokrom berperan sebagai pengikat warna dengan serat (Manurung dkk., 2004).

Tabel 2.3 Nama dan Struktur Kimia Kromofor

Nama Gugus	Struktur Kimia
Nitroso	NO atau (-N-OH)
Nitro	NO <sub>2</sub> atau (NN-OOH)
Grup Azo	-N=N-
Grup Etilen	-C=C-
Grup Karbonil	-C=O-
Grup Karbon-Nitrogen	-C=NH ; CH=N-
Grup Karbon Sulfur	-C=S ; C-S-S-C-

Sumber: (Manurung dkk., 2014)

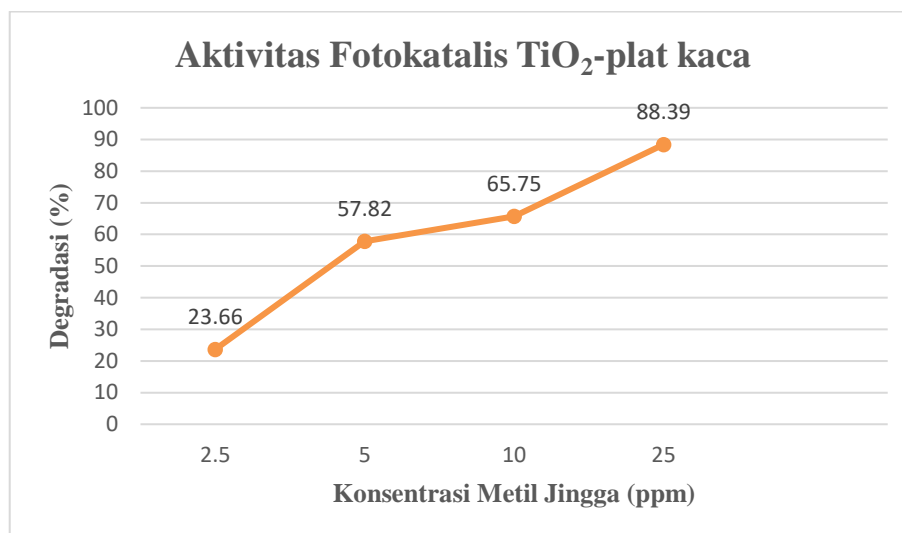
Metil jingga merupakan salah satu zat warna azo dengan rumus molekul C<sub>14</sub>H<sub>14</sub>N<sub>3</sub>NaO<sub>3</sub>S yang digunakan dalam pewarnaan kain. Zat warna azo mempunyai sistem kromofor dari gugus azo (-N=N) yang berikatan dengan gugus aromatik. Di samping itu, perombakan zat warna azo secara anaerobik pada dasar perairan menghasilkan senyawa amina aromatik yang lebih toksik dibandingkan dengan zat warna azo itu sendiri (Manurung, dkk., 2014). Struktur metil jingga ditampilkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2.12 Struktur metil jingga (Getoff, 1995)

Metil jingga merupakan senyawa azo yang sering digunakan dalam industri tekstil. Senyawa azo mempunyai sifat toksik dan sulit didegradasi di dalam perairan, sehingga senyawa ini dapat memicu pencemaran lingkungan dan merusak ekosistem lingkungan perairan. Beberapa penelitian sudah dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut, yaitu dengan cara degradasi metil jingga menggunakan metode fotokatalisis.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (A'yun, dkk., 2019), yang melaporkan bahwa fotokatalis  $\text{TiO}_2$ -plat kaca dapat mendegradasi metil jingga pada beberapa konsentrasi yang ditunjukkan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.13 Pengaruh variasi konsentrasi metil jingga terhadap aktifitas fotokatalis  $\text{TiO}_2$ - plat kaca (A'yun, dkk., 2019)

Proses degradasi metil jingga ini berlangsung dengan dikenainya  $\text{TiO}_2$  oleh sinar matahari langsung sehingga terjadi eksitasi elektron dari pita valensi menuju pita konduksi. Pita valensi terbentuk *hole* ( $h^+$ ) dan berinteraksi dengan air menghasilkan radikal hidroksil ( $\bullet\text{OH}$ ). Pita konduksi terdapat elektron dan bereaksi dengan oksigen membentuk  $\bullet\text{O}_2$ . Radikal hidroksil ( $\bullet\text{OH}$ ) merupakan spesi oksidator dan  $\bullet\text{O}_2$  merupakan spesi reduktor. Selanjutnya terjadi degradasi zat warna sehingga menjadi  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  dan senyawa asam dalam konsentrasi yang rendah.

Berdasarkan Gambar 2.13, menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi metil jingga yang digunakan maka semakin tinggi % terdegradasinya, hal ini dikarenakan luas permukaan  $\text{TiO}_2$  pada plat kaca lebih besar dari pada  $\text{TiO}_2$  serbuk sehingga untuk penyerapannya pun lebih banyak, oleh sebab itu persen terdegradasi  $\text{TiO}_2$ -plat kaca semakin tinggi pada konsentrasi 25 ppm sebesar 88,39%.

## 2.6 Sintesis Fotokatalis 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 kavitasi 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).

Ultrasonik memiliki rentang frekuensi antara 20 kHz – 2 MHz. Berdasarkan frekuensinya ultrasonik dibagi menjadi 3 bagian, yaitu: (1) frekuensi rendah, dengan rentang frekuensi 20 – 100 kHz, (2) frekuensi sedang, dengan rentang frekuensi 100 kHz – 2 MHz, dan (3) frekuensi tinggi, dengan rentang frekuensi 2 - 10 MHz. Umumnya frekuensi ultrasonik yang sering digunakan dalam proses sintesis adalah yang mempunyai rentangan frekuensi 20 kHz – 2 MHz (Ningsih, 2012). Suara ultrasonik yang menjalar di dalam medium cair memiliki kemampuan terus menerus membangkitkan semacam gelembung di dalam medium yang kemudian secepat kilat meletus. Gelembung yang meletus tadi bisa menghasilkan energi kinetik luar biasa besar yang berubah menjadi energi panas. Metode ini dapat dilakukan pada suhu rendah, waktu yang relatif cepat, peralatan yang otomatis, dan sederhana serta partikel yang dihasilkan seragam (Li, dkk., 2009).

## 2.7 Karakterisasi Material Fotokatalis

### 2.7.1 Identifikasi Fasa dan Ukuran Kristal dengan XRD

*X-Ray Diffraction* (XRD) digunakan untuk mengidentifikasi fasa dan ukuran kristal dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi. Dasar dari penggunaan XRD untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan pendekatan Bragg (Aji, dkk., 2009). Berdasarkan pendekatan Bragg, kristal dipandang terdiri dari bidang-bidang datar yang masing-masing berfungsi sebagai cermin semi transparan. Jika sinar-X ditembakkan pada tumpukan bidang datar tersebut, maka beberapa akan dipantulkan dengan sudut pantul

yang sama dengan sudut datangnya, sedangkan sisanya diteruskan. Persamaan Bragg adalah sebagai berikut (Callister, 2003):

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \theta \quad (2.13)$$

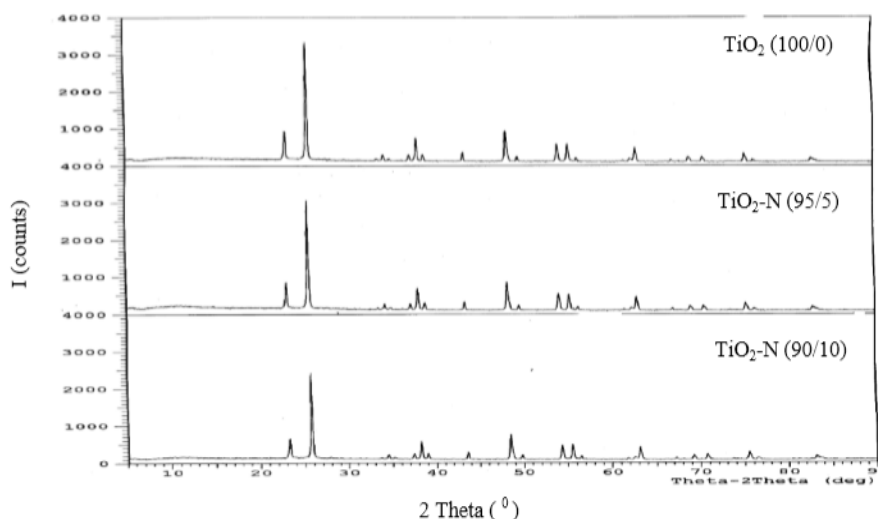
Dengan  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan,  $d$  adalah jarak antara dua bidang kisi,  $\theta$  adalah sudut antara sinar datang dengan bidang normal, sedangkan  $n$  adalah bilangan bulat yang disebut sebagai orde pembiasan.

Ukuran kristal dapat diperoleh dari hasil pengolahan data XRD dengan menggunakan kartu intepretasi atau software X-Powder untuk mengetahui fasa kristal titanium. Penentuan ukuran kristal, software X-Powder ini menggunakan persamaan Debye-Schererr sebagai berikut:

$$D = \frac{(K\lambda)}{(\beta \cos \theta)} \quad (2.14)$$

Dengan  $D$  adalah ukuran partikel (nm),  $\lambda$  adalah panjang gelombang radiasi,  $K$  adalah konstanta (0,9), sedangkan  $\beta$  adalah integrasi luas puncak refleksi (FWHM, radian).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Riyani, dkk. (2012), yang melaporkan bahwa penambahan dopan N terhadap material  $\text{TiO}_2$  dapat meningkatkan aktivitas fotokatalis dengan cara mengetahui karakteristik struktur kristal menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) ditunjukkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Hasil karakterisasi XRD (Riyani, dkk., 2012)

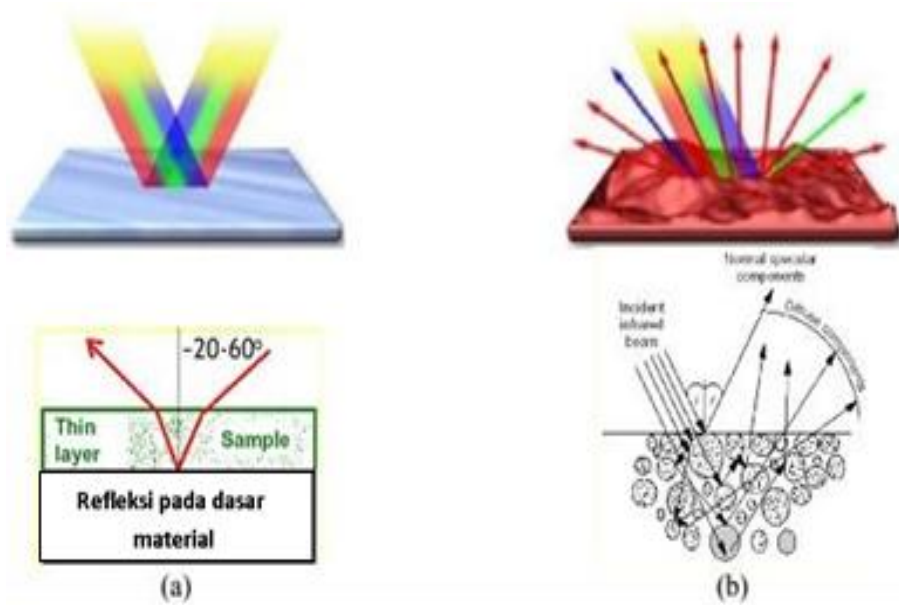
Berdasarkan Gambar 2.14, hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa dengan penambahan dopan N akan mengurangi intensitas dari *peak*  $\text{TiO}_2$  anatase

standar. *Peak* TiO<sub>2</sub> anatase, TiO<sub>2</sub>-N (95:5) dan TiO<sub>2</sub>-N (90:10) berturut-turut terlihat pada  $2\theta = 25,5794^\circ$ ,  $2\theta = 25,5398^\circ$  dan  $2\theta = 25,2786^\circ$ . Penurunan intensitas *peak* dikarenakan adanya atom nitrogen yang menggantikan atom oksigen dari TiO<sub>2</sub> sehingga komposisi kristal TiO<sub>2</sub> tipe anatase semakin berkurang. Hal ini menunjukkan bahwa dopan N bisa untuk mensubstitusi sebagian atom O pada TiO<sub>2</sub>.

### 2.7.2 Identifikasi Energi Celah Pita dengan UV-Vis DRS

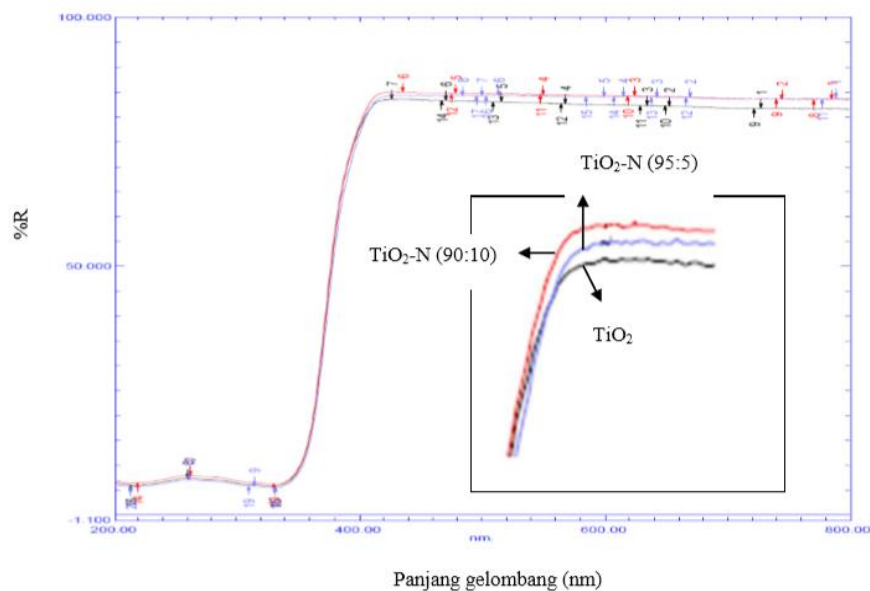
Spektrofotometri UV-Vis DRS adalah salah satu jenis spektroskopi reflektans yang menggunakan sinar pada daerah UV dan *visible* (tampak) sebagai sinar datang (*incident light*). Salah satu tujuan digunakannya spektroskopi reflektans ini adalah untuk menganalisis energi celah pita hasil sintesis dari suatu fotokatalis. Analisis dengan spektroskopi reflektans didasarkan pada pengukuran sinar yang direfleksikan oleh objek. Refleksi adalah pemantulan radiasi oleh permukaan benda tanpa mengalami perubahan panjang gelombang. Refleksi dapat terjadi pada sampel padat maupun cair. Refleksi dapat terjadi secara spekulat dan difusi (Gambar 2.15). Spekulat (reguler) adalah refleksi yang mana sudut datang sama dengan sudut pantul, refleksi ini biasanya terjadi pada objek dengan permukaan yang halus (seperti cermin). Difusi adalah refleksi yang mana sudut datang tidak sama dengan sudut pantul, refleksi ini biasanya terjadi pada objek dengan permukaan kasar dan cenderung memantulkan cahaya ke segala arah (Fatkhayah, 2013).

Setiap permukaan benda mengalami refleksi difusi dan spekulat. Sebagian besar permukaan lebih banyak mengalami refleksi spekulat, namun sebagian mengalami refleksi difusi. Refleksi spekulat meningkat sebanding dengan makin mengkilap (*gloss*) dan halusny suatu permukaan yang dikenai berkas sinar.



Gambar 2.15 (a) Refleksi spekular (b) refleksi difusi (Fatkhayah, 2013)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Riyani, dkk. (2012), yang melaporkan bahwa penambahan dopan N terhadap material  $\text{TiO}_2$  dapat meningkatkan aktivitas fotokatalis dengan cara mengetahui energi celah pita menggunakan spektrofotometri UV-Vis DRS ditunjukkan pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Hasil karakterisasi UV-Vis DRS (Riyani, dkk., 2012)

Berdasarkan Gambar 2.16, hasil karakterisasi UV-Vis DRS menunjukkan bahwa panjang gelombang untuk  $\text{TiO}_2$  murni sebesar 372,00 nm,  $\text{TiO}_2$ -N dengan

perbandingan molar (95:5) sebesar 372,58 nm, dan TiO<sub>2</sub>-N (90:10) sebesar 380,32 nm yang ekuivalen dengan energi celah pita sebesar 3,34 eV, 3,33 eV dan 3,26 eV. Selisih energi celah untuk spesies selitan N pada TiO<sub>2</sub> mencapai 0,73 eV di atas puncak pita valensi, sedangkan selisih energi celah pita untuk substitusi N pada TiO<sub>2</sub> mencapai 0,14 eV (Valentin, 2004). Pada penelitian tersebut terjadi penurunan energi celah pita yang sedikit yaitu 0,08 eV, sehingga kemungkinan besar yang terjadi adalah substitusi sebagian atom O pada TiO<sub>2</sub> oleh N. Semakin besar penambahan dopan N akan menurunkan energi celah pita, hal ini terjadi karena semakin banyak atom nitrogen yang mensubstitusi sebagian atom O pada TiO<sub>2</sub>.

## 2.8 Pandangan Islam terhadap Pencemaran Lingkungan dan Usaha Mengatasinya

Manusia sebagai makhluk hidup yang paling sempurna yang mempunyai akal harus bisa berfikir tentang ciptaan Allah SWT, salah satunya yaitu tentang lingkungan perairan. Lingkungan perairan yang semakin memburuk akibat limbah cair organik yang diproduksi oleh beberapa industri tekstil seharusnya dapat diatasi oleh manusia. Usaha pencegahan terhadap pencemaran lingkungan perairan tersebut harus dilakukan karena air memiliki posisi yang sangat vital dan Islam telah membuat proteksi yang sangat tegas terhadap air. Firman Allah SWT telah menjelaskan hal tersebut dalam QS. Al-Anbiya' (21) ayat 30 yang menyebutkan bahwa air adalah sumber kehidupan.

وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ ۝ ٣٠

Artinya :

“Dan Kami jadikan dari air segala sesuatu yang hidup, apakah mereka beriman?” (QS. Al-Anbiya' (21) : 30).

Menurut tafsir Ibnu Katsir oleh Dr. Abdullah bin Muhammad bin Abdurrahman bin Ishaq Alu Syaikh, ayat di atas menerangkan bahwa air merupakan salah satu unsur yang sangat penting bagi kehidupan makhluk hidup. Manusia sebagai *khalifah* di bumi dituntut untuk selalu menjaga, melindungi, mengelola dan memanfaatkan air secara lestari agar kemaslahatan makhluk hidup baik manusia, hewan maupun tumbuhan dapat terjamin dan berjalan secara berkesinambungan (Abdullah, 2010).

Sedangkan menurut tafsir Tantawi Jawhari, ayat di atas menjadi dasar bahwa kehidupan berawal dari air. Ia juga mengutip para ilmuwan kontemporer bahwa setiap binatang mulanya diciptakan di laut. Termasuk burung, hewan-hewan melata dan hewan daratan juga mengalami siklus kehidupan berawal dari lautan. Setelah sekian ratus tahun hewan-hewan tersebut mengalami perubahan bentuk sesuai dengan perubahan iklim dan masa (Jawhari, 2004). Dalam ayat yang lain, Tantawi Jawhari menjelaskan adanya kehidupan dimulai dengan datangnya air, seperti dalam QS. Fushilat (41) ayat 39.

وَمِنْ آيَاتِهِ أَنْ تَرَى الْأَرْضَ خُشْعَةً فَإِذَا أَنْزَلْنَا عَلَيْهَا الْمَاءَ اهْتَزَّتْ وَرَبَتْ إِنَّ الَّذِي أَحْيَاهَا  
لَمُحْيِي الْمَوْتَى إِنَّهُ عَلَى كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ ۝ ٣٩

Artinya :

*Dan di antara tanda-tanda-Nya (Ialah) bahwa kau lihat bumi kering dan gersang, maka apabila Kami turunkan air di atasnya, niscaya ia bergerak dan subur. Sesungguhnya Tuhan Yang menghidupkannya, Pastilah dapat menghidupkan yang mati. Sesungguhnya Dia Maha Kuasa atas segala sesuatu.” (QS. Fushilat/41 : 39).*

Bumi yang kering dan tandus menunjukkan jauh dari tanda-tanda kehidupan, lalu Allah SWT menurunkan air hujan untuk menghidupkan kembali tanah yang telah mati. Dengan air, tanah akan mudah bergerak hingga terserap oleh akar dan berubah menjadi sel-sel dan jaringan baru, sehingga tanah yang awalnya sudah mati nampak bergerak dan hidup subur kembali (Jawhari, 2004).

Menurut tafsir Tantawi Jawhari, ayat diatas membahas macam-macam makhluk hidup dengan berbagai tipologi perkembangbiakannya. Menurutnya fase kehidupan hewan dan tumbuhan hampir sama, dan yang membedakan hanya cara kerja dan prosesnya. Tanda-tanda kehidupan diketahui dengan adanya gerakan atau perubahan bentuk. Pada hewan, tanda kehidupan ditandai dengan gerakan nyata perpindahan materi dari satu tempat ke tempat lain. Pada tumbuhan tanda kehidupan dilihat dari gerakan kimiawi, seperti melakukan fotosintesis. Zat-zat kimia pada tumbuhan mengkonsumsi klorofil dengan bantuan sinar matahari. Semua proses itu tidak terlepas dari pentingnya peran air untuk membantu proses metabolisme baik pada tumbuhan maupun hewan (Jawhari, 2004).

Penelitian ini mempunyai manfaat yang begitu banyak. Berdasarkan konsepnya ada 3 manfaat dari penelitian ini yaitu *Muamalah ma'a Allah*, *Muamalah ma'a An-nas*, dan *Muamalah ma'a 'Al-alam*. Pertama yaitu *Muamalah*

*ma'a Allah*, yang mana manfaat penelitian ini menyadarkan kepada seluruh manusia bahwa bumi ciptaan Allah khususnya lingkungan perairan yang begitu indah harus dijaga sebaik-baiknya serta tidak merusaknya dengan air limbah industri. Hal ini secara tidak langsung akan meningkatkan taqwa manusia kepada Allah SWT dan menyadarkan akal manusia untuk berfikir atas ciptaan Allah SWT yang harus dijaga. Kedua yaitu *Muamalah ma'a An-nas*, yang mana manfaat penelitian ini menyadarkan kepada sesama manusia untuk saling membantu dan saling menolong dalam perbuatan baik, contohnya yaitu dalam menjaga lingkungan perairan dari pencemaran limbah cair organik hasil buangan industri tekstil, sehingga secara tidak langsung akan meningkatkan kepedulian antar sesama manusia dalam menjaga dan melestarikan lingkungan perairan, serta akan meningkatkan kestabilan kesehatan manusia. Ketiga yaitu *Muamalah ma'a al-'alam*, yang mana manfaat penelitian ini menyadarkan kepada seluruh manusia agar tetap menjaga alam perairan dari kontaminasi air limbah industri, sehingga secara tidak langsung akan membantu dan menjaga kelestarian alam seperti hewan dan tumbuhan yang hidup di lingkungan perairan.

Metode pengolahan limbah cair organik yang sedang dikembangkan saat ini adalah metode fotodegradasi. Material  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Zeolit Alam dan  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Karbon Aktif telah banyak dilaporkan sebagai fotokatalis yang efektif pada reaksi fotodegradasi limbah cair organik. Berdasarkan hal tersebut, secara tidak langsung penelitian tentang material  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Zeolit Alam dan  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Karbon Aktif merupakan suatu bentuk usaha penjagaan lingkungan. Selain itu, penelitian ini juga menunjukkan penggunaan sains dan teknologi yang tepat, yaitu sebagai pendukung manusia dalam usahanya melindungi lingkungan hidupnya.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

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

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September-Oktober 2020 di Laboratorium Kimia Anorganik dan Laboratorium Instrumentasi Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pengambilan data Spektrofotometer UV-Vis dan UV-Vis *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (UV-Vis DRS) dilakukan di Laboratorium Instrumentasi Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, sedangkan pengambilan data *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan di Laboratorium Kimia Analisis Glabs Indonesia

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

##### **3.2.1 Alat**

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain seperangkat alat gelas, ayakan 200 mesh, mortar agate, krusibel alumina, mikrotube, desikator, *magnetic stirrer*, oven (*Thermo Scientific*), neraca analitik, *hot plate*, sonikator, tanur, sentrifugasi, *X-Ray Diffraction* (XRD), UV-Vis *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (UV-Vis DRS), Spektrofotometer UV-Vis, dan UV fotoreaktor.

##### **3.2.2 Bahan**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain akua DM, TiO<sub>2</sub>, urea, zeolit alam, karbon aktif, etanol 96%, HCl 6 M, dan metil jingga.

#### **3.3 Tahapan Penelitian**

1. Pembuatan Larutan
2. Pembuatan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam dan TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif
  - a. Preparasi Zeolit Alam dan Karbon Aktif
  - b. Aktivasi Zeolit Alam dan Karbon Aktif
  - c. Sintesis Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N
  - d. Impregnasi Zeolit Alam dan Karbon Aktif
3. Karakterisasi Fotokatalis Menggunakan XRD dan UV-Vis DRS

4. Uji Efektivitas Degradasi Metil Jingga Menggunakan Fotokatalis  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Zeolit Alam dan  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Karbon Aktif.

### **3.4 Prosedur Kerja**

#### **3.4.1 Pembuatan Larutan**

##### **3.4.1.1 Pembuatan Larutan Induk Metil Jingga 1000 ppm**

Metil jingga sebanyak 1 gram dilarutkan dengan 250 mL akuades ke dalam gelas kimia. Kemudian larutan dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL dan ditandabatkan, sehingga diperoleh larutan induk metil jingga 1000 ppm.

##### **3.4.1.2 Pembuatan Larutan Kurva Standar**

Larutan induk metil jingga 1000 ppm diencerkan menjadi 100 ppm sebanyak 100 mL. Larutan 100 ppm metil jingga ini digunakan sebagai larutan induk untuk pembuatan larutan standar. Kemudian larutan 100 ppm metil jingga dipipet masing-masing 1, 2, 3, 4, dan 5 mL. Kemudian masing-masing ditandabatkan dalam 50 mL akuades dan dihomogenkan, sehingga diperoleh metil jingga dengan konsentrasi 2, 4, 6, 8, dan 10 ppm.

##### **3.4.1.3 Pembuatan Larutan Sampel Metil Jingga**

Metil jingga 100 ppm dipipet sebanyak 50 mL dan dimasukkan ke dalam labu ukur 500 mL. Kemudian ditandabatkan dengan menambahkan akuades, sehingga diperoleh larutan sampel metil jingga dengan konsentrasi 10 ppm.

##### **3.4.1.4 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Metil Jingga**

Larutan standar metil jingga 10 ppm yang sudah dibuat kemudian diukur absorbansinya menggunakan Spektrofotometer UV-Vis, sehingga diperoleh panjang gelombang maksimum. Panjang gelombang maksimum diperoleh dari nilai absorbansi tertinggi. Sebelum pengukuran sampel dengan Spektrofotometer UV-Vis, dilakukan pengukuran blanko dengan akuades. Panjang gelombang maksimum metil jingga dilakukan dalam rentang 200-800 nm.

#### 3.4.1.5 Penentuan Kurva Standar Metil Jingga

Larutan standar metil jingga yang sudah dibuat kemudian diukur absorbansinya menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum 462 nm. Masing-masing absorbansi setiap konsentrasi yang diperoleh dibuat kurva kalibrasi dengan sumbu x sebagai konsentrasi larutan standar (ppm) dan sumbu y sebagai absorbansi yang dihasilkan dari larutan standar. Dari grafik diperoleh persamaan regresi linier  $y = ax + b$ .

### 3.4.2 Pembuatan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam dan TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif

#### 3.4.2.1 Preparasi Zeolit Alam dan Karbon Aktif

Preparasi zeolit alam dilakukan dengan cara zeolit alam dihaluskan dan diayak dengan ukuran 200 mesh hingga halus. Kemudian ditimbang sebanyak 100 gram dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang berisi 200 mL akuades dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit pada suhu kamar. Kemudian endapan yang didapat disaring menggunakan kertas saring dan dioven pada suhu 100°C selama 2 jam. Kemudian zeolit alam didesikator selama 30 menit dan ditimbang hingga berat konstan (Wardhani, dkk., 2016). Perlakuan yang sama juga dilakukan pada preparasi karbon aktif.

#### 3.4.2.2 Aktivasi Zeolit Alam dan Karbon Aktif

Aktivasi zeolit alam dilakukan dengan cara menimbang zeolit alam hasil preparasi sebanyak 30 gram dan ditambahkan HCl 6 M sebanyak 60 mL. Kemudian campuran diaduk selama 3 jam menggunakan *magnetic stirrer*. Campuran zeolit alam dan HCl 6 M disaring dan dicuci dengan akuades hingga filtrat netral. Residu zeolit alam dioven pada suhu 100°C selama 2 jam (Wardhani, dkk., 2016). Perlakuan yang sama juga dilakukan pada aktivasi karbon aktif.

#### 3.4.2.3 Sintesis TiO<sub>2</sub>-N

TiO<sub>2</sub>-N dibuat dengan perbandingan TiO<sub>2</sub>:N (95:5), dengan mencampurkan 4760 mg TiO<sub>2</sub> dan 186,2 mg N ke dalam akua DM 10 mL, kemudian campuran disonikasi selama 30 menit pada iradiasi gelombang ultrasonik sebesar 42 kHz. Campuran kemudian diuapkan di atas *hot plate* selama 30 menit. Kemudian

campuran dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 3 jam dan dikalsinasi pada suhu 400°C selama 2 jam. Hasil kalsinasi dihaluskan menggunakan mortar sampai berbentuk serbuk (Riyani, dkk., 2012).

#### 3.4.2.4 Impregnasi Zeolit Alam dan Karbon Aktif

Pembuatan TiO<sub>2</sub>-N terimpregnasi pada zeolit alam dilakukan dengan cara mencampurkan 1800 mg TiO<sub>2</sub>-N dengan 3000 mg zeolit alam. Kemudian ditambahkan etanol 96% sebanyak 10 mL dalam gelas kimia 250 mL. Campuran diaduk selama 5 jam menggunakan *magnetic stirrer*. Kemudian campuran TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam dikeringkan dalam oven pada suhu 120°C selama 5 jam. Setelah kering, campuran TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam digerus sampai halus kemudian diayak menggunakan ayakan 200 mesh (Lestari, dkk., 2015). Perlakuan yang sama juga dilakukan pada impregnasi karbon aktif.

Tabel 3.1 Perbandingan massa TiO<sub>2</sub>, N, zeolit alam, dan karbon aktif

Jenis Fotokatalis	Massa (mg)
TiO <sub>2</sub> : N	4760 : 186,2
TiO <sub>2</sub> -N : zeolit alam	1800 : 3000
TiO <sub>2</sub> -N : karbon aktif	1800 : 3000

\*Sumber: (Riyani, dkk., 2012) dan (Lestari, dkk., 2015)

### 3.4.3 Karakterisasi Fotokatalis Menggunakan XRD dan UV-Vis DRS

#### 3.4.3.1 Identifikasi Struktur Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam dan TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif dengan X-Ray Diffraction

Karakterisasi menggunakan XRD dilakukan untuk mengidentifikasi fasa dan ukuran kristal senyawa yang dihasilkan. Analisis XRD menggunakan radiasi monokromator sinar-X Cu (1,54060 Å) dengan voltase 30 kV. Sedangkan, scanning dilakukan pada sudut 2θ (°) = 5 - 80 dengan kecepatan 3° per menit. Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam dan TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif dikarakterisasi dalam bentuk serbuk halus dan ditempatkan pada preparat dan dipress. Kemudian ditempatkan pada sampel *holder* dan disinari dengan sinar-X. Data yang diperoleh dari karakterisasi dengan XRD adalah difraktogram yang akan dibandingkan dengan standar *database* yang ada pada Joint Committee on Powder Diffraction Standards

(JCPDS). Standar TiO<sub>2</sub> anatas, TiO<sub>2</sub> rutil, karbon aktif, dan zeolit alam berasal dari nomor JCPDS berturut-turut yaitu 00-021-1272, 00-021-1276, 00-023-0064, 00-023-0064.

#### **3.4.3.2 Identifikasi Energi Celah Pita Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam dan TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif Menggunakan UV-Vis *Diffuse Reflectance Spectroscopy***

Karakterisasi menggunakan UV-VIS DRS dilakukan untuk mengidentifikasi energi celah pita dari material hasil sintesis. Fotokatalis TiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>-N, TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam dan TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif dikarakterisasi dalam bentuk serbuk halus dan ditempatkan pada sampel *holder* yang kemudian diukur persentase reflektannya pada 200-800 nm.

#### **3.4.4 Uji Efektivitas Degradasi Metil Jingga Menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam dan TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif**

Tujuh buah gelas kimia 50 mL diisi dengan larutan metil jingga 10 ppm sebanyak 25 mL dengan perlakuan yang berbeda, yaitu gelas ke-1 berisi larutan metil jingga; gelas ke-2 berisi larutan metil jingga + 50 mg TiO<sub>2</sub>; gelas ke-3 berisi larutan metil jingga + 50 mg zeolit alam; gelas ke-4 berisi larutan metil jingga + 50 mg karbon aktif; gelas ke-5 berisi larutan metil jingga + 50 mg TiO<sub>2</sub>-N; gelas ke-6 berisi larutan metil jingga + 50 mg TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam; gelas ke-7 berisi larutan metil jingga + 50 mg TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif (Damayanti, dkk., 2014). Kemudian dilakukan proses fotodegradasi dalam fotoreaktor selama 60 menit menggunakan sinar UV. Setelah itu, disaring menggunakan kertas saring yang dilanjutkan dengan disentrifugasi larutan selama 60 menit. Kemudian dilakukam pengulangan sebanyak 3 kali. Konsentrasi metil jingga setelah perlakuan diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum 462 nm (Lestari, dkk., 2015).

### 3.5 Analisis Data

#### 3.5.1 Analisis Data XRD

Analisis data XRD dilakukan menggunakan persamaan Debye-Scherrer yang ditampilkan pada persamaan 3.1.

$$D = \frac{(K\lambda)}{(\beta \cos \theta)} \quad (3.1)$$

Dimana  $D$  = ukuran partikel (nm),  $\lambda$  = panjang gelombang radiasi,  $K$  = konstanta (0,9), sedangkan  $\beta$  = integrasi luas puncak refleksi (FWHM, radian).

#### 3.5.2 Analisis Data UV-Vis DRS

Analisis data UV-Vis DRS dilakukan menggunakan teori Kubelka-Munk yang ditampilkan pada persamaan 3.2. Data persentase reflektansi (% $R$ ) yang diperoleh diubah menjadi reflektansi ( $R$ ).

$$F(R) = \frac{(1-R)^2}{2R} = \frac{k}{s} \quad (3.2)$$

Dimana,  $F(R)$  adalah faktor Kubelka-Munk,  $k$  adalah koefisien adsorpsi molar,  $s$  adalah koefisien *scattering*,  $R$  adalah nilai reflektansi yang diukur terhadap standar. Energi celah pita ampel ditentukan dari spektra tersebut dengan membuat plot antara  $(F(R) hv)^{0.5}$  sebagai sumbu Y dan energi foton sebagai sumbu X. Energi foton ( $hv$ ) bisa dihitung dari data panjang gelombang yang terukur, di mana  $hv = hc/\lambda$ , dimana  $c$  adalah kecepatan cahaya dan  $h$  adalah ketetapan plank. Kemudian ditentukan dengan cara menarik garis linear yang melewati daerah tersebut, kemudian menentukan persamaan linearnya. Persamaan linear selanjutnya dicari nilai  $x$  sebagai energi celah pita ketika  $y = 0$ .

#### 3.5.3 Analisis Data Aktivitas Fotokatalisis

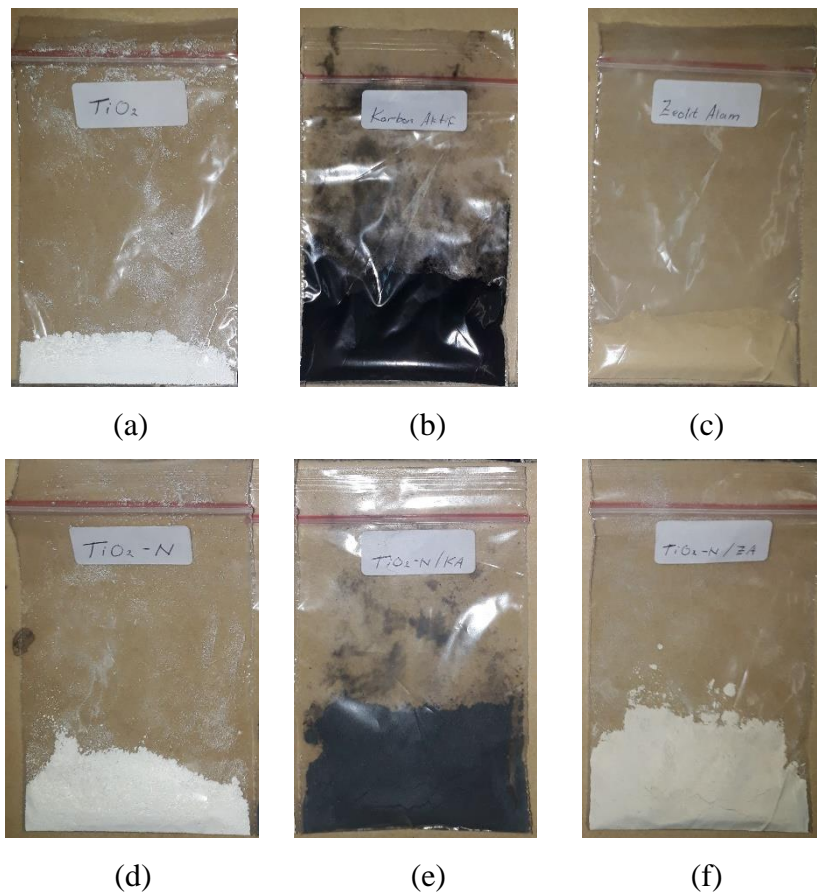
Analisis data aktivitas fotokatalitik dilakukan dengan menghitung absorbansi larutan standar menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Setelah didapatkan nilai absorbansi, dibuat kurva standar dengan sumbu x adalah konsentrasi larutan standar dan sumbu y adalah absorbansi. Melalui kurva, akan diperoleh persamaan regresi linear  $y = ax + b$  dengan y sebagai absorbansi dan x konsentrasi.

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \quad (3.3)$$

Konsentrasi awal metil jingga didefinisikan sebagai  $C_0$  sedangkan konsentrasi akhir metil jingga setelah dilakukan proses fotokatalis dilambangkan dengan  $C_t$ . Persen degradasi metil jingga diketahui dengan memasukkan nilai absorbansi ke dalam regresi linier metil jingga yang kemudian dihitung menggunakan persamaan 3.3

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

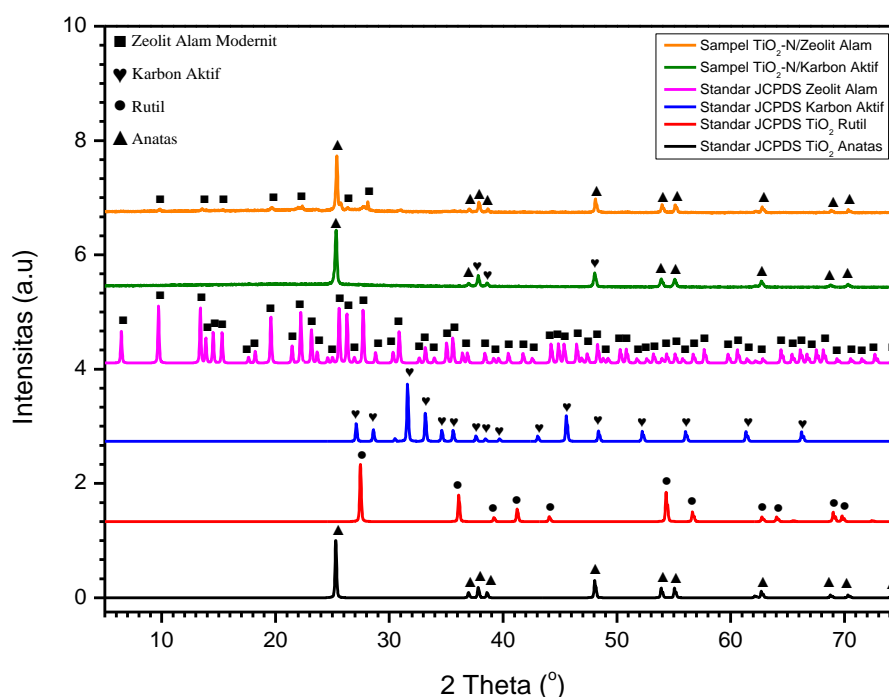
Dalam penelitian ini dilakukan pengaruh pengemban zeolit alam dan karbon aktif terhadap fotokatalis  $\text{TiO}_2\text{-N}$  dalam mendegradasi metil jingga menggunakan metode sonikasi. Hasil sintesis dikarakterisasi dengan (a) *X-Ray Diffraction (XRD)* yang bertujuan untuk mengetahui fasa dan ukuran kristal senyawa yang dihasilkan, (b) *Diffuse Reflectance Spectroscopy (DRS)* yang bertujuan untuk mengetahui nilai energi celah pita material hasil sintesis, dan (c) Uji aktivitas fotokatalis  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Zeolit Alam dan  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Karbon Aktif dalam mendegradasi metil jingga. Hasil beberapa fotokatalis pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.1 berikut:



Gambar 4.1 Hasil beberapa fotokatalis (a)  $\text{TiO}_2$  (b) karbon aktif (c) zeolit alam (d)  $\text{TiO}_2\text{-N}$  (e)  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Karbon Aktif (f)  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Zeolit Alam

#### 4.1 Analisis Karakterisasi Struktur Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam dan TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif dengan X-Ray Diffraction

Karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan untuk mengetahui fasa dan ukuran kristal senyawa yang dihasilkan dari sintesis. Analisis XRD menggunakan radiasi monokromator sinar-X Cu ( $1,54060 \text{ \AA}$ ) dengan voltase 30 kV. Sedangkan, scanning dilakukan pada sudut  $2\theta$  ( $^{\circ}$ ) = 5 - 80 dengan kecepatan  $3^{\circ}$  per menit. Pola difraksi fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam dan TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif ditunjukkan pada Gambar 4.2 berikut:



Gambar 4.2 Pola difraksi TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam dan TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif

Berdasarkan Gambar 4.2 yang menunjukkan bahwa sampel fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif menghasilkan puncak khas dengan nilai intensitas tertinggi pada posisi  $2\theta = 25,321^{\circ}$ , sedangkan pada sampel fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam menghasilkan puncak khas dengan nilai intensitas tertinggi pada posisi  $2\theta = 25,378^{\circ}$ . Hasil tersebut sesuai dengan standar JCPDS TiO<sub>2</sub> anatas nomor 00-021-1272 yang memperlihatkan puncak khas dengan nilai intensitas tertinggi pada posisi  $2\theta = 25,2812^{\circ}$ . Hasil tersebut juga sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Phromma, dkk. (2020), yang menyatakan bahwa TiO<sub>2</sub> anatas

menghasilkan puncak khas dengan nilai intensitas tertinggi pada posisi  $2\theta = 25,30^\circ$ . Sehingga dapat diketahui bahwa pola difraksi sampel fotokatalis  $\text{TiO}_2\text{-N/Karbon Aktif}$  dan  $\text{TiO}_2\text{-N/Zeolit Alam}$  memiliki fasa anatas (fasa tunggal).

Berdasarkan data difraksi tersebut, tidak dihasilkan adanya puncak difraksi baru pada sampel  $\text{TiO}_2\text{-N/Karbon Aktif}$  dan  $\text{TiO}_2\text{-N/Zeolit Alam}$ , tetapi hanya menghasilkan pelebaran puncak difraksi. Adanya dopan N yang tersubstitusi ke dalam kisi  $\text{TiO}_2$  pada sampel  $\text{TiO}_2\text{-N/Zeolit Alam}$  dan  $\text{TiO}_2\text{-N/Karbon Aktif}$  mengakibatkan pelebaran puncak difraksi yang lebih tinggi dibandingkan standar  $\text{TiO}_2$ . Hal ini dikarenakan dopan N memiliki jari-jari anion ( $\text{N}^{3-}$ ) sebesar 0,136 nm yang lebih kecil dibandingkan jari-jari anion ( $\text{O}^{2-}$ ) pada  $\text{TiO}_2$  sebesar 0,140 nm, sehingga dengan adanya dopan N mampu memperlebar puncak difraksi akibat kompensasi muatan logam O yang tersubstitusi oleh dopan N. Hasil tersebut sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Gurkan, dkk. (2012), yang menyatakan bahwa adanya dopan N yang tersubstitusi ke dalam kisi  $\text{TiO}_2$  tidak menghasilkan puncak difraksi baru, tetapi hanya menghasilkan pelebaran puncak difraksi ke arah sudut  $2\theta$  yang lebih tinggi.

Pada sampel  $\text{TiO}_2\text{-N/Karbon Aktif}$ , muncul beberapa puncak khas yang menandakan adanya karbon aktif yaitu pada posisi  $2\theta = 37,821^\circ$ ,  $38,602^\circ$ , dan  $48,057^\circ$ . Puncak-puncak tersebut sesuai dengan standar JCPDS karbon aktif nomor 00-046-0943. Sedangkan pada sampel  $\text{TiO}_2\text{-N/Zeolit Alam}$ , muncul beberapa puncak khas yang menandakan adanya zeolit alam yaitu pada posisi  $2\theta = 9,887^\circ$ ,  $13,522^\circ$ ,  $15,390^\circ$ ,  $19,660^\circ$ ,  $22,362^\circ$ ,  $26,347^\circ$ , dan  $28,1247^\circ$ . Puncak-puncak tersebut sesuai dengan standar JCPDS zeolit alam nomor 00-006-0239. Munculnya puncak-puncak khas pada kedua sampel tersebut menunjukkan bahwa zeolit alam memiliki jenis modernit, sedangkan karbon aktif memiliki jenis amorf. Selain itu, adanya puncak-puncak khas pada kedua sampel tersebut menunjukkan bahwa material karbon aktif dan zeolit alam sudah terimpregnasi pada fotokatalis  $\text{TiO}_2\text{-N}$ .

Menurut Khafifudin (2017), yang menyatakan bahwa  $\text{TiO}_2$  murni hasil penelitiannya menggunakan proses kalsinasi dengan suhu  $400^\circ\text{C}$  selama 3 jam menghasilkan ukuran kristal sebesar 106,65 nm. Sedangkan ukuran kristal sampel fotokatalis  $\text{TiO}_2\text{-N/Karbon Aktif}$  dan  $\text{TiO}_2\text{-N/Zeolit Alam}$  pada penelitian ini

berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan Debye Scherrer menghasilkan ukuran kristal sebesar 56,84 nm dan 47,37 nm seperti tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Ukuran kristal beberapa sampel fotokatalis

<b>Sampel Fotokatalis</b>	<b>Ukuran Kristal (nm)</b>
TiO <sub>2</sub> -N/Karbon Aktif	56,84
TiO <sub>2</sub> -N/Zeolit Alam	47,37

Berdasarkan Tabel 4.1 yang menunjukkan bahwa terdapat perubahan ukuran kristal yang cukup signifikan antara TiO<sub>2</sub> murni dengan TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif dan TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam. Pada fotokatalis TiO<sub>2</sub> murni menghasilkan ukuran kristal sebesar 106,65 yang mana ukuran kristal tersebut masih tergolong besar. Sedangkan pada fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif dan TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam menghasilkan ukuran kristal yaitu 56,84 nm dan 47,37 nm yang mana ukuran kristal tersebut tergolong nanokristal (1-100 nm). Hasil tersebut sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Rajoriya, dkk. (2018), yang menyatakan bahwa penambahan dopan N pada fotokatalis TiO<sub>2</sub> dapat memperkecil ukuran kristal dari yang semula TiO<sub>2</sub> sebesar 115 nm menjadi TiO<sub>2</sub>-N sebesar 58 nm.

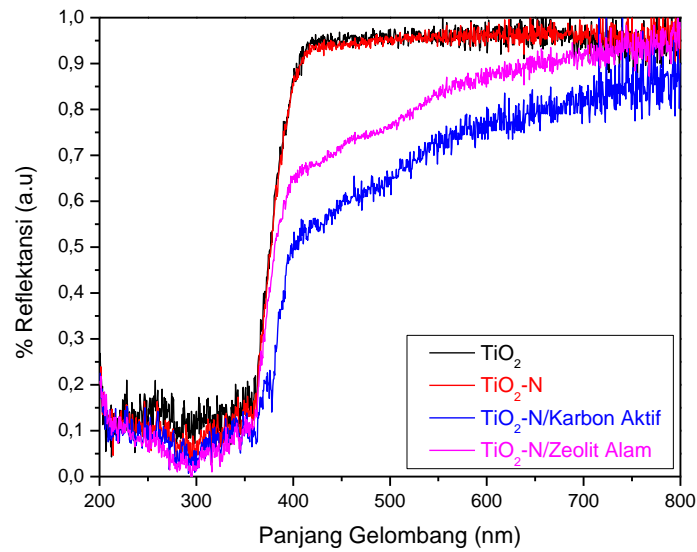
Selain itu, perubahan ukuran kristal juga diakibatkan oleh adanya penambahan material penyangga karbon aktif dan zeolit alam pada fotokatalis TiO<sub>2</sub>. Hal ini disebabkan karena TiO<sub>2</sub> yang ditambahkan material penyangga karbon aktif dan zeolit alam mampu memperkecil agregasi TiO<sub>2</sub>, sehingga mengakibatkan kapasitas adsorpsi semakin besar (luas permukaan semakin besar) yang kemudian mampu memperkecil ukuran kristal (Shankar, dkk., 2006). Hasil tersebut sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Yusefah dan Amaria (2018), yang menyatakan bahwa penambahan material penyangga zeolit alam pada fotokatalis TiO<sub>2</sub> dapat memperkecil ukuran kristal dari yang semula TiO<sub>2</sub> sebesar 27,42 nm menjadi TiO<sub>2</sub>-zeolit alam sebesar 22,85 nm. Hasil tersebut diperkuat oleh Selishchev dan Kozlov (2014), yang menyatakan bahwa penambahan material penyangga zeolit alam pada fotokatalis TiO<sub>2</sub> dapat meningkatkan luas permukaan dari yang semula TiO<sub>2</sub> sebesar 208 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup> menjadi TiO<sub>2</sub>-zeolit alam sebesar 396 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>. Sedangkan hasil penelitian Martins dkk. (2016), juga menyatakan bahwa penambahan material penyangga karbon aktif pada fotokatalis TiO<sub>2</sub> dapat

memperkecil ukuran kristal dari yang semula TiO<sub>2</sub> sebesar 10,3 nm menjadi TiO<sub>2</sub>-karbon aktif sebesar 8,5 nm serta dapat memperluas permukaan dari yang semula TiO<sub>2</sub> sebesar 96 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup> menjadi TiO<sub>2</sub>-karbon aktif sebesar 129 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>. Menurut Naimah dan Ermawati (2011), material fotokatalis yang mempunyai ukuran kristal 1-100 nm akan menghasilkan aktivitas fotokatalitik yang besar. Semakin kecil ukuran kristal fotokatalis, maka semakin luas permukaan suatu fotokatalis, sehingga aktivitas fotokatalitik akan semakin besar.

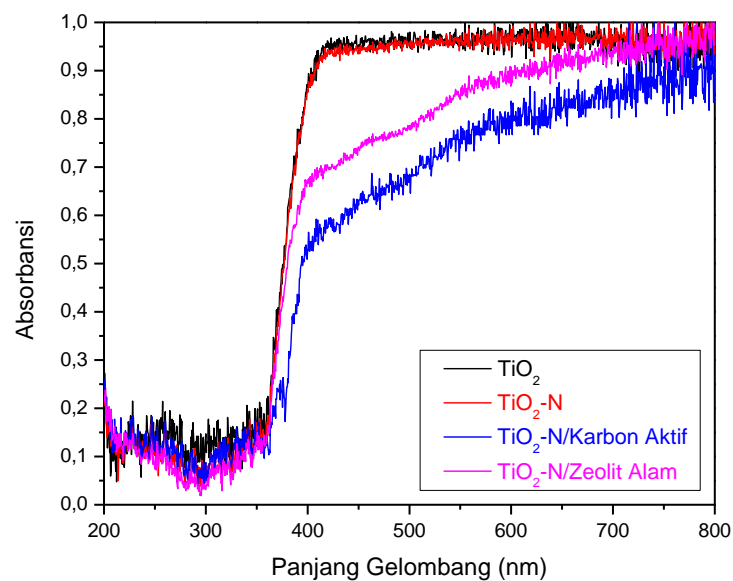
Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam memiliki ukuran kristal yang lebih kecil dibanding fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif, hal ini dikarenakan fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam memiliki pelebaran puncak ke arah  $2\theta$  yang lebih besar yaitu pada posisi  $2\theta = 25,378^\circ$  dibandingkan dengan fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif yang memiliki pelebaran puncak ke arah  $2\theta$  yang lebih kecil yaitu pada posisi  $2\theta = 25,321^\circ$ . Perhitungan menggunakan persamaan Debye Scherrer menjelaskan bahwa semakin besar pelebaran  $2\theta$  suatu fotokatalis, maka semakin kecil pula ukuran kristal yang dihasilkan.

#### **4.2 Analisis Karakterisasi Energi Celah Pita Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam dan TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif Menggunakan UV-Vis *Diffuse Reflectance Spectroscopy***

Karakterisasi menggunakan UV-Vis DRS dilakukan untuk mengetahui energi celah pita hasil sintesis. Penentuan energi celah pita fotokatalis TiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>-N, TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif dan TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam dihitung berdasarkan nilai data persentase reflektansi (%R) yang dihasilkan dari pengukuran oleh UV-Vis DRS pada panjang gelombang 200-800 nm. Gambar 4.3 menunjukkan persentase reflektansi (%R) dari beberapa sampel fotokatalis, dan Gambar 4.4 menunjukkan nilai absorbansi dari beberapa sampel fotokatalis.



Gambar 4.3 Hubungan antara % reflektansi dengan panjang gelombang pada hasil UV-Vis DRS

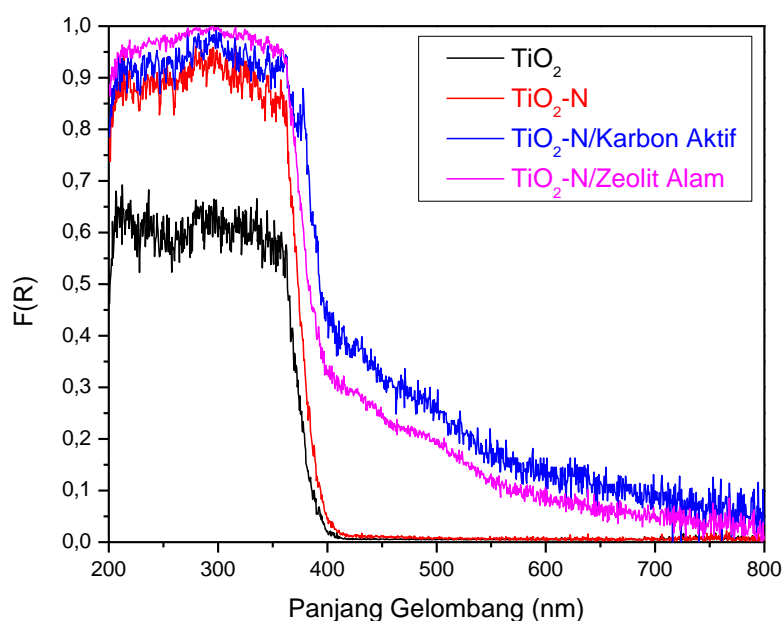


Gambar 4.4 Hubungan antara nilai absorbansi dengan panjang gelombang pada hasil UV-Vis DRS

Berdasarkan Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 yang menunjukkan bahwa nilai persentase reflektansi (%R) dan nilai absorbansi antara sampel fotokatalis  $\text{TiO}_2$  dengan  $\text{TiO}_2\text{-N}$  tidak terjadi perubahan yang signifikan, sedangkan nilai persentase

reflektansi (%R) dan nilai absorbansi antara sampel fotokatalis  $\text{TiO}_2$  dengan  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Karbon Aktif dan  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Zeolit Alam terjadi perubahan yang cukup signifikan. Pada sampel fotokatalis  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{TiO}_2\text{-N}$  mempunyai nilai persentase reflektansi (%R) dan nilai absorbansi yang sangat tinggi pada panjang gelombang 400-800 nm, sedangkan pada sampel fotokatalis  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Karbon Aktif dan  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Zeolit Alam mempunyai nilai persentase reflektansi (%R) dan nilai absorbansi yang tidak terlalu tinggi pada panjang gelombang 400-800 nm. Hal ini menandakan bahwa penambahan material penyangga karbon aktif dan zeolit alam dapat menurunkan nilai persentase reflektansi (%R) dan nilai absorbansi pada fotokatalis  $\text{TiO}_2$ .

Pada nilai data persentase reflektansi (%R), dilakukan analisis lebih lanjut menggunakan teori Kubelka-Munk. Faktor Kubelka-Munk yang didefinisikan sebagai  $F(R)$ , sebanding dengan nilai koefisien absorpsi per *scattering* ( $k/s$ ). Gambar 4.5 menunjukkan nilai faktor Kubelka-Munk dari beberapa sampel fotokatalis.

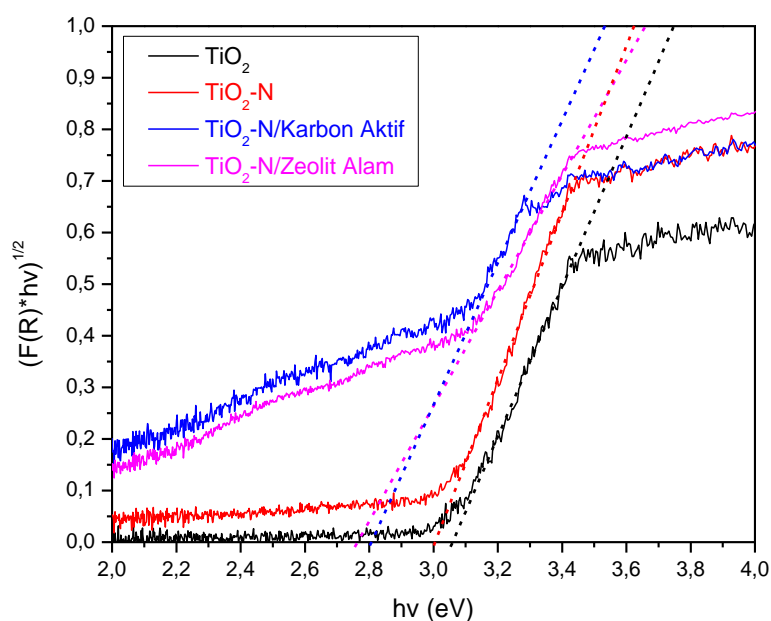


Gambar 4.5 Hubungan antara faktor Kubelka-Munk dengan panjang gelombang hasil UV-Vis DRS

Berdasarkan Gambar 4.5 yang menunjukkan bahwa pada sampel fotokatalis  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{TiO}_2\text{-N}$  mempunyai nilai koefisien absorpsi per *scattering* yang sangat

tinggi pada panjang gelombang 200-400 nm dan masih memunculkan nilai koefisien per *scattering* pada panjang gelombang 400-800 nm, meskipun nilainya sangat sedikit. Sedangkan pada sampel TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif dan TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam mempunyai nilai koefisien absorpsi per *scattering* yang sangat tinggi pada panjang gelombang 200-400 nm dan masih memunculkan nilai koefisien absorpsi per *scattering* pada panjang gelombang 400-800 nm, meskipun nilainya menurun. Hal ini menandakan bahwa sampel fotokatalis TiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>-N, TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif dan TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam mampu menyerap sinar pada daerah sinar UV dan sinar tampak.

Nilai energi celah pita dihasilkan dengan cara memplotkan grafik hubungan antara antara  $(F(R) \cdot hv)^{1/2}$  terhadap  $hv$  (eV), lalu ditarik garis lurus memotong sumbu x. Penentuan energi celah pita hanya bisa dilakukan pada sampel yang memiliki koefisien determinasi ( $R^2$ ) mendekati satu. Gambar 4.6 menunjukkan nilai energi celah pita dari beberapa sampel fotokatalis.



Gambar 4.6 Hasil nilai energi celah pita

Berdasarkan Gambar 4.6 yang menunjukkan bahwa penambahan dopan N, karbon aktif, dan zeolit alam dapat menurunkan energi celah pita pada fotokatalis TiO<sub>2</sub>. 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). Perhitungan energi celah pita dan serapan panjang gelombang dirangkum dalam Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Energi celah pita dan daerah serapan panjang gelombang

<b>Sampel Fotokatalis</b>	<b>Energi Celah Pita (eV)</b>	<b>Panjang Gelombang (nm)</b>
$\text{TiO}_2$	3,05	406
$\text{TiO}_2\text{-N}$	3,00	413
$\text{TiO}_2\text{-N/Karbon Aktif}$	2,80	443
$\text{TiO}_2\text{-N/Zeolit Alam}$	2,76	449

Berdasarkan Tabel 4.2 yang menunjukkan bahwa urutan besarnya energi celah pita yaitu  $\text{TiO}_2 > \text{TiO}_2\text{-N} > \text{TiO}_2\text{-N/Karbon Aktif} > \text{TiO}_2\text{-N/Zeolit Alam}$ . Penurunan energi celah pita tersebut terjadi karena adanya pergeseran panjang gelombang ke daerah yang memiliki panjang gelombang yang lebih tinggi.

Pada fotokatalis  $\text{TiO}_2\text{-N}$ , penambahan dopan N mampu menghasilkan energi celah pita yang lebih kecil dibandingkan dengan fotokatalis  $\text{TiO}_2$  yaitu dari 3,05 eV menjadi 3,00 eV. Hal ini dikarenakan adanya atom N yang masuk ke dalam kisi  $\text{TiO}_2$  dapat mempengaruhi energi celah pita  $\text{TiO}_2$ , sehingga terjadi pencampuran orbital antara atom N dan O yang kemudian mampu meningkatkan absorpsi sinar dan aktivitas fotokatalis pada sinar tampak serta mampu memperkecil energi celah pita  $\text{TiO}_2$  (Valentin, dkk., 2007). Selain itu, penambahan dopan N pada  $\text{TiO}_2$  mampu memberikan tingkat energi baru yang memudahkan elektron mengalami eksitasi dari pita valensi ke pita konduksi, sehingga aktivitas fotokatalis akan lebih optimal pada sinar tampak yaitu pada panjang gelombang 413 nm. Perubahan energi celah pita saat penambahan dopan N pada fotokatalis  $\text{TiO}_2$  tidak terlalu signifikan, hal ini dikarenakan penambahan dopan N yang terlalu sedikit yaitu cuma 0,1862 gr, sehingga atom O pada  $\text{TiO}_2$  yang di substitusi oleh dopan N juga sedikit. Hasil tersebut sesuai dengan hasil penelitian yang telah

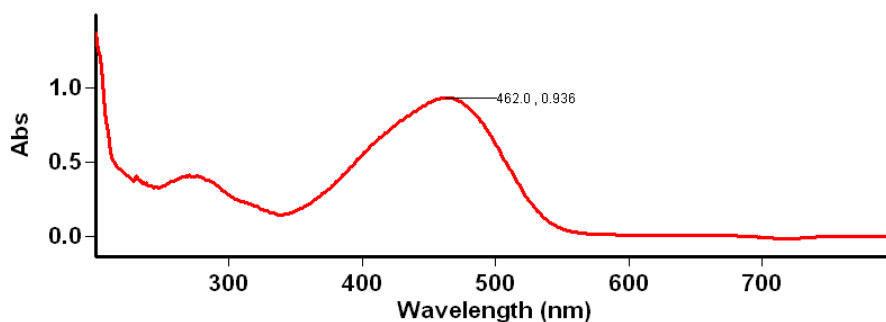
dilakukan oleh Alvina, dkk. (2015), yang menyatakan bahwa penambahan dopan N pada fotokatalis  $\text{TiO}_2$  mampu menurunkan energi celah pita yang semula  $\text{TiO}_2$  sebesar 3,35 eV menjadi  $\text{TiO}_2\text{-N}$  sebesar 3,34 eV.

Pada fotokatalis  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Karbon Aktif dan  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Zeolit Alam juga mampu menghasilkan penurunan energi celah pita yaitu sebesar 2,80 eV dan 2,76 eV. Penurunan energi celah pita pada fotokatalis  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Karbon Aktif dan  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Zeolit Alam ini bahkan lebih besar dibandingkan dengan penurunan energi celah pita pada fotokatalis  $\text{TiO}_2\text{-N}$ . Hal ini dikarenakan adanya penambahan material penyangga zeolit alam dan karbon aktif yang berfungsi sebagai adsorben, sehingga dengan adanya adsorben tersebut dapat mendispersi  $\text{TiO}_2$  pada permukaan karbon aktif dan zeolit alam yang mengakibatkan bertambah luasnya permukaan material fotokatalis. Semakin besar luas permukaan suatu fotokatalis, maka semakin kecil ukuran kristal yang dihasilkan, sehingga jarak antara pita valensi dengan pita konduksi semakin kecil yang akhirnya mengakibatkan semakin kecilnya energi celah pita (Martins, dkk., 2016). Selain itu, dengan menurunnya energi celah pita pada fotokatalis  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Karbon Aktif dan  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Zeolit akan menghasilkan aktivitas fotokatalis yang optimal pada sinar tampak yaitu pada panjang gelombang 443 nm dan 449 nm. Hasil tersebut sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Alvina, dkk. (2015), yang menyatakan bahwa penambahan zeolit alam pada fotokatalis  $\text{TiO}_2$  mampu menurunkan energi celah pita yang semula  $\text{TiO}_2$  sebesar 3,35 eV menjadi  $\text{TiO}_2\text{-zeolit alam}$  sebesar 3,33 eV. Sedangkan hasil penelitian Martins, dkk. (2016), juga menyatakan bahwa penambahan karbon aktif pada fotokatalis  $\text{TiO}_2$  mampu menurunkan energi celah pita yang semula  $\text{TiO}_2$  sebesar 3,07 eV menjadi  $\text{TiO}_2\text{-karbon aktif}$  sebesar 3,04 eV.

#### **4.3 Analisis Efektivitas Degradasi Metil Jingga Menggunakan Fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Zeolit Alam dan $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Karbon Aktif**

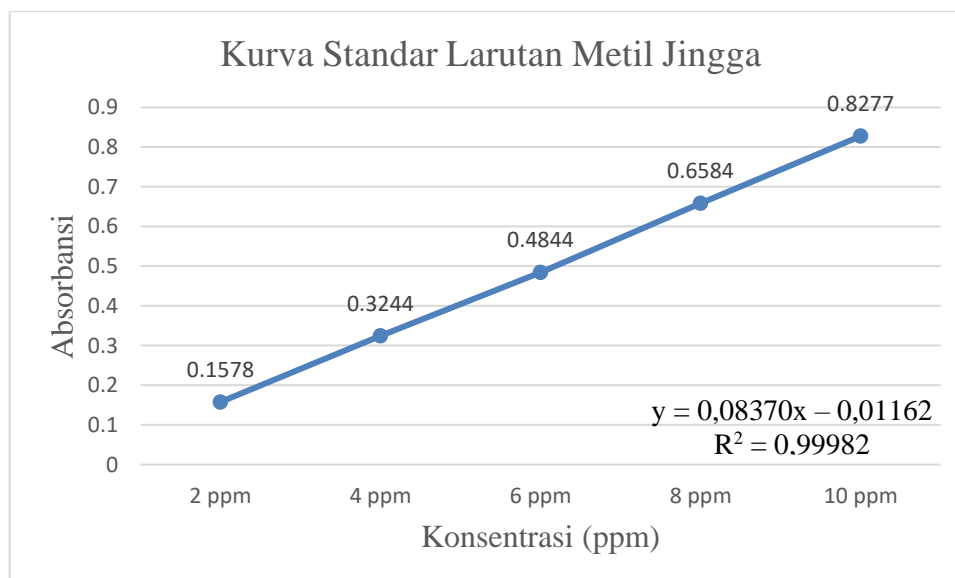
Analisis efektivitas degradasi metil jingga oleh fotokatalis  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Zeolit Alam dan  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Karbon Aktif dilakukan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Larutan metil jingga 10 ppm diukur panjang gelombang maksimumnya menggunakan alat spektroskopi UV-Vis dengan rentang panjang gelombang 200-800 nm. Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan, didapatkan hasil panjang

gelombang maksimum larutan metil jingga 10 ppm yaitu sebesar 462 nm yang ditunjukkan pada Gambar 4.7. Panjang gelombang maksimum 462 nm inilah yang digunakan sebagai standar untuk mengetahui absorbansi tiap sampel fotokatalis yang di uji.



Gambar 4.7 Panjang gelombang maksimum metil jingga

Setelah itu, dibuat kurva standar menggunakan larutan metil jingga dengan variasi konsentrasi yaitu 2 ppm, 4 ppm, 6 ppm, 8 ppm, dan 10 ppm menggunakan panjang gelombang 462 nm. Gambar 4.8 menunjukkan hasil kurva standar larutan metil jingga.



Gambar 4.8 Kurva Standar Larutan Metil Jingga

Berdasarkan Gambar 4.8 yang menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi larutan metil jingga, maka absorbansinya juga semakin besar. Hal ini menandakan bahwa semakin besar konsentrasi larutan metil jingga, warna yang

diserap juga akan semakin pekat. Berdasarkan kurva standar tersebut, dihasilkan persamaan regresi linier  $y = 0,08370x - 0,01162$  dengan  $R^2 = 0,99982$ . 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.

Tahap selanjutnya yaitu proses uji aktivitas degradasi metil jingga menggunakan beberapa variasi material fotokatalis hasil sintesis. Berdasarkan hasil uji aktivitas fotodegradasi, didapatkan perhitungan % degradasi dari beberapa variasi material fotokatalis yang dirangkum dalam Tabel 4.3 dan didapatkan hasil uji statistik rancangan acak lengkap SPSS yang dirangkum dalam Tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.3 Degradasi (%) beberapa variasi sampel fotokatalis

Sampel	Rata-Rata % Degradasi
Metil Jingga	29,05
Karbon Aktif	33,52
Zeolit Alam	37,74
TiO <sub>2</sub>	48,54
TiO <sub>2</sub> -N	52,96
TiO <sub>2</sub> -N/Karbon Aktif	53,03
TiO <sub>2</sub> -N/Zeolit Alam	56,04

Tabel 4.4 Data duncan SPSS

Hasil Degradasi						
Duncan <sup>a</sup>						
Nama Sampel	N	Subset for alpha = 0.05				Simbol
		(a)	(b)	(c)	(d)	
(1) Metil Jingga	6	29.3833				a
(2) Karbon Aktif	6	35.0817	35.0817			ab
(3) Zeolit Alam	6		38.0250			b
(4) TiO <sub>2</sub>	6			46.9667		c
(5) TiO <sub>2</sub> -N	6			47.6200		c
(6) TiO <sub>2</sub> -N/Karbon Aktif	6			52.7733	52.7733	cd
(7) TiO <sub>2</sub> -N/Zeolit Alam	6				57.4217	d
Sig.		.098	.387	.110	.175	

Berdasarkan Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 yang menunjukkan bahwa seluruh variasi yang telah dilakukan dapat menghasilkan % degradasi terhadap metil jingga. Pada variasi pertama yaitu metil jingga + sinar UV menghasilkan % degradasi sebesar 29,05%. Variasi pertama ini menandakan bahwa dia tidak memiliki perbedaan yang signifikan (tidak berbeda nyata) dengan variasi kedua, karena mereka berada pada simbol yang sama yaitu (a). Disisi lain variasi pertama ini memiliki perbedaan yang signifikan (berbeda nyata) dengan variasi ketiga, keempat, kelima, keenam, dan ketujuh, karena mereka berada pada simbol yang berbeda. Hasil tersebut menunjukkan bahwa adanya bantuan sinar UV yang digunakan dalam proses fotodegradasi mampu memberikan % degradasi terhadap metil jingga. Hal ini dikarenakan H<sub>2</sub>O yang dikenai sinar UV mengalami fotolisis yang dapat menghasilkan radikal hidroksil ( $\bullet$ OH) didalam larutan. Radikal hidroksil ( $\bullet$ OH) yang dihasilkan dari proses H<sub>2</sub>O/UV dapat bereaksi dengan senyawa-senyawa organik dalam limbah cair metil jingga. Reaksi tersebut kemudian mampu mengubah senyawa-senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana seperti CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O (Yuningrat, dkk., 2015).

Pada variasi kedua dan ketiga yaitu metil jingga + karbon aktif + sinar UV dan metil jingga + zeolit alam + sinar UV menghasilkan % degradasi yang lebih tinggi dibandingkan pada variasi pertama yaitu sebesar 33,52% dan 37,74%. Variasi kedua ini menandakan bahwa dia tidak memiliki perbedaan yang signifikan (tidak berbeda nyata) dengan variasi pertama dan ketiga, karena mereka berada pada simbol yang sama yaitu (a) dan (b). Disisi lain variasi kedua ini memiliki perbedaan yang signifikan (berbeda nyata) dengan variasi keempat, kelima, keenam, dan ketujuh, karena mereka berada pada simbol yang berbeda. Sedangkan variasi ketiga ini menandakan bahwa dia tidak memiliki perbedaan yang signifikan (tidak berbeda nyata) dengan variasi kedua, karena mereka berada pada simbol yang sama yaitu (b). Disisi lain variasi ketiga ini memiliki perbedaan yang signifikan (berbeda nyata) dengan variasi keempat, kelima, keenam, dan ketujuh, karena mereka berada pada simbol yang berbeda. Hal ini dikarenakan pada variasi kedua dan ketiga terdapat penambahan karbon aktif dan zeolit alam yang berperan sebagai adsorben yang berfungsi untuk mengikat zat warna, sehingga dapat meningkatkan adsorpsi terhadap metil jingga (Wardhani, dkk., 2016). Karbon aktif dan zeolit alam ini tidak memiliki kemampuan fotokatalitik, namun memiliki kemampuan adsorpsi apabila dibarengi dengan penyinaran sinar UV pada saat proses fotodegradasi, sehingga akan terjadi proses adsorpsi karbon aktif dan zeolit alam oleh semikonduktor dari oksida-oksida yang terdapat di dalam mineral tersebut. Hasil tersebut sesuai dengan hasil penelitian yang sudah dilakukan oleh Deka (2019), yang menyatakan bahwa material adsorben zeolit alam + sinar UV mampu mendegradasi zat warna metil jingga sebesar 29,62%. Sedangkan hasil penelitian Li, dkk. (2006), juga menyatakan bahwa material karbon aktif + sinar UV mampu mendegradasi zat warna metil jingga sebesar 30%.

Pada variasi keempat yaitu metil jingga +  $\text{TiO}_2$  + sinar UV menghasilkan % degradasi yang lebih tinggi dibandingkan pada variasi pertama, kedua, dan ketiga yaitu sebesar 48,54%. Variasi keempat ini menandakan bahwa dia tidak memiliki perbedaan yang signifikan (tidak berbeda nyata) dengan variasi kelima dan keenam, karena mereka berada pada simbol yang sama yaitu (c). Disisi lain variasi keempat ini memiliki perbedaan yang signifikan (berbeda nyata) dengan variasi pertama, kedua, ketiga, dan ketujuh, karena mereka berada pada simbol yang berbeda. Hal

ini dikarenakan  $\text{TiO}_2$  merupakan fotokatalis yang memiliki kemampuan fotokatalitik yang lebih tinggi dalam mendegradasi metil jingga dibandingkan karbon aktif dan zeolit alam. Selain itu,  $\text{TiO}_2$  dapat mengkatalisis reaksi oksidasi dan reduksi. Reaksi oksidasi dan reaksi reduksi dapat terjadi karena  $\text{TiO}_2$  merupakan semikonduktor yang memiliki pita valensi dan pita konduksi. Pita valensi merupakan pita dengan energi terendah yang terisi elektron, sedangkan pita konduksi merupakan pita dengan energi tertinggi yang tidak terisi elektron. Dengan adanya penyinaran menggunakan sinar UV pada saat proses fotodegradasi oleh  $\text{TiO}_2$ , maka akan terjadi eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi, sehingga akan menghasilkan *hole* ( $h^+$ ) pada pita valensi dan elektron ( $e^-$ ) pada pita konduksi. Selanjutnya *hole* ( $h^+$ ) tersebut akan bereaksi dengan  $\text{H}_2\text{O}$  membentuk radikal hidroksil ( $\bullet\text{OH}$ ). Radikal hidroksil ( $\bullet\text{OH}$ ) merupakan spesi yang dihasilkan dari reaksi material ( $\text{H}^+$ ) dan  $\text{H}_2\text{O}$  yang kemudian akan menyerang molekul organik (metil jingga) dan mendegradasinya menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  (Arutanti dan Khairurrijal, 2009). Hasil tersebut sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Riyani dan Setyaningtyas (2011), yang menyatakan bahwa fotokatalis  $\text{TiO}_2$  + sinar UV mampu mendegradasi zat warna metil jingga sebesar 44,46%.

Pada variasi kelima yaitu metil jingga +  $\text{TiO}_2\text{-N}$  + sinar UV menghasilkan % degradasi yang lebih tinggi dibandingkan pada variasi keempat yaitu sebesar 52,96%. Variasi kelima ini menandakan bahwa dia tidak memiliki perbedaan yang signifikan (tidak berbeda nyata) dengan variasi keempat dan keenam, karena mereka berada pada simbol yang sama yaitu (c). Disisi lain variasi kelima ini memiliki perbedaan yang signifikan (berbeda nyata) dengan variasi pertama, kedua, ketiga, dan ketujuh, karena mereka berada pada simbol yang berbeda. Hal ini dikarenakan adanya efek kavitas akustik dalam proses sonikasi menjadikan proses hidrolisis atau kondensasi lebih cepat, sehingga membentuk  $\text{TiO}_2\text{-N}$  nanopartikel. Urea akan terdekomposisi menjadi  $\text{NH}_3$ , kemudian  $\text{NH}_3$  akan bereaksi dengan  $\text{NO}_x$  membentuk gas  $\text{N}_2$ , gas ini lah yang akan terperangkap dalam permukaan  $\text{TiO}_2$  dan akan membentuk  $\text{TiO}_2\text{-N}$  (Cheng, dkk., 2011).  $\text{TiO}_2\text{-N}$  memiliki energi celah pita yang lebih kecil dibandingkan dengan  $\text{TiO}_2$ , sehingga dengan penambahan dopan N pada fotokatalis  $\text{TiO}_2$  tersebut dapat menyerap energi foton yang dihasilkan oleh sinar UV lebih besar dibandingkan fotokatalis  $\text{TiO}_2$  tanpa dopan, sehingga

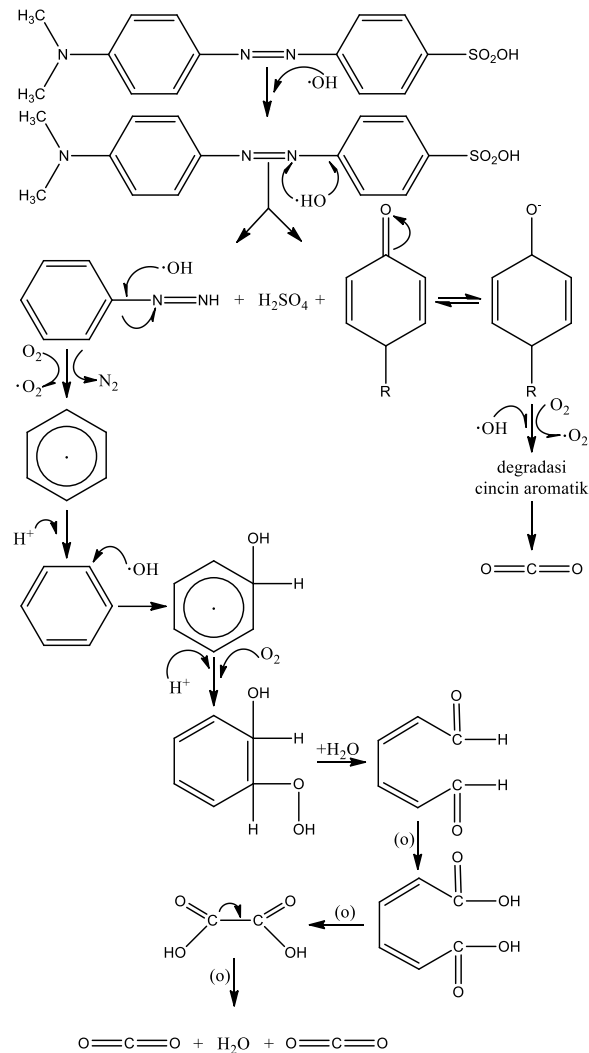
menyebabkan % degradasinya juga semakin meningkat (Wismayanti, 2015). Hasil tersebut sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Fraditasari, dkk. (2015), yang menyatakan bahwa fotokatalis  $\text{TiO}_2\text{-N}$  + sinar UV mampu mendegradasi zat warna metil jingga sebesar 52,41%. Mekanisme reaksi antara  $\text{TiO}_2$  dengan  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  ditampilkan pada persamaan 4.1 - 4.4 berikut (Cheng, dkk., 2011):



Pada variasi keenam dan ketujuh yaitu metil jingga +  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Karbon Aktif + sinar UV dan metil jingga +  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Zeolit Alam + sinar UV menghasilkan % degradasi yang paling tinggi dibandingkan pada variasi sebelumnya yaitu sebesar 53,96% dan 56,04%. Variasi keenam ini menandakan bahwa dia tidak memiliki perbedaan yang signifikan (tidak berbeda nyata) dengan variasi keempat, kelima, dan ketujuh, karena mereka berada pada simbol yang sama yaitu (c) dan (d). Disisi lain variasi keenam ini memiliki perbedaan yang signifikan (berbeda nyata) dengan variasi pertama, kedua, dan ketiga, karena mereka berada pada simbol yang berbeda. Sedangkan variasi ketujuh ini menandakan bahwa dia tidak memiliki perbedaan yang signifikan (tidak berbeda nyata) dengan variasi keenam, karena mereka berada pada simbol yang sama yaitu (d). Disisi lain variasi ketujuh ini memiliki perbedaan yang signifikan (berbeda nyata) dengan variasi pertama, kedua, ketiga, keempat, dan kelima, karena mereka berada pada posisi yang berbeda. Hal ini dikarenakan pada variasi keenam dan ketujuh ini terdapat penambahan material penyangga karbon aktif dan zeolit alam yang mana memiliki kemampuan dalam memperluas permukaan fotokatalis  $\text{TiO}_2$ .  $\text{TiO}_2$  merupakan material fotokatalis yang mudah teraglomerasi, sehingga dengan penambahan material penyangga karbon aktif dan zeolit alam dapat mendispersi  $\text{TiO}_2$  pada permukaan karbon aktif dan zeolit alam yang mengakibatkan bertambah luasnya permukaan material fotokatalis (Martins, dkk., 2016). Menurut Siah, dkk. (2016), dengan penambahan material penyangga karbon aktif dan zeolit alam pada fotokatalis  $\text{TiO}_2$ , maka kemampuan degradasi dari fotokatalis  $\text{TiO}_2$  dapat meningkat karena terjadi proses fotokatalitik

dan proses adsorpsi pada permukaan fotokatalis  $\text{TiO}_2\text{-N/Karbon Aktif}$  dan  $\text{TiO}_2\text{-N/Zeolit Alam}$ . Sehingga akan mengakibatkan bertambahnya luas permukaan fotokatalis  $\text{TiO}_2\text{-N/Karbon Aktif}$  dan  $\text{TiO}_2\text{-N/Zeolit Alam}$ . Semakin luas permukaan material fotokatalis, maka semakin besar juga kontak dengan reaktan, sehingga proses degradasinya juga semakin besar.

Selain dapat memperlluas permukaan fotokatalis  $\text{TiO}_2$ , penambahan karbon aktif dan zeolit alam juga dapat memperkecil energi celah pita (Tabel 4.2). Semakin kecil energi celah pita, maka jarak antara pita valensi dengan pita konduksi juga semakin kecil, sehingga proses eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi juga akan semakin cepat. Proses eksitasi ini menghasilkan *hole* ( $h^+$ ) pada pita valensi dan elektron ( $e^-$ ) pada pita konduksi. Selanjutnya *hole* ( $h^+$ ) tersebut akan bereaksi dengan  $\text{H}_2\text{O}$  membentuk radikal hidroksil ( $\bullet\text{OH}$ ). Radikal hidroksil ( $\bullet\text{OH}$ ) inilah yang akan mendegradasi metil jingga menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Semakin banyak radikal hidroksil ( $\bullet\text{OH}$ ) yang dihasilkan, maka semakin besar pula % degradasi terhadap metil jingga (Arutanti dan Khairurrijal, 2009). Hasil tersebut sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Windati (2012), yang menyatakan bahwa penambahan material penyangga zeolit alam terhadap fotokatalis  $\text{TiO}_2$  mampu mendegradasi zat warna metil jingga sebesar 50,15%. Sedangkan hasil penelitian Riyani dan Setyaningtyas (2011), juga menyatakan bahwa penambahan material penyangga karbon aktif terhadap fotokatalis  $\text{TiO}_2$  mampu mendegradasi zat warna metil jingga sebesar 52,02%. Mekanisme reaksi degradasi terhadap senyawa azo metil jingga ditampilkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Mekanisme reaksi degradasi senyawa azo metil jingga (Getoff, 1995)

Berdasarkan Gambar 4.9, radikal hidroksil ( $\cdot\text{OH}$ ) merupakan radikal utama yang melakukan inisiasi degradasi terhadap senyawa azo metil jingga. Adapun tahapan radikal hidroksil ( $\cdot\text{OH}$ ) dalam mendegradasi senyawa azo metil jingga yaitu yang pertama radikal hidroksil ( $\cdot\text{OH}$ ) tersebut menyerang gugus utama senyawa azo metil jingga menghasilkan radikal fenil (sebelah kanan) dan radikal fenoksil (sebelah kiri). Tahap selanjutnya yaitu pada radikal fenil, adanya oksigen terlarut ( $\text{O}_2$ ) akan menyebabkan abstraksi ion hidrogen dan radikalnya yang kemudian terjadi degradasi cincin aromatik menjadi  $\text{CO}_2$ . Tahap selanjutnya yaitu pada radikal fenoksil, adanya oksigen terlarut ( $\text{O}_2$ ) akan menyebabkan munculnya gas nitrogen ( $\text{N}_2$ ) yang kemudian diikuti dengan proses reduksi pada radikal cincin benzen menjadi senyawa aromatik sederhana. Setelah itu, senyawa aromatik sederhana tersebut akan teroksidasi oleh radikal hidroksil ( $\cdot\text{OH}$ ) menjadi gugus

benzen yang kemudian akan terdegradasi menjadi radikal hidroksi sikloheksadienil. Setelah itu, adanya ion ( $H^+$ ) dan oksigen terlarut ( $O_2$ ) pada radikal hidroksisikloheksadienil akan menghasilkan hidroksi hidroperoksida yang tidak stabil. Reaksi selanjutnya yaitu adanya penghilangan satu molekul air ( $H_2O$ ) akan menyebabkan terjadinya pembentukan cincin aromatis dari hidroksi hidroperoksida menjadi mukondialdehid. Reaksi selanjutnya yaitu terjadi oksidasi pada mukondialdehid menjadi asam mukonat, lalu terjadi oksidasi lagi pada asam mukonat menjadi asam karboksilat. Tahapan terakhir yaitu terjadi oksidasi pada asam karboksilat yang kemudian akan menghasilkan  $2CO_2$  dan  $H_2O$ .

#### **4.4 Hasil Penelitian dalam Perspektif Islam**

Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa fotokatalis  $TiO_2-N$  yang dimipregnasikan pada material penyangga karbon aktif dan zeolit alam dapat meningkatkan aktivitas fotokatalitik dalam mendegradasi metil jingga. Hal ini dibuktikan dengan kedua sampel fotokatalis  $TiO_2-N$ /Karbon Aktif dan  $TiO_2-N$ /Zeolit Alam yang memiliki fasa anatas, memiliki ukuran kristal yang berukuran nano (1-100 nm), memiliki energi celah pita yang kecil, serta memiliki % degradasi yang tinggi.

Penelitian tentang material fotokatalis ini merupakan salah satu bentuk usaha dalam menjaga dan melindungi lingkungan dari limbah cair organik (metil jingga) yang dapat merusaknya. Seperti diketahui sebelumnya bahwa fotokatalis  $TiO_2-N$ /Karbon Aktif dan  $TiO_2-N$ /Zeolit Alam mempunyai potensi sebagai material fotokatalis yang efektif dan efisien dalam mendegradasi limbah cair organik (metil jingga). Selain itu, metode fotodegradasi merupakan metode yang sangat ampuh dalam memperbaiki lingkungan dengan cara mendegradasinya dibandingkan dengan metode lainnya.

Manusia sebagai makhluk hidup yang paling sempurna dengan dibekali akal diperintahkan untuk mampu berfikir atas nikmat dan kekuasaan Allah SWT dimanapun dan kapanpun mereka berada. Allah SWT menciptakan alam semesta dengan keindahan yang tak tertandingi seperti langit, matahari, bulan, dan bumi. Bumi sejatinya mempunyai beragam keindahan yang luar biasa seperti daratan dan perairan. Menyinggung perairan yang ada di bumi, sudah semestinya menjadi

tanggung jawab manusia dalam menjaga dan melestarikan keindahannya dari kerusakan, seperti yang telah dijelaskan dalam firman Allah SWT dalam surat Ali Imron ayat 190-191 dan surat al-Baqarah ayat 11-12 sebagai berikut:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ ۚ ۱۹۰ الَّذِينَ يَذْكُرُونَ  
 اللَّهَ قِيَامًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَطْلًا  
 سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ ۱۹۱

Artinya:

“*Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang yang berakal (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadaan 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.*” (QS. Ali Imran/190-191)

وَإِذَا قِيلَ لَهُمْ لَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ قَالُوا إِنَّمَا نَحْنُ مُصْلِحُونَ ۗ ۱۱ أَلَا إِنَّهُمْ هُمُ الْمُفْسِدُونَ وَلٰكِنْ  
 لَا يَشْعُرُونَ ۚ ۱۲

Artinya:

“*Dan bila dikatakan kepada mereka: “Janganlah kamu membuat kerusakan di bumi”. Mereka menjawab: “Sesungguhnya kami orang-orang yang megadakan perbaikan”. “Ingatlah, sesungguhnya mereka itulah orang-orang yang membuat kerusakan tapi mereka tidak sadar.”*” (QS. Al-Baqarah/11-12)

TiO<sub>2</sub> merupakan fotokatalis yang diciptakan Allah SWT dengan berbagai manfaat, salah satunya yaitu bermanfaat bagi lingkungan perairan. Modifikasi fotokatalis TiO<sub>2</sub> dengan material penyangga karbon aktif dan zeolit alam merupakan salah satu usaha manusia dalam berfikir untuk menjaga dan melestarikan lingkungan dari limbah cair organik (metil jingga). Perlindungan lingkungan adalah salah satu bentuk konservasi bagi kesejahteraan lingkungan yang merupakan tujuan tertinggi syari’ah (Abdullah, 2010). Hal ini menunjukkan bahwa menjaga dan melestarikan lingkungan perairan yang ada di bumi merupakan suatu kewajiban bagi manusia, seperti yang dijelaskan dalam hadis yang diriwayatkan oleh Tirmidzi sebagai berikut:

قَالَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ . مَنَّ أَحْيَىٰ أَرْضًا مَيِّتَةً فَهِيَ لَهُ (رواه الترميذی)

Artinya:

*"Rasulullah SAW bersabda: barangsiapa menghidupkan bumi yang mati maka (bumi) itu menjadi miliknya." (HR. Tirmidzi)*

Hadis tersebut menjelaskan tentang Rasulullah SAW yang sangat menganjurkan dan mengapresiasi kepada manusia yang mau menjaga dan melestarikan bumi dari kerusakan. Sebagai khalifah di bumi, sudah seharusnya manusia mempunyai kewajiban dalam menjaga dan melestarikan bumi dari berbagai kerusakan, khususnya lingkungan perairan yang sesuai dengan penelitian ini. Sehingga perbuatan tersebut akan menjadikan sebuah amal ibadah seseorang kepada Allah SWT.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Fotokatalis  $\text{TiO}_2\text{-N/Karbon Aktif}$  dan  $\text{TiO}_2\text{-N/Zeolit Alam}$  menghasilkan fasa anatas, dengan ukuran kristalnya yaitu  $\text{TiO}_2\text{-N/Karbon Aktif}$  sebesar 56,84 nm dan  $\text{TiO}_2\text{-N/Zeolit Alam}$  sebesar 47,37 nm. Nilai energi celah pita yang dihasilkan yaitu  $\text{TiO}_2$  sebesar 3,05 eV;  $\text{TiO}_2\text{-N}$  sebesar 3,00 eV;  $\text{TiO}_2\text{-N/Karbon Aktif}$  sebesar 2,80 eV; dan  $\text{TiO}_2\text{-N/Zeolit Alam}$  sebesar 2,76 eV.
2. Fotokatalis  $\text{TiO}_2\text{-N/Karbon Aktif}$  dan  $\text{TiO}_2\text{-N/Zeolit Alam}$  menghasilkan % degradasi tertinggi dibandingkan dengan material fotokatalis yang lain yaitu  $\text{TiO}_2\text{-N/Karbon Aktif}$  sebesar 53,03% dan  $\text{TiO}_2\text{-N/Zeolit Alam}$  sebesar 56,04%.

#### **5.2 Saran**

1. Perlu dilakukan uji fotodegradasi pada kondisi gelap dan sinar tampak untuk mengetahui perbandingan aktivitas suatu fotokatalis dalam mendegradasi metil jingga.
2. Perlu dilakukan analisis SEM untuk mengetahui morfologi dari sampel fotokatalis.
3. Perlu dilakukan analisis XRF untuk mengetahui unsur yang terkandung dari sampel fotokatalis.

## DAFTAR PUSTAKA

- A'yun, Q., Baiti, I. B., dan Ridho, R. 2019. Pengaruh Pelapisan Titanium Dioksida (TiO<sub>2</sub>) pada Plat Kaca Terhadap Efektivitas Fotodegradasi *Methyl Orange* Menggunakan Metode Sodis (*Solar Disinfection Water*). *Jurnal Crystal: Publikasi Penelitian Kimia Dan Terapannya*. Vol. 1. No. 1.
- Abdullah, M. 2010. *Tafsir Ibnu Katsir Jilid 6*. Bogor: Imam Asy-Syafi'i
- Aji, S. B., Asnawi, F., Susilaningtyas, L., dan Indah Y. N. 2009. *X-Ray Diffractometer*. Surakarta: Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.
- Alfina, B. T., Wardhani, S., dan Tjahjanto, R. T. 2015. Sintesis TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit untuk Degradasi Metilen Biru. *Kimia Student Journal*. Vol. 1. No. 1. Hal. 509-605.
- Amalina, E. S., Harjito., dan Priatmoko, S. 2016. Pengaruh Doping-N pada Aktivitas Fotokatalis TiO<sub>2</sub> untuk Degradasi *Methyl Orange*. *Indonesian Journal of Chemical Science*. Vol. 5. Hal. 69-72.
- Arutanti, O., dan Khairurrijal, A., M. 2009. Penjernihan Air Dari Pencemar Organik dengan Proses Fotokatalis pada Permukaan Titanium Dioksida (TiO<sub>2</sub>). *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*. Hal. 2-4.
- Asahi, R., dan Morikawa, T. 2007. Nitrogen Complex Species and Its Chemical Nature in TiO<sub>2</sub> for Visible-light Sensitized Photocatalysis. *Chemical Physics*. Vol. 339. Hal. 57-63.
- Asiltürk, M., dan Şener, Ş. 2011. TiO<sub>2</sub>-Activated Carbon Photocatalysts: Preparation, Characterization and Photocatalytic Activities. *Chemical Engineering Journal*. Vol. 180. Hal. 354-363.
- Basuki, K. T. 2007. Penurunan Konsentrasi CO dan NO<sub>2</sub> pada Emisi Gas Buang dengan Menggunakan Media Penyisipan TiO<sub>2</sub> Lokal pada Karbon Aktif. *JFN*. Vol. 1. No. 1.
- Bere, F. 2013. Pengaruh Ion Logam Cu(II) Terhadap Efektivitas Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru Terkatalis TiO<sub>2</sub>. *Skripsi*. Yogyakarta: Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.
- Callister, J. W. D. 2003. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Chen, X., dan Mao S. S. 2007. Titanium Dioxide Nanomaterials: Synthesis, Properties, Modifications, and Application. *Chemical Review*. Vol. 107. No.7. Hal. 2891-2959.
- Cheng, X., Yu, X., Xing, Z., dan Wan, J. 2011. Enhanced Photocatalytic Activity of Nitrogen Doped TiO<sub>2</sub> Anatase Nano-Particle under Simulated Sunlight Irradiation. *Energy Procedia*. Vol. 16. Hal. 598-605.

- Choi, J., Park, H., dan Hoffmann, M. R. 2009. Combinatorial Doping of TiO<sub>2</sub> with Platinum (Pt), Chromium (Cr), Vanadium (V), and Nickel (Ni) to Achieve Enhanced Photocatalytic Activity with Visible Light Irradiation. *Journal Materials Research*. Vol. 25. No. 1.
- Damayanti, C. A., Wardhani, S., dan Purwonugroho, D. 2014. Pengaruh Konsentrasi TiO<sub>2</sub> dalam Zeolit Terhadap Degradasi Methylene Blue Secara Fotokatalitik. *Kimia Student Journal*. Vol. 1. No. 1. Hal. 8-14.
- Deka. P. T. 2019. Perbandingan Proses Fotodegradasi pada Zat Warna Metil Jingga Menggunakan Zeolit, Katalis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Zeolit dan Sinar UV. *Journal of Pharmacy and Science*. Vol. 4. No. 2. Hal. 71-76.
- Diebold, U. 2003. The Surface Science of Titanium Dioxide. *Surface Science Reports*. Vol. 48. Hal. 53-229.
- Fatkhiyah, N. 2013. Analisis Pewarna pada Minuman dengan Menggunakan Kamera Digital. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Fraditasari, R., Wardhani, S., dan Khunur, M. M. 2015. Degradasi *Methyl Orange* Menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N: Kajian Pengaruh Sinar dan Konsentrasi TiO<sub>2</sub>-N. *Kimia Student Journal*. Vol. 1. No. 1. Hal. 606-612.
- Fujishima, A., Zhang, X., dan Tryk, D. A. 2008. TiO<sub>2</sub> Photocatalysis and Related Surface Phenomena. *Surface Science Reports*. Vol. 63. Hal. 515-582.
- Getoff, N. 1995. Radiation-Induced Degradation of Water Pollutants-State of The Art. *Radiation Physics Chemistry*. Vol. 47. No. 4. Hal. 473-478.
- Gupta, K., Singh, R. P., Pandey A., dan Anjana, P. 2013. Photocatalytic Antibacterial Performance of TiO<sub>2</sub> and Ag-doped TiO<sub>2</sub> Against *S. aureus*, *P. aeruginosa* and *E. coli*. *Beilstein Journal of nanotechnology*. Vol. 1. No. 4. Hal. 345-351.
- Gurkan, Y. Y., Turken, N., dan Cinar, Z. 2012. Photocatalytic Degradation of Cefazolin over N-Doped TiO<sub>2</sub> Under UV and Sunlight Irradiation: Prediction of the Reaction Paths Via Conceptual DFT. *Chemical Engineering Journal*. Vol. 184. Hal. 113-124.
- Hartoyo, A. W. W., Wahyuni, S., dan Harjito. 2013. Penurunan Kadar *Linear Alkyl Sulfonate* oleh Fotokatalis TiO<sub>2</sub>/Zeolit Alam. *Chemical Engineering Journal*. Vol. 2. No. 2. Hal. 109-113.
- Hasibuan, 2012. Modifikasi Zeolit Alam dengan TiO<sub>2</sub> untuk Mereduksi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. *Skripsi*. Depok: Universitas Indonesia.
- Henderson, M. A. 2011. A Surface Science Perspective on TiO<sub>2</sub> Photocatalysis. *Surface Science Reports*. Vol. 66. Hal. 185-297.
- Idrus, R., Lapanporo, B. P., dan Putra, Y. S. 2013. Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Kualitas Karbon Aktif Berbahan Dasar Tempurung Kelapa. *Pisma Fisika*. Vol. 1.

No. 1. Hal. 50-55.

- Jawhari, Tantowi. 2004. *al-Jawahir Fi Tafsir al-Qur'an al-Karim*. Kairo: Mustafa al-Babi Wa Al-Halbi.
- Kaneko, M., dan Okura, I. 2002. *Photocatalysis Science and Technology*. Japan: Springer.
- Karim, S., Pardoyo, dan Subagiyo, A. 2016. Sintesis dan Karakterisasi TiO<sub>2</sub> Terdoping Nitrogen (N-Doped TiO<sub>2</sub>) dengan Metode Sol-Gel. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. Vol. 19. No. 2. Hal. 63-67.
- Kas, R., dan Birer, O. 2012. Sonochemical Shape Control of Copper Hydroxysulfates. *Journal of Ultrasound and Sonochemistry*. Vol. 19. Hal. 692-700.
- Khafifudin, B. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Fotokatalis Titanium Dioksida (TiO<sub>2</sub>) Anatas dengan Metode Sonikasi Variasi Suhu dan Waktu Kalsinasi. *Skripsi*. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim
- Leary, R., dan Westwood, A. 2011. Carbonaceous Nanomaterials for The Enhancement of TiO<sub>2</sub> Photocatalysis. *Carbon Journal*. Vol. 491. Hal. 741-772.
- Lestari, D. N. 2009. Studi Preparasi dan Karakterisasi N-Doped TiO<sub>2</sub> dengan Metode Sol-Gel Menggunakan Prekursor Titanium Iso Propoksida (TTIP) dan Diethylamine (DEA). *Skripsi*. Depok: Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.
- Lestari, M. W. 2012. Sintesis dan Karakterisasi Nanokatalis Cu/TiO<sub>2</sub> yang Diaplikasikan pada Proses Degradasi Limbah Fenol. *Skripsi*. Depok: Jurusan Kimia, FMIPA, UNNES.
- Lestari, Y. D., Wardhani, S., dan Khunur M. M. 2015. Degradasi *Methylene Blue* Menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit dengan Sinar Matahari. *Kimia Student Journal*. Vol. 1. No. 1. Hal. 592-598.
- Li, G., Yu, J. C., Zhang, D., Hu, X., dan Lau W. M. 2009. A Mesoporous TiO<sub>2-x</sub>N<sub>x</sub> Photocatalyst Prepared by Sonication Pretreatment and in Situ Pyrolysis. *Separation and Purification Technology*. Vol. 67. Hal. 152-157.
- Li, Y., Li, X., Li, J., dan Yin, J. 2006. Photocatalytic Degradation of Methyl Orange by TiO<sub>2</sub>-coated Activated Carbon and Kinetic Study. *Science Direct Journal*. Vol. 40. Hal. 1119-1126.
- Liu, S., Lim, May., dan Amal, R. 2014. TiO<sub>2</sub>-Coated Natural Zeolite: Rapid Humic Acid Adsorption and Effective Photocatalytic. *Chemical Engineering Science*. Vol. 105. Hal. 46-52.
- Manurung, R., Hasibuan, R., dan Irvan. 2004. Perombakan Zat Warna Azo Reaktif Secara Anaerob-Aerob. *Jurnal Penelitian*. Sumatera: Universitas Sumatera Utara.
- Martins, A. C., Cazetta, A. I., Pezoti, O., Souza, J. R. B., Zhang, T., Pilau, E. J., Asefa, T.,

- dan Almeida, V. C. 2016. Sol-gel Synthesis of New TiO<sub>2</sub>/Activated Carbon Photocatalyst and Its Application for Degradation of Tetracycline. *Ceramics International*. Vol. 43. Hal 4411-4418.
- Naimah, S., dan Ermawati, R. 2011. Efek Fotokatalis Nano TiO<sub>2</sub> terhadap Mekanisme Antimikroba *E. coli* dan *Salmonella*. *Jurnal Riset Industri*. Vol. 5. No. 2. Hal. 113-120.
- Ningsih, T. S. 2012. Sintesis dan Karakterisasi Fotokatalis Ni<sup>2+</sup>-ZnO Berbasis Zeolit Alam. *Skripsi*. Depok: Universitas Indonesia.
- Palupi, E. 2006. Degradasi *Methylene Blue* dengan Metode Fotokatalisis dan Fotoelektrokatalisis Menggunakan Film TiO<sub>2</sub>. *Skripsi*. Departemen Fisika FMIPA. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Phromma, S., Wutikhum, T., Kasamechonchung, P., Eksangsri, T., dan Sapcharoenkum, C. 2020. Effect of Calcination Temperature on Photocatalytic Activity of Synthesized TiO<sub>2</sub> nanoparticles via Wet ball Milling Sol-Gel Method. *Applied Sciences*. Vol. 10. No. 3. Hal. 1-13.
- Pundisari, S. S., Wardhani, S., dan Purwonugroho, D. 2013. Pengaruh Konsentrasi Sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) terhadap Degradasi Zat Warna *Methyl Orange* menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-Zeolit. *Kimia Student Journal*. Vol. 1. No. 2. Hal. 240-241.
- Purnama, A. 2013. Sintesis Ni-TiO<sub>2</sub> dengan Metode Sol Gel dan Uji Aktivitasnya untuk Dekomposisi Air. *Skripsi*. Semarang: Jurusan Kimia FMIPA, Universitas Negeri Semarang.
- Rajoriya, S., Bargole, S., George, S., Saharan V. K., Gogate, P. R., dan Pandit, A. B. 2019. Synthesis and Characterization of Samarium and Nitrogen Doped TiO<sub>2</sub> Photocatalysts for Photo-degradation of 4-acetamidophenol in Combination With Hydrodynamic and Acoustic Cavitation. *Journal of Separation and Purification Technology*. Vol. 209. Hal. 254-269.
- Riyani, K. dan Setyaningtyas, T. 2011. Pengaruh Karbon Aktif terhadap Aktivitas Fotodegradasi Zat Warna pada Limbah Cair Industri Tekstil Menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>. *Molekul Journal*. Vol. 6. No. 2. Hal. 113-122.
- Riyani, K., Setyaning, T., Dwiasih, D. W. 2012. Pengolahan Limbah Cair Batik Menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-Dopan-N dengan Bantuan Sinar Matahari. *Valensi Journal*. Vol 2. No. 5. Hal. 581-587.
- Riyani, K., Setyaningtyas, T., dan Andreas, R. 2008. Pengolahan Limbah Logam Berat Industri Tekstil Menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>/Arang Aktif. *Molekul Journal*. Vol. 3. No. 1. Hal. 40-47.
- Saravanan, P., Pakshirajan, K., dan Saha, P. 2009. Degradation of Phenol by TiO<sub>2</sub>-Based Heterogeneous Photocatalysis in Presence of Sunlight. *Journal of Hydro-environment Research*. Vol. 3. Hal. 45-50.

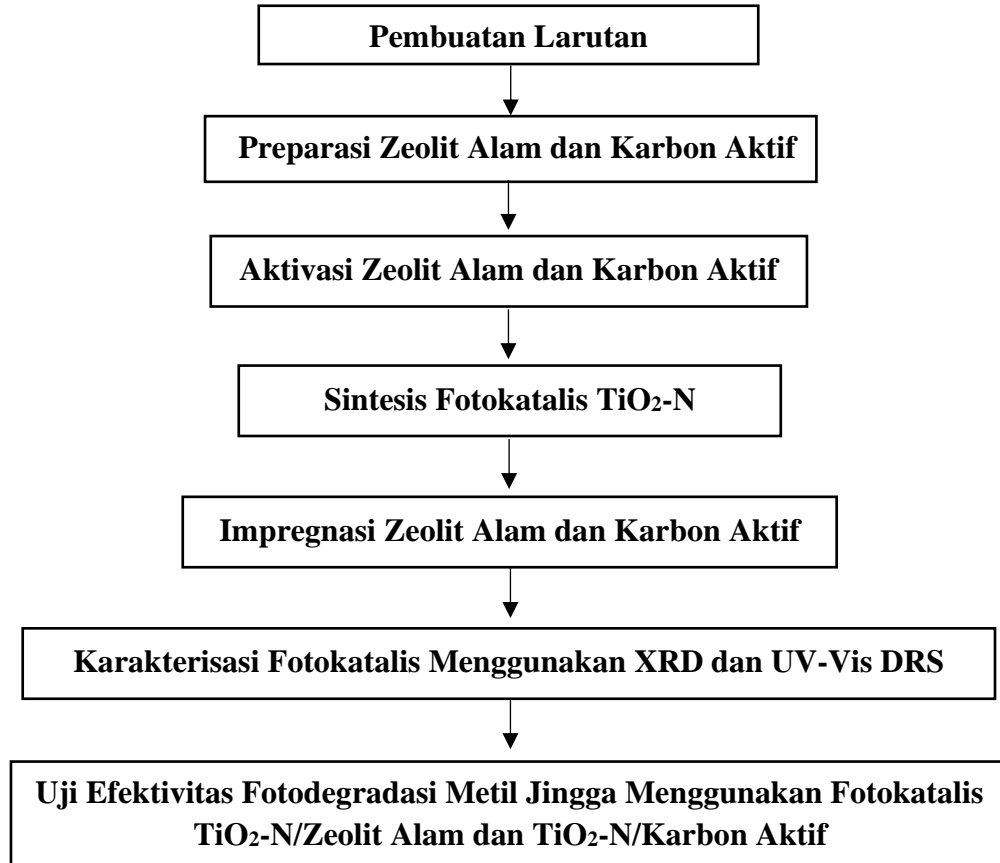
- Selishchev, D. dan Kozlov, D. 2014. Photocatalytic Oxidation of Diethyl Sulfide Vapor over TiO<sub>2</sub>-Based Composite Photocatalyst. *Molecules Journal*. Vol. 19. No. 12. Hal. 21424-21441.
- Shankar, M. V., Anandan, S., Venkatachalam, N., Arabindoo, B., dan Murugesan, V. 2006. Fine Route for an Effecient Removal of 2,4-dichlorophenoxyacetic Acid (2,4-D) by Zeolite-Supported TiO<sub>2</sub>. *Chemosphere*. Vol. 63. Hal. 1014-1021.
- Siah, Wai Ruu., Lintang, Hendrik O., Shamsuddin, Mustaffa dan Yuliati, Leny. 2016. High Photocatalytic Activity of Mixed Anatase-Rutile Phases on Comercial TiO<sub>2</sub> Nanoparticles. *Materials Science and Engineering*. Vol. 107. Hal. 012005
- Svehla, G. 1990. *Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro Edisi Ke 5 Bagian I*. Jakarta: PT. Kalman Media Pustaka
- Tian, J., Chen, L., Yin, Y., Wang, X., Dai, J., Zhu, Z., Liu, X., dan Wu, P. 2009. Photocatalyst of TiO<sub>2</sub>/ZnO Nano Composite Film: Preparation, Characterization, and Photodegradation Activity of Methyl Orange. *Surface & Coatings Technology*. Vol. 204. Hal. 205-214.
- Trisunaryanti, W., Triwahyuni, E., dan Sudiono, S. 2005. Preparasi, Modifikasi dan Karakterisasi Katalis Ni-MO-Zeolit Alam dan MO-NI/Zeolit Alam. *TEKNOIN*. Vol. 10. No. 4. Hal. 269-282.
- Tussa'adah, A. R. Sintesis Material Fotokatalis TiO<sub>2</sub> untuk Penjernihan Limbah Tekstil. *Jurnal Fisika Unand*. Vol. 4. No. 1. Hal. 91-96.
- Utubira, Y., Wijaya, K., Triyono., dan Sugiharto, E. 2006. Preparasi dan Karakterisasi TiO<sub>2</sub>-Zeolit Serta Pengujiannya pada Degradasi Limbah Industri Tekstil secara Fotokatalitik. *Indo Journal Chemistry*. Vol. 6. Hal. 231-237.
- Valentin, C. D., Finazzi, E., Pacchioni, G., Selloni, A., Livraghi, S., Paganini, M. C., dan Giamello, E. 2007. N-Doped TiO<sub>2</sub>: Theory and Experiment. *Journal Chemical Physics*. Vol. 339. No. 1-3. Hal. 44-56.
- Valentin, C. D., Pacchioni, G., dan Selloni, A. 2004. Origin of The Different Photoactivity of N-Doped Anatase and Rutile TiO<sub>2</sub>. *Physical Review*. Vol. 70. Hal 085116-085119.
- Wang, S., dan Peng, Y. 2010. Degradation of Zeolites as Effective Adsorbents in Water and Wastewater Treatment. *Chemical Engineering Journal*. Vol. 156. Hal. 11-24.
- Wardhani, S., Bahari, A., dan Khunur, M. M. 2016. Aktivitas Fotokatalitik *Beads* TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit-Kitosan pada Fotodegradasi Metilen Biru (Kajian Pengembangan, Sumber Sinar dan Lama Penyinaran). *Journal of Environmental Engineering & Sustainable Technology*. Vol. 3. No. 2. Hal. 78-84.
- Windati, W. 2012. Impregnasi Zeolit Alam dengan TiO<sub>2</sub> untuk Degradasi Metil Jingga Secara Fotokatalitik. *Skripsi*. Surabaya: Jurusan Kimia FMIPA, Universitas

Airlangga.

- Wismayanti, D. A., Diantariani, N. P., dan Santi S. R. 2015. Pembuatan Komposit ZnO-Arang Aktif sebagai Fotokatalis untuk Mendegradasi Zat Warna Metilen Biru. *Jurnal Kimia*. Vol. 9. No. 1. Hal. 109-116.
- Yuningrat, N. W., Oviantari, M. V., dan Gunamantha, I. M. 2015. Fotodegradasi Senyawa Organik dalam Lindi dengan Menggunakan Katalis TiO<sub>2</sub> Termobilisasi pada Plat Kaca. *Jurnal Sains dan Teknologi*. Vol. 4. No. 2. Hal. 647-660.
- Yusefah, D., dan Amaria. 2014. Pengaruh Suhu Kalsinasi terhadap Ukuran Kristal dan Energi Celah Pita Komposit TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>. *Journal of Chemistry*. Vol. 3. No. 1. Hal. 33-37.
- Zaleska, A. 2008. *Doped-TiO<sub>2</sub>: A Review*. Bentham Science Publishers, Department of Chemical Technology, Gdansk University of Technology. Vol. 2. No. 3.
- Zheng, X., Zhang, D., Gao, Y., Wu, Y., Liu, Q., dan Zhu, X. 2019. Synthesis and Characterization of Cubic Ag/TiO<sub>2</sub> Nanocomposites for The Photocatalytic Degradation of Methyl Orange in Aqueous Solutions. *Inorganic Chemistry Communications Journal*. Vol. 110. Hal. 4-5.

## LAMPIRAN

### L.1 Diagram Alir Penelitian



## L.2 Skema Kerja Penelitian

### L.2.1 Pembuatan Larutan

#### ➤ Pembuatan Larutan Induk Metil Jingga 1000 ppm

##### Metil Jingga

- Dilarutkan 1 gr metil jingga dengan 250 mL ke dalam gelas kimia
- Dimasukkan larutan ke dalam labu ukur 1000 mL
- Ditandabatkan
- Diperoleh larutan metil jingga 1000 ppm

**Hasil**

#### ➤ Pembuatan Larutan Kurva Standar

##### Larutan Metil Jingga 1000 ppm

- Diencerkan larutan metil jingga 1000 ppm menjadi 100 ppm sebanyak 100 mL
- Dipipet larutan metil jingga 100 ppm masing-masing 1, 2, 3, 4, dan 5 mL
- Ditandabatkan ke dalam 50 mL akuades
- Dihomogenkan
- Diperoleh larutan metil jingga 100 ppm

**Hasil**

#### ➤ Pembuatan Larutan Sampel Metil Jingga

##### Larutan Metil Jingga 100 ppm

- Dipipet 50 mL larutan metil jingga 100 ppm
- Dimasukkan ke dalam labu ukur 500 mL
- Ditandabatkan dengan akuades
- Diperoleh larutan sampel metil jingga 10 ppm

**Hasil**

➤ **Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Metil Jingga**

**Larutan Sampel Metil Jingga**

- Diukur absorbansi blanko dengan akuades
- Diukur absorbansi larutan sampel metil jingga 10 ppm menggunakan Spektrofotometer UV-Vis
- Diukur panjang gelombang maksimal larutan sampel metil jingga pada 200-800 nm

**Hasil**

➤ **Penentuan Kurva Standar Metil Jingga**

**Absorbansi Masing-Masing Sampel**

- Diukur masing-masing absorbansi dari larutan standar metil jingga pada panjang gelombang 462 nm
- Dibuat kurva kalibrasi dari masing-masing absorbansi
- Diperoleh grafik kurva kalibrasi dengan persamaan regresi linier  $y = ax + b$

**Hasil**

**L.2.2 Pembuatan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam dan TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif**

➤ **Preparasi Zeolit Alam**

**Zeolit Alam**

- Dihaluskan dan diayak zeolit alam dengan ukuran 200 mesh
- Ditimbang 100 gr
- Dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang berisi 200 mL akuades
- Diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 30 menit pada suhu kamar
- Disaring endapan menggunakan kertas saring
- Dioven pada suhu 100°C selama 2 jam
- Didesikator selama 30 menit
- Ditimbang berat konstan
- Dilakukan prosedur yang sama pada preparasi karbon aktif

**Hasil**

➤ **Aktivasi Zeolit Alam**

**Zeolit Alam**

- Ditimbang zeolit alam hasil preparasi sebanyak 30 gr
- HCl 6 M sebanyak 60 mL
- Diaduk campuran menggunakan *magnetic stirrer* selama 3 jam
- Disaring dan dicuci dengan akuades hingga filtrat netral
- Dioven residu pada suhu 100°C selama 2 jam
- Dilakukan prosedur yang sama pada aktivasi karbon aktif

**Hasil**

➤ **Sintesis TiO<sub>2</sub>-N**

**TiO<sub>2</sub>:N (95:5)**

- Dicampurkan 4,7600 gr TiO<sub>2</sub> dan 0,1862 gr N ke dalam akuades 10 mL
- Disonikasi campuran selama 30 menit pada iradiasi gelombang ultrasonik 42 kHz
- Diuapkan diatas *hot plate* selama 30 menit
- Dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 3 jam
- Dikalsinasi pada suhu 400°C selama 2 jam
- Dihaluskan menggunakan mortar sampai berbentuk serbuk

**Hasil**

➤ **Impregnasi Zeolit Alam**

**TiO<sub>2</sub>-N : Zeolit Alam**

- Dicampurkan 1,8 gr TiO<sub>2</sub>-N dengan 3 gr zeolit alam
- Ditambahkan 10 mL etanol 96% dalam gelas kimia 250 mL
- Diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 5 jam
- Dikeringkan dalam oven pada suhu 120°C selama 5 jam
- Digerus menggunakan ayakan 200 mesh sampai halus

- Dilakukan prosedur yang sama pada impregnasi karbon aktif

**Hasil**

### L.2.3 Karakterisasi Fotokatalis menggunakan XRD dan UV-VIS DRS

- **Identifikasi Struktur Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam dan TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif dengan Difraksi Sinar-X**

**Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit alam dan TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif**

- Dihaluskan TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam menjadi serbuk yang sangat halus
- Ditempatkan serbuk TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam pada preparat dan dipress
- Ditempatkan pada sampel *holder*
- Disinari dengan sinar-X
- Dihasilkan difraktogram TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam
- Dibandingkan dengan standar JCPDS TiO<sub>2</sub> anatas, standar JCPDS TiO<sub>2</sub> rutil, standar JCPDS karbon aktif, dan standar JCPDS zeolit alam
- Dilakukan prosedur yang sama pada TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif

**Hasil**

- **Identifikasi Energi Celah Pita Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam dan TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif menggunakan UV-Vis *Diffuse Reflectance Spectroscopy***

**Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam dan TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif**

- Dikarakterisasi serbuk TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam
- Ditempatkan pada sampel *holder*
- Diukur % reflektannya pada 200-800 nm
- Dilakukan prosedur yang sama pada TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif

**Hasil**

#### L.2.4 Uji Efektivitas Fotodegradasi Metil Jingga Menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam dan TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif

##### Larutan Metil Jingga

- Disiapkan 7 gelas kimia 50 mL
- Dimasukkan larutan metil jingga 10 ppm sebanyak 25 mL pada masing-masing gelas kimia
- Diisi gelas ke-1 dengan larutan metil jingga
- Diisi gelas ke-2 dengan larutan metil jingga + 50 mg TiO<sub>2</sub>
- Diisi gelas ke-3 dengan larutan metil jingga + 50 mg Zeolit Alam
- Diisi gelas ke-4 dengan larutan metil jingga + 50 mg Karbon Aktif
- Diisi gelas ke-5 dengan larutan metil jingga + 50 TiO<sub>2</sub>-N
- Diisi gelas ke-6 dengan larutan metil jingga + 50 mg TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam
- Diisi gelas ke-7 dengan larutan metil jingga + 50 mg TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif
- Dilakukan fotodegradasi dalam fotoreaktor selama 60 menit menggunakan sinar UV
- Disaring menggunakan kertas saring
- Disentrifugasi larutan selama 60 menit
- Dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali
- Diukur konsentrasi metil jingga setelah perlakuan dengan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 462 nm

##### Hasil

### L.3 Perhitungan Penelitian

#### L.3.1 Perhitungan Pembuatan Larutan Metil Jingga

a. Menghitung Larutan Induk 1000 ppm

$$\text{ppm} = \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$1000 \text{ mg/L} = \frac{\text{mg}}{1\text{L}}$$

$$\text{g} = 1 \text{ gram}$$

b. Pengenceran 1000 ppm

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \cdot V_1 = 100 \text{ ppm} \cdot 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 10 \text{ mL}$$

c. Pembuatan Larutan Kurva Standar

➤ 2 ppm

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

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

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

➤ 4 ppm

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

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

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

➤ 6 ppm

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$100 \text{ ppm} \cdot V_1 = 6 \text{ ppm} \cdot 50 \text{ mL}$$

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

➤ 8 ppm

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

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

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

➤ 10 ppm

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

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

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

#### L.3.2 Perhitungan dalam Sintesis Material TiO<sub>2</sub>-N

Diketahui:

$$\text{Mr TiO}_2 = 79,8658$$

$$\text{Mr CH}_4\text{N}_2\text{O} = 60,0551$$

Target Sintesis = 5 gram

a. Perhitungan Massa  $\text{TiO}_2:\text{N}$  (95:5)  $\rightarrow$  Zeolit Alam

$$\begin{aligned}\text{Mr TiO}_{1,95}\text{N}_{0,05} &= 47,9 + (16 \times 1,95) + (14 \times 0,05) \\ &= 47,9 + 31,2 + 0,7 \\ &= 79,8 \text{ g/mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol TiO}_{1,95}\text{N}_{0,05} &= \frac{5 \text{ gr}}{79,8 \text{ gr/mol}} \\ &= 0,0627 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol TiO}_2 &= \text{Mol TiO}_{1,95}\text{N}_{0,05} \times 95\% \\ &= 0,0627 \times 0,95 \\ &= 0,0596 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa TiO}_2 &= \text{mol TiO}_2 \times \text{Mr TiO}_2 \\ &= 0,0596 \text{ mol} \times 79,8658 \text{ gr/mol} \\ &= 4,7600 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol Urea} &= \text{Mol TiO}_{1,95}\text{N}_{0,05} \times 5\% \\ &= 0,0627 \text{ mol} \times 0,05 \\ &= 0,0031 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa urea} &= \text{Mol Urea} \times \text{Mr Urea (CH}_4\text{N}_2\text{O)} \\ &= 0,0031 \text{ mol} \times 60,0551 \text{ g/mol} \\ &= 0,1862 \text{ gram}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Massa  $\text{TiO}_2:\text{N}$  (95:5)  $\rightarrow$  Karbon Aktif

$$\begin{aligned}\text{Mr TiO}_{1,95}\text{N}_{0,05} &= 47,9 + (16 \times 1,95) + (14 \times 0,05) \\ &= 47,9 + 31,2 + 0,7 \\ &= 79,8 \text{ g/mol}\end{aligned}$$

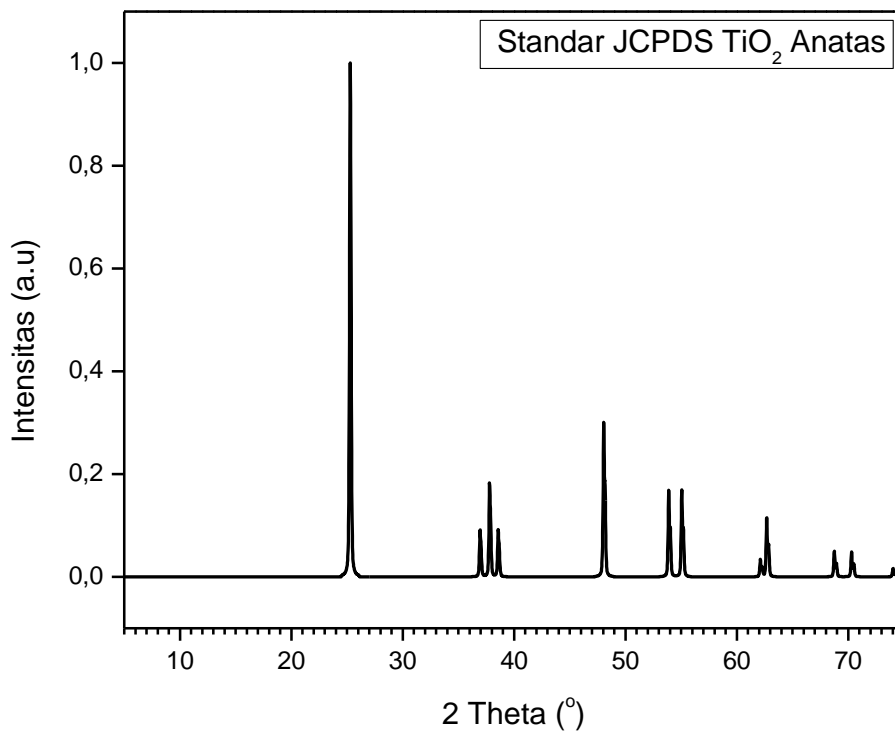
$$\begin{aligned}\text{Mol TiO}_{1,95}\text{N}_{0,05} &= \frac{5 \text{ gr}}{79,8 \text{ gr/mol}} \\ &= 0,0627 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol TiO}_2 &= \text{Mol TiO}_{1,95}\text{N}_{0,05} \times 95\% \\ &= 0,0627 \times 0,95 \\ &= 0,0596 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa TiO}_2 &= \text{mol TiO}_2 \times \text{Mr TiO}_2 \\ &= 0,0596 \text{ mol} \times 79,8658 \text{ gr/mol} \\ &= 4,7600 \text{ gram} \\ \text{Mol Urea} &= \text{Mol TiO}_{1,95}\text{N}_{0,05} \times 5\% \\ &= 0,0627 \text{ mol} \times 0,05 \\ &= 0,0031 \text{ mol} \\ \text{Massa urea} &= \text{Mol Urea} \times \text{Mr Urea (CH}_4\text{N}_2\text{O)} \\ &= 0,0031 \text{ mol} \times 60,0551 \text{ g/mol} \\ &= 0,1862 \text{ gram} \end{aligned}$$

## L.4 Hasil Karakterisasi Menggunakan XRD

### L.4.1 Standar JCPDS TiO<sub>2</sub> Anatas Nomor 00-021-1272



Gambar L.4.1 Pola difraksi standar JCPDS TiO<sub>2</sub> anatas nomor 00-021-1272

#### Name and formula

Reference code:	00-021-1272
Mineral name:	Anatase, syn
PDF index name:	Titanium Oxide
Empirical formula:	O <sub>2</sub> Ti
Chemical formula:	TiO <sub>2</sub>

#### Crystallographic parameters

Crystal system:	Tetragonal
Space group:	I41/amd
Space group number:	141
a (Å):	3.7852
b (Å):	3.7852
c (Å):	9.5139
Alpha (°):	90.0000

Beta (°): 90.0000  
 Gamma (°): 90.0000  
 Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 3.89  
 Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 136.31  
 Z: 4.00  
 RIR: 3.30

### **Subfiles and Quality**

Subfiles: Inorganic  
 Mineral  
 Alloy, metal or intermetallic  
 Corrosion  
 Common Phase  
 Educational pattern  
 Forensic  
 NBS pattern  
 Pigment/Dye

Quality: Star (S)

### **Comments**

Color: Colorless

General comments: Anatase and another polymorph, brookite (orthorhombic), are converted to rutile (tetragonal) by heating above 700 C.  
 Pattern reviewed by Holzer, J., McCarthy, G., North Dakota State Univ, Fargo, North Dakota, USA, *ICDD Grant-in-Aid* (1990). Agrees well with experimental and calculated patterns.

Sample source: Sample obtained from National Lead Co., South Amboy, New Jersey, USA.

Additional pattern: Validated by calculated pattern.  
 See ICSD 9852 (PDF 71-1166).

Temperature: Pattern taken at 25 C.

### **References**

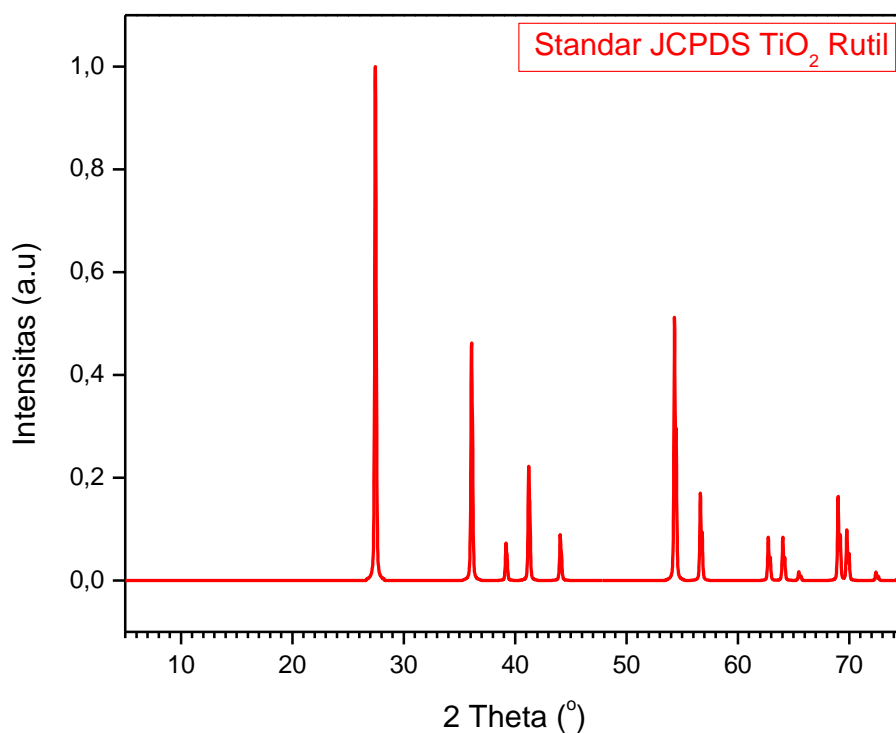
Primary reference: *Natl. Bur. Stand. (U.S.) Monogr. 25, 7, 82, (1969)*

**Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	1	3.52000	1.628	100.0
2	1	0	3	2.43100	2.357	10.0
3	0	0	4	2.37800	2.410	20.0
4	1	1	2	2.33200	2.457	10.0
5	2	0	0	1.89200	3.029	35.0
6	1	0	5	1.69990	3.371	20.0
7	2	1	1	1.66650	3.439	20.0
8	2	1	3	1.49300	3.838	4.0
9	2	0	4	1.48080	3.870	14.0
10	1	1	6	1.36410	4.201	6.0
11	2	2	0	1.33780	4.284	6.0
12	1	0	7	1.27950	4.479	2.0
13	2	1	5	1.26490	4.531	10.0
14	3	0	1	1.25090	4.582	4.0
15	0	0	8	1.18940	4.819	2.0
16	3	0	3	1.17250	4.888	2.0
17	2	2	4	1.16640	4.914	6.0
18	3	1	2	1.16080	4.937	4.0
19	2	1	7	1.06000	5.407	2.0
20	3	0	5	1.05170	5.450	4.0
21	3	2	1	1.04360	5.492	4.0
22	1	0	9	1.01820	5.629	2.0
23	2	0	8	1.00700	5.692	2.0
24	3	2	3	0.99670	5.751	2.0
25	3	1	6	0.95550	5.999	4.0
26	4	0	0	0.94640	6.057	4.0
27	3	0	7	0.92460	6.200	2.0
28	3	2	5	0.91920	6.236	2.0
29	4	1	1	0.91380	6.273	2.0

30	2	1	9	0.89660	6.394	4.0
31	2	2	8	0.88900	6.448	2.0
32	4	1	3	0.88190	6.500	2.0
33	4	0	4	0.87930	6.520	2.0
34	4	2	0	0.84640	6.773	2.0
35	3	2	7	0.83080	6.901	2.0
36	4	1	5	0.82680	6.934	4.0
37	3	0	9	0.81020	7.076	2.0
38	4	2	4	0.79740	7.190	4.0
39	0	0	12	0.79280	7.232	2.0

#### L.4.2 Standar JCPDS TiO<sub>2</sub> Rutil Nomor 00-021-1276



Gambar L.4.2 Pola difraksi standar JCPDS TiO<sub>2</sub> rutil nomor 00-021-1276

#### Name and formula

Reference code:	00-021-1276
Mineral name:	Rutile, syn
Common name:	titania
PDF index name:	Titanium Oxide
Empirical formula:	O <sub>2</sub> Ti
Chemical formula:	TiO <sub>2</sub>

#### Crystallographic parameters

Crystal system:	Tetragonal
Space group:	P4 <sub>2</sub> /mnm
Space group number:	136
a (Å):	4.5933
b (Å):	4.5933
c (Å):	2.9592
Alpha (°):	90.0000

Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Calculated density (g/cm <sup>3</sup> ):	4.25
Measured density (g/cm <sup>3</sup> ):	4.23
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ):	62.43
Z:	2.00
RIR:	3.40

### **Subfiles and Quality**

Subfiles:	Inorganic Mineral Alloy, metal or intermetallic Corrosion Common Phase Educational pattern Forensic NBS pattern Pigment/Dye
Quality:	Star (S)

### **Comments**

Color:	White
General comments:	No impurity over 0.001%. Two other polymorphs, anatase (tetragonal) and brookite (orthorhombic), converted to rutile on heating above 700 C. Optical data on specimen from <i>Dana's System of Mineralogy, 7th Ed., I 555</i> . Pattern reviewed by Syvinski, W., McCarthy, G., North Dakota State Univ, Fargo, North Dakota, USA, <i>ICDD Grant-in-Aid</i> (1990). Agrees well with experimental and calculated patterns. Additional weak reflections [indicated by brackets] were observed.

Naturally occurring material may be reddish brown.

Sample source: Sample obtained from National Lead Co., South Amboy, New Jersey, USA.

Optical data: A=2.9467, B=2.6505, Sign=+

Additional pattern: Validated by calculated pattern.

Temperature: Pattern taken at 25 C.

### **References**

Primary reference: *Natl. Bur. Stand. (U.S.) Monogr. 25, 7, 83, (1969)*

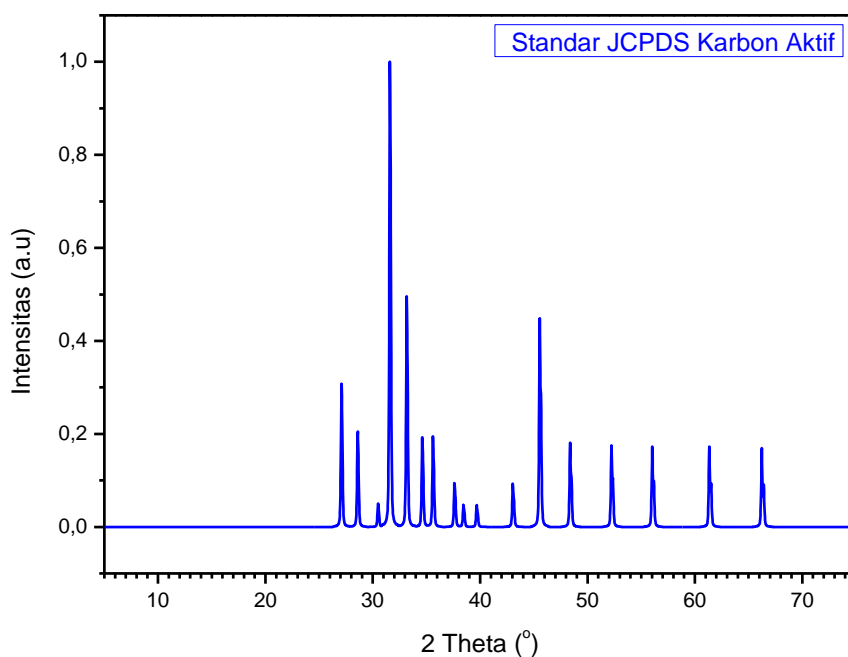
Optical data: *Dana's System of Mineralogy, 7th Ed., I, 575*

### **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	3.24700	1.765	100.0
2	1	0	1	2.48700	2.304	50.0
3	2	0	0	2.29700	2.495	8.0
4	1	1	1	2.18800	2.619	25.0
5	2	1	0	2.05400	2.790	10.0
6	2	1	1	1.68740	3.396	60.0
7	2	2	0	1.62370	3.529	20.0
8	0	0	2	1.47970	3.873	10.0
9	3	1	0	1.45280	3.945	10.0
10	2	2	1	1.42430	4.024	2.0
11	3	0	1	1.35980	4.214	20.0
12	1	1	2	1.34650	4.256	12.0
13	3	1	1	1.30410	4.395	2.0
14	3	2	0	1.27390	4.499	1.0
15	2	0	2	1.24410	4.607	4.0
16	2	1	2	1.20060	4.774	2.0
17	3	2	1	1.17020	4.898	6.0
18	4	0	0	1.14830	4.991	4.0
19	4	1	0	1.11430	5.144	2.0
20	2	2	2	1.09360	5.241	8.0

21	3	3	0	1.08270	5.294	4.0
22	4	1	1	1.04250	5.498	6.0
23	3	1	2	1.03640	5.530	6.0
24	4	2	0	1.02710	5.581	4.0
25	3	3	1	1.01670	5.638	1.0
26	4	2	1	0.97030	5.908	2.0
27	1	0	3	0.96440	5.944	2.0
28	1	1	3	0.94380	6.074	2.0
29	4	0	2	0.90720	6.319	4.0
30	5	1	0	0.90090	6.363	4.0
31	2	1	3	0.88920	6.447	8.0
32	4	3	1	0.87740	6.534	8.0
33	3	3	2	0.87380	6.561	8.0
34	4	2	2	0.84370	6.795	6.0
35	3	0	3	0.82920	6.914	8.0
36	5	2	1	0.81960	6.995	12.0
37	4	4	0	0.81200	7.061	2.0
38	5	3	0	0.78770	7.279	2.0

### L.4.3 Standar JCPDS Karbon Aktif Nomor 00-046-0943



Gambar L.4.3 Pola difraksi standar JCPDS karbon aktif nomor 00-046-0943

#### **Name and formula**

Reference code:	00-046-0943
PDF index name:	Carbon
Empirical formula:	C
Chemical formula:	C

#### **Crystallographic parameters**

Crystal system:	Unknown
RIR:	-

#### **Subfiles and Quality**

Subfiles:	Inorganic Alloy, metal or intermetallic
Quality:	Doubtful (O)

#### **Comments**

Sample preparation:	Prepared from channel black after heat treatment at 1250 C in the presence of Ni at 37 kbar.
---------------------	--

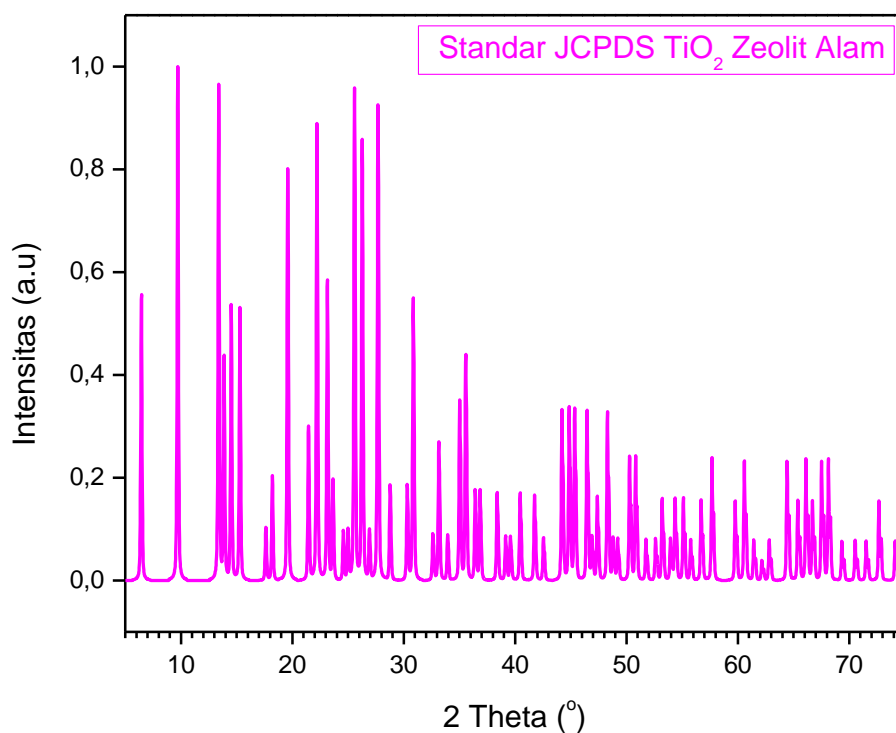
#### **References**

Primary reference: Shterenberg, L., Bogdanova, S., *Inorg. Mater.*  
(*Engl. Transl.*), **15**, 632, (1979)

**Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1				3.29000	1.742	30.0
2				3.12000	1.836	20.0
3				2.93000	1.956	5.0
4				2.83000	2.025	100.0
5				2.70000	2.122	50.0
6				2.59000	2.212	20.0
7				2.52000	2.274	20.0
8				2.39000	2.397	10.0
9				2.34000	2.449	5.0
10				2.27000	2.524	5.0
11				2.10000	2.729	10.0
12				1.99000	2.879	50.0
13				1.88000	3.048	20.0
14				1.75000	3.274	20.0
15				1.64000	3.494	20.0
16				1.51000	3.795	20.0
17				1.41000	4.064	20.0
18				1.26200	4.541	30.0

#### L.4.4 Standar JCPDS Zeolit Alam Nomor 00-006-0239



Gambar L.4.4 Pola difraksi standar JCPDS zeolit alam nomor 00-006-0239

#### Name and formula

Reference code:	00-006-0239
Mineral name:	Mordenite
PDF index name:	Calcium Aluminum Silicate Hydrate
Zeolite name:	Mordenite
Empirical formula:	$\text{Al}_2\text{CaH}_{14}\text{O}_{31}\text{Si}_{10}$
Chemical formula:	$(\text{Ca}, \text{Na}_2, \text{K}_2) \text{Al}_2\text{Si}_{10}\text{O}_{24} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

#### Crystallographic parameters

Crystal system:	Orthorhombic
Space group:	Cmc21
Space group number:	36
a (Å):	18.1600
b (Å):	20.4500
c (Å):	7.5400
Alpha (°):	90.0000

Beta (°): 90.0000  
 Gamma (°): 90.0000  
 Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 2.13  
 Measured density (g/cm<sup>3</sup>): 2.13  
 Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 2800.15  
 Z: 4.00  
 RIR: -

### **Subfiles and Quality**

Subfiles: Inorganic  
 Mineral  
 Corrosion  
 Common Phase  
 Forensic  
 Zeolite

Quality: Indexed (I)

### **Comments**

Color: White

General comments: Dx for ( Na<sub>0.5</sub>K<sub>0.5</sub>Ca<sub>0.5</sub> ) Al<sub>2</sub>Si<sub>10</sub>O<sub>24</sub> · 7H<sub>2</sub>O.  
 Other data 29-1257.  
 For single-crystal X-ray data see Waymouth et al.,  
*Mineral. Mag.*, **25** 212 (1938).

Sample source: Specimen from Aros, Isle of Mull, Scotland, UK.

Optical data: A=1.4775, B=1.48, Q=1.482(5), Sign=+/-, 2V=76-90°

Additional pattern: To replace 22-1339 and 22-1340.

### **References**

Primary reference: Harris, Brindley., *Am. Mineral.*, **39**, 819, (1954)

Optical data: Deer, W., Howie, R., Zussman, J., *Rock Forming Minerals*, **4**, 905

### **Peak list**

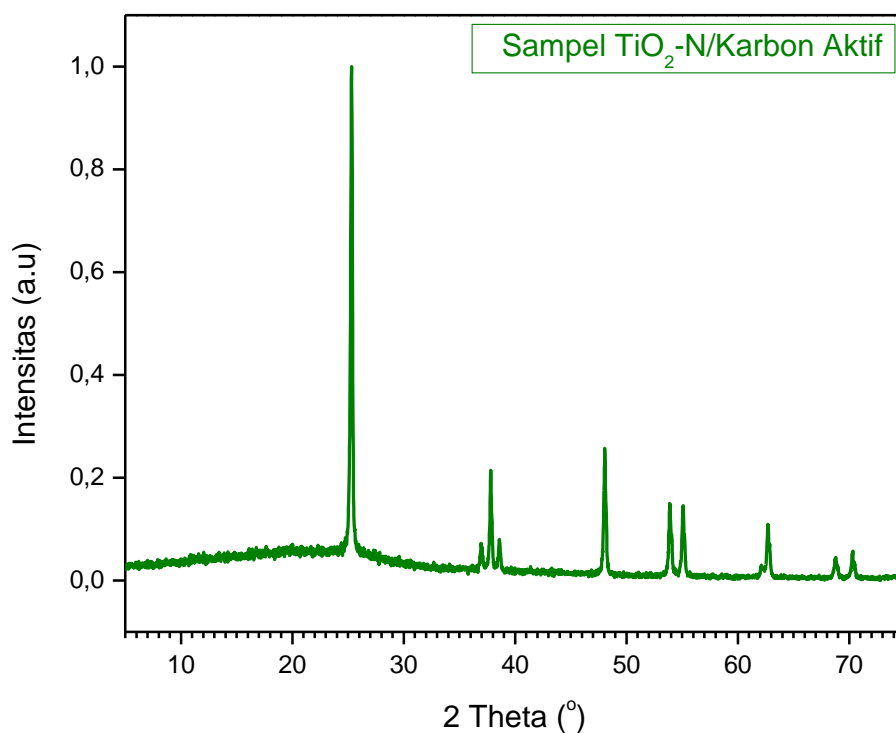
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	13.70000	0.418	50.0

2	2	0	0	9.10000	0.630	90.0
3	1	1	1	6.61000	0.867	90.0
4	1	3	0	6.38000	0.898	40.0
5	0	2	1	6.10000	0.939	50.0
6	3	1	0	5.79000	0.990	50.0
7	2	2	1	5.03000	1.139	10.0
8	1	3	1	4.87000	1.177	20.0
9	3	3	0	4.53000	1.265	80.0
10	4	2	0	4.14000	1.384	30.0
11	1	5	0	4.00000	1.432	90.0
12	2	4	1	3.84000	1.492	60.0
13	0	0	2	3.76000	1.524	20.0
14	1	1	2	3.62000	1.583	10.0
15	5	1	0	3.56000	1.609	10.0
16	2	0	2	3.48000	1.646	100.0
17	3	5	0	3.39000	1.690	90.0
18	2	2	2	3.31000	1.731	10.0
19	5	1	1	3.22000	1.779	100.0
20	4	4	1	3.10000	1.848	20.0
21	5	3	1	2.94600	1.945	20.0
22	3	3	2	2.89600	1.979	60.0
23	1	5	2	2.74300	2.089	10.0
24	1	7	1	2.70000	2.122	30.0
25	3	7	0	2.63900	2.171	10.0
26	4	6	1	2.56000	2.238	40.0
27	4	4	2	2.52200	2.272	50.0
28	6	4	1	2.46500	2.325	20.0
29	7	1	1	2.43700	2.351	20.0
30	2	8	1	2.34300	2.446	20.0
31	6	2	2	2.29900	2.492	10.0
32	5	7	0	2.27500	2.519	10.0
33	4	8	0	2.22800	2.572	20.0

34	1	9	1	2.16200	2.650	20.0
35	7	1	2	2.12300	2.699	10.0
36	3	9	1	2.04700	2.799	40.0
37	3	5	3	2.01900	2.838	40.0
38	8	4	1	1.99800	2.868	40.0
39	6	8	0	1.95300	2.934	40.0
40	1	9	2	1.93600	2.960	10.0
41	4	8	2	1.91700	2.989	20.0
42	0	0	4	1.88300	3.043	40.0
43	4	10	0	1.86500	3.073	10.0
44	1	11	0	1.85000	3.097	10.0
45	4	10	1	1.81300	3.161	30.0
46	1	11	1	1.79500	3.192	30.0
47	2	10	2	1.76500	3.247	10.0
48	10	2	1	1.73800	3.297	10.0
49	9	3	2	1.72000	3.332	20.0
50	8	8	0	1.69800	3.375	10.0
51	5	7	3	1.68600	3.399	20.0
52	4	8	3	1.66500	3.442	20.0
53	3	5	4	1.64700	3.479	10.0
54	9	7	1	1.62200	3.533	20.0
55	4	12	0	1.59700	3.588	30.0
56	6	10	2	1.54600	3.707	20.0
57	6	4	4	1.52700	3.753	30.0
58	11	1	2	1.50800	3.800	10.0
59	0	2	5	1.49200	3.841	5.0
60	9	9	1	1.47800	3.877	10.0
61	1	9	4	1.44500	3.966	30.0
62	12	4	1	1.42600	4.019	20.0
63	11	7	1	1.41200	4.059	30.0
64	9	9	2	1.40100	4.091	20.0
65	0	10	4	1.38600	4.135	30.0

66	9	1	4	1.37500	4.168	30.0
67	12	4	2	1.35400	4.233	10.0
68	8	6	4	1.33400	4.296	10.0
69	5	5	5	1.31800	4.348	10.0
70	8	10	3	1.30000	4.408	20.0
71	0	16	0	1.27800	4.484	10.0
72	7	9	4	1.26600	4.527	20.0
73	2	0	6	1.24500	4.603	20.0
74	3	1	6	1.22800	4.667	10.0
75	4	14	3	1.21700	4.709	10.0
76	5	15	2	1.20900	4.740	5.0
77	1	15	3	1.19600	4.792	5.0
78	7	13	3	1.18600	4.832	5.0
79	11	11	2	1.17300	4.886	5.0
80	12	8	3	1.15600	4.958	5.0

### L.4.5 Sampel TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif

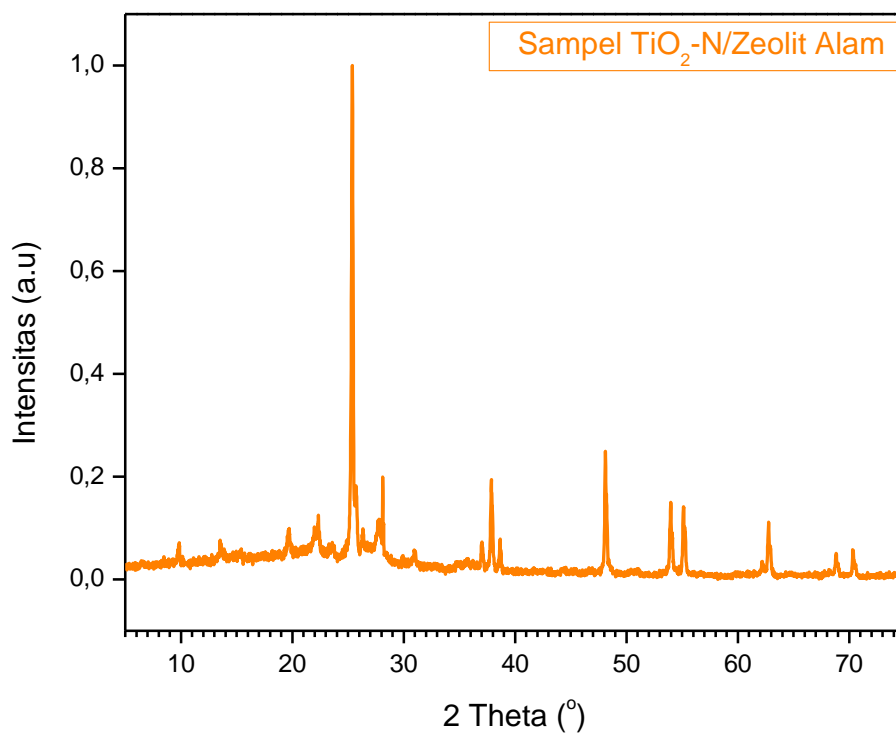


Gambar L.4.5 Pola difraksi Sampel TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif

#### **Peak list:**

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	25.312(4)	3.5158(5)	11556(310)	0.147(3)	2794(21)	0.242(8)	1.36(13)
2	36.95(3)	2.4306(16)	619(72)	0.20(2)	164(11)	0.27(5)	1.0(6)
3	37.821(7)	2.3768(4)	2509(145)	0.154(9)	562(12)	0.224(18)	1.7(4)
4	38.602(12)	2.3305(7)	842(84)	0.150(18)	190(9)	0.23(3)	2.0(9)
5	48.057(5)	1.8917(2)	3236(164)	0.177(6)	771(11)	0.238(15)	1.7(2)
6	53.915(8)	1.6992(2)	1945(127)	0.185(9)	516(10)	0.27(2)	1.9(4)
7	55.086(7)	1.66583(19)	1930(127)	0.178(8)	489(9)	0.25(2)	1.8(4)
8	62.134(12)	1.4927(3)	300(50)	0.19(3)	77(7)	0.26(6)	1.2(2)
9	62.698(8)	1.48063(16)	1443(110)	0.193(10)	385(10)	0.27(3)	1.2(2)
10	68.737(5)	1.36453(9)	598(71)	0.176(15)	162(6)	0.27(4)	0.51(15)
11	70.295(12)	1.33806(19)	737(78)	0.181(13)	193(7)	0.26(4)	1.1(4)
12	75.034(8)	1.26487(12)	1034(93)	0.188(11)	292(9)	0.28(3)	0.69(16)
13	76.043(15)	1.2506(2)	301(50)	0.14(3)	86(7)	0.29(7)	1.4(8)
14	79.30(15)	1.2072(19)	1(3)	0.4(5)	0(3)	0(5)	1(10)
15	82.679(6)	1.16620(7)	463(62)	0.198(19)	151(11)	0.33(7)	1.1(6)
16	83.167(11)	1.16059(1)	223(43)	0.20(3)	72(9)	0.32(10)	1.1(6)

### L.4.6 Sampel TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam

Gambar L.4.4 Pola difraksi sampel TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam**Peak list:**

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	9.867(7)	8.957(6)	371(56)	0.174(4)	108(9)	0.29(7)	5(8)
2	13.522(12)	6.543(6)	274(48)	0.24(6)	127(10)	0.46(12)	0.5(3)
3	15.39(7)	5.75(3)	119(31)	0.38(12)	86(14)	0.7(3)	3(4)
4	19.66(3)	4.513(7)	464(62)	0.29(4)	224(12)	0.48(9)	0.8(5)
5	22.011(9)	4.0350(16)	324(52)	0.08(3)	46(18)	0.14(8)	2.8(8)
6	22.27(6)	3.988(10)	359(55)	0.85(10)	570(62)	1.6(4)	2.8(8)
7	22.362(5)	3.9725(9)	540(67)	0.059(15)	60(14)	0.11(4)	2.8(8)
8	23.60(4)	3.766(6)	212(42)	0.67(12)	266(46)	1.3(5)	2.8(8)
9	25.387(3)	3.5055(3)	10459(295)	0.174(3)	2075(52)	0.198(11)	1.89(6)
10	25.733(7)	3.4592(10)	1232(101)	0.21(3)	348(38)	0.28(5)	1.89(6)
11	26.347(9)	3.3800(12)	377(56)	0.19(4)	97(19)	0.26(9)	1.89(6)
12	26.86(5)	3.317(6)	189(40)	0.9(2)	230(54)	1.2(5)	1.89(6)
13	27.791(8)	3.2075(10)	665(74)	0.48(3)	428(23)	0.64(11)	1.89(6)
14	28.1247(13)	3.17023(14)	2100(132)	0.050(3)	143(6)	0.068(7)	1.89(6)
15	30.98(4)	2.884(4)	330(52)	0.18(6)	97(8)	0.29(7)	1.4(19)
16	34.92(6)	2.568(4)	120(32)	0.59(13)	120(27)	1.0(5)	0.7(3)
17	35.71(5)	2.513(4)	128(33)	0.48(12)	104(21)	0.8(4)	0.7(3)
18	36.125(15)	2.4844(10)	127(33)	0.08(4)	17(7)	0.13(9)	0.7(3)
19	36.998(18)	2.4277(12)	607(71)	0.15(2)	125(8)	0.21(4)	0.7(4)
20	37.875(7)	2.3735(4)	2115(133)	0.141(9)	431(9)	0.204(17)	1.3(3)

21	38.642(7)	2.3282(4)	724(78)	0.098(11)	110(6)	0.15(3)	0.73(16)
22	48.106(6)	1.8899(2)	3152(162)	0.124(6)	584(11)	0.185(13)	0.9(2)
23	53.976(9)	1.6974(3)	1703(119)	0.153(10)	398(9)	0.23(2)	1.5(5)
24	55.134(7)	1.6645(2)	1918(126)	0.133(7)	379(8)	0.198(17)	1.3(3)
25	62.195(12)	1.4914(3)	346(54)	0.12(2)	82(5)	0.24(5)	1.8(10)
26	62.779(6)	1.47892(14)	1398(108)	0.134(7)	267(7)	0.19(2)	2.3(6)
27	68.833(15)	1.3629(3)	553(68)	0.156(17)	128(6)	0.23(4)	1.3(6)
28	70.343(10)	1.33726(17)	673(75)	0.144(9)	116(6)	0.17(3)	0.7(2)
29	75.113(10)	1.26373(15)	873(85)	0.161(10)	212(6)	0.24(3)	1.1(4)
30	76.10(3)	1.2497(4)	225(43)	0.18(3)	55(5)	0.25(7)	1.3(11)
31	82.750(15)	1.16538(17)	385(57)	0.15(3)	106(12)	0.28(7)	1.7(9)
32	83.23(2)	1.1599(2)	171(38)	0.17(6)	53(12)	0.31(14)	1.7(9)

#### L.4.7 Perhitungan Ukuran Kristal Sampel Fotokatalis

Perhitungan ukuran kristal dilakukan dengan menggunakan persamaan

Debye-Scherrer sebagai berikut:

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

Dimana:

D = ukuran partikel (nm)

K = konstanta (0,9)

$\theta$  = sudut difraksi dengan intensitas tertinggi

$\lambda$  = panjang gelombang radiasi (nm)

$\beta$  = integrasi luas puncak ferleksi (FWHM, radian)

a. TiO<sub>2</sub>

Diketahui:

$$\lambda (K\alpha) = 1,54060 \text{ \AA}$$

$$\beta (\text{FWHM}) = 0,0836^\circ \rightarrow \frac{0,0836}{180} \times 3,14 = 0,0014$$

$$2\theta = 25,3707 \rightarrow \theta = \frac{25,3707}{2} = 12,685$$

$$\text{Cos } \theta = 0,9755$$

Ditanya: D ?

Jawab:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \text{Cos } \theta} = \frac{0,9 \times 1,54060}{0,0014 \times 0,9755} = 1066,5692 \text{ \AA} = 106,65 \text{ nm}$$

b. TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif

Diketahui:

$$\lambda (K\alpha) = 1,54060 \text{ \AA}$$

$$\beta \text{ (FWHM)} = 0,147^\circ \rightarrow \frac{0,147}{180} \times 3,14 = 0,0025$$

$$2\theta = 25,312 \rightarrow \theta = \frac{25,312}{2} = 12,656$$

$$\text{Cos } \theta = 0,9757$$

Ditanya: D ?

Jawab:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \text{ Cos } \theta} = \frac{0,9 \times 1,54060}{0,0025 \times 0,9757} = 568,4288 \text{ \AA} = 56,84 \text{ nm}$$

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

Diketahui:

$$\lambda \text{ (K}\alpha) = 1,54060 \text{ \AA}$$

$$\beta \text{ (FWHM)} = 0,174^\circ \rightarrow \frac{0,174}{180} \times 3,14 = 0,003$$

$$2\theta = 25,387 \rightarrow \theta = \frac{25,387}{2} = 12,6935$$

$$\text{Cos } \theta = 0,9755$$

Ditanya: D ?

Jawab:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \text{ Cos } \theta} = \frac{0,9 \times 1,54060}{0,003 \times 0,9755} = 473,7878 \text{ \AA} = 47,37 \text{ nm}$$

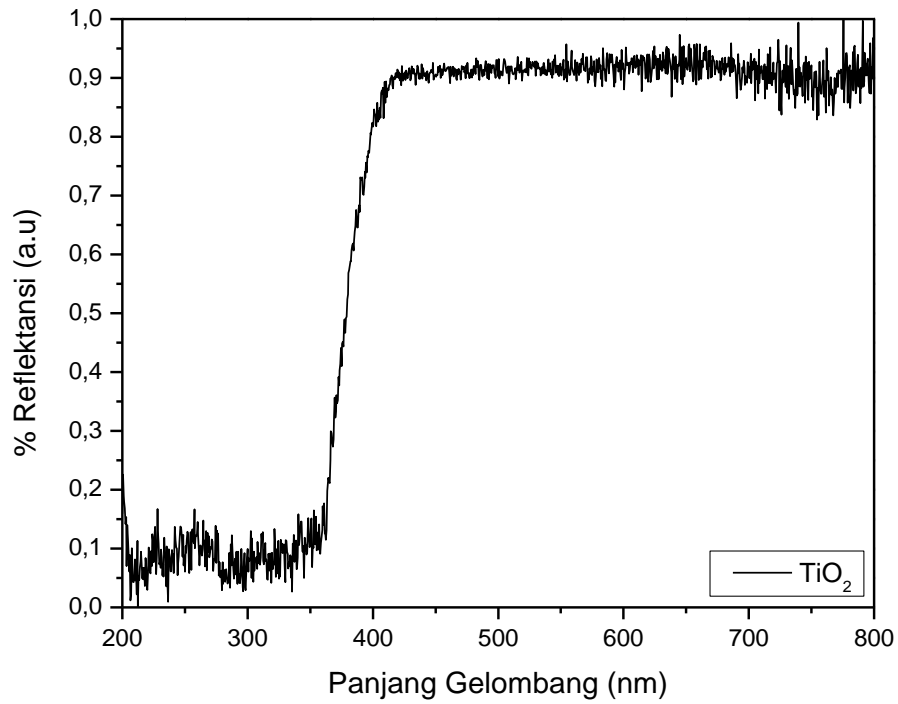
Tabel L.4.7.1 Hasil ukuran kristal beberapa sampel fotokatalis

<b>Sampel Fotokatalis</b>	<b>Ukuran Kristal (nm)</b>
TiO <sub>2</sub> -N/Karbon Aktif	56,84
TiO <sub>2</sub> -N/Zeolit Alam	47,37

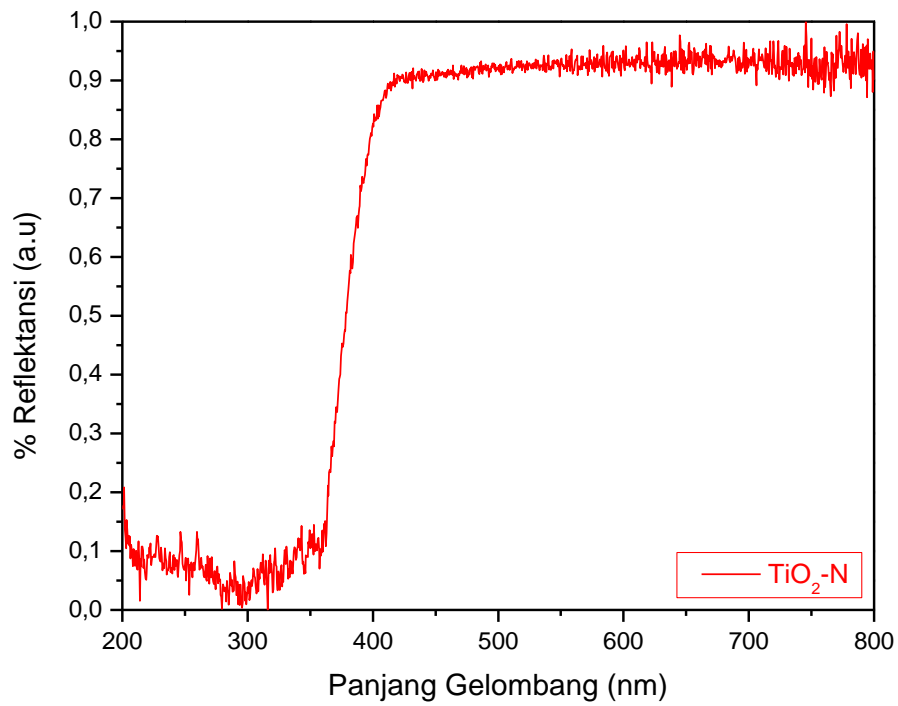
## L.5 Hasil Karakterisasi UV-VIS DRS

### L.5.1 Nilai % Reflektansi

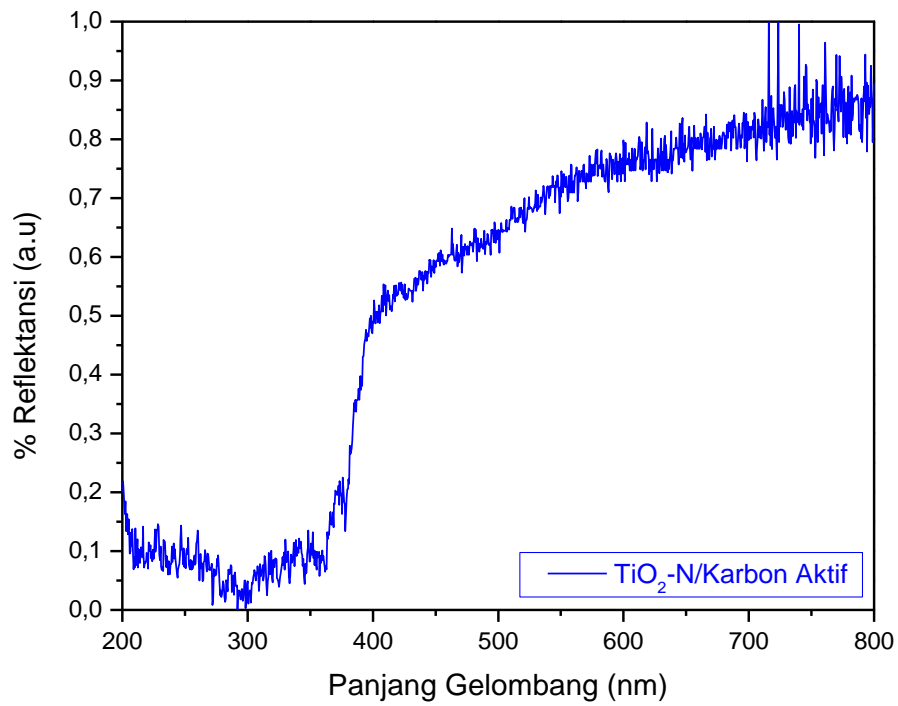
#### a. Sampel TiO<sub>2</sub>



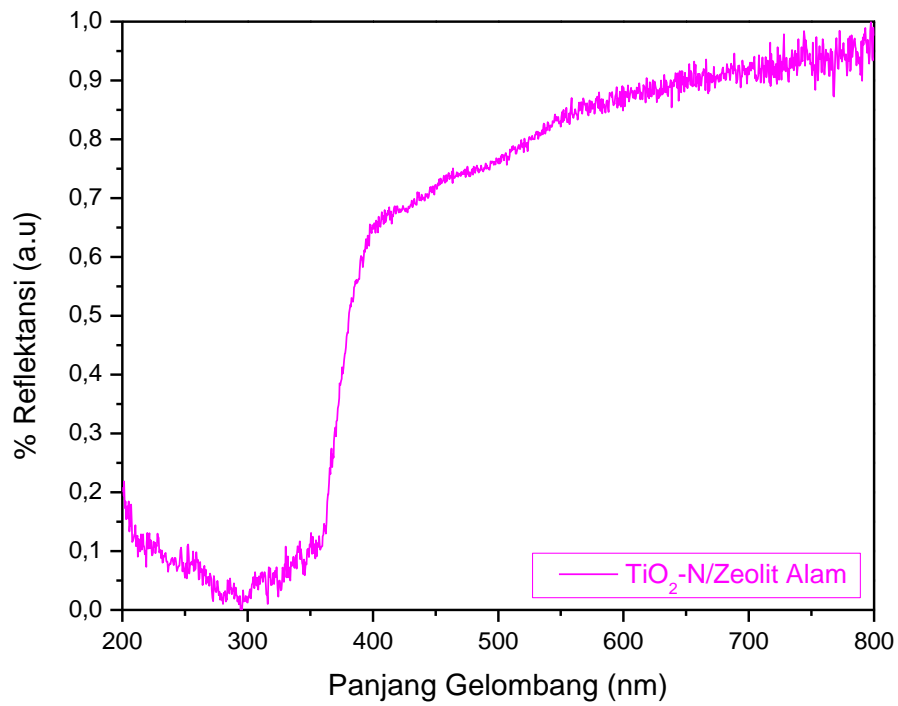
Gambar L.5.1.1 Grafik penentuan nilai % reflektansi TiO<sub>2</sub>

**b. Sampel TiO<sub>2</sub>-N**

Gambar L.5.1.2 Grafik penentuan nilai % reflektansi TiO<sub>2</sub>-N

**c. Sampel TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif**

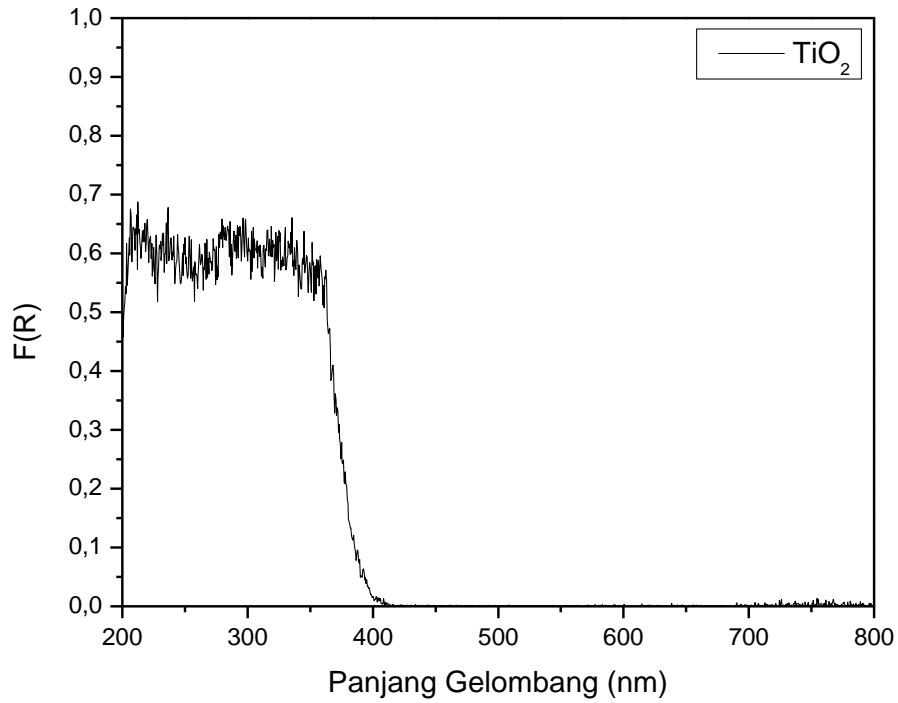
Gambar L.5.1.3 Grafik penentuan nilai % reflektansi TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif

**d. Sampel TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam**

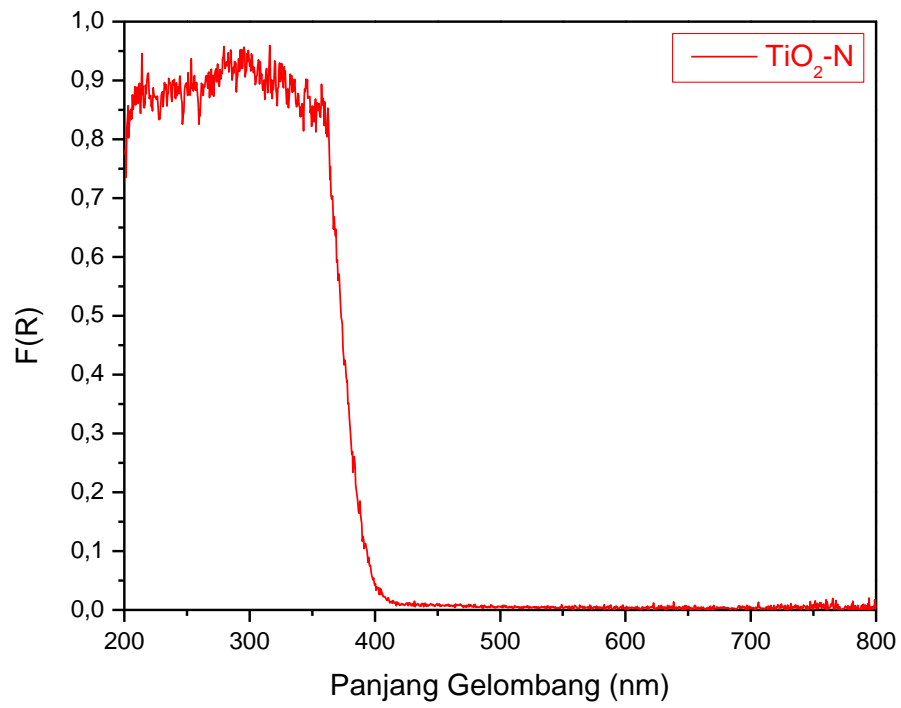
Gambar L.5.1.4 Grafik penentuan nilai % reflektansi TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam

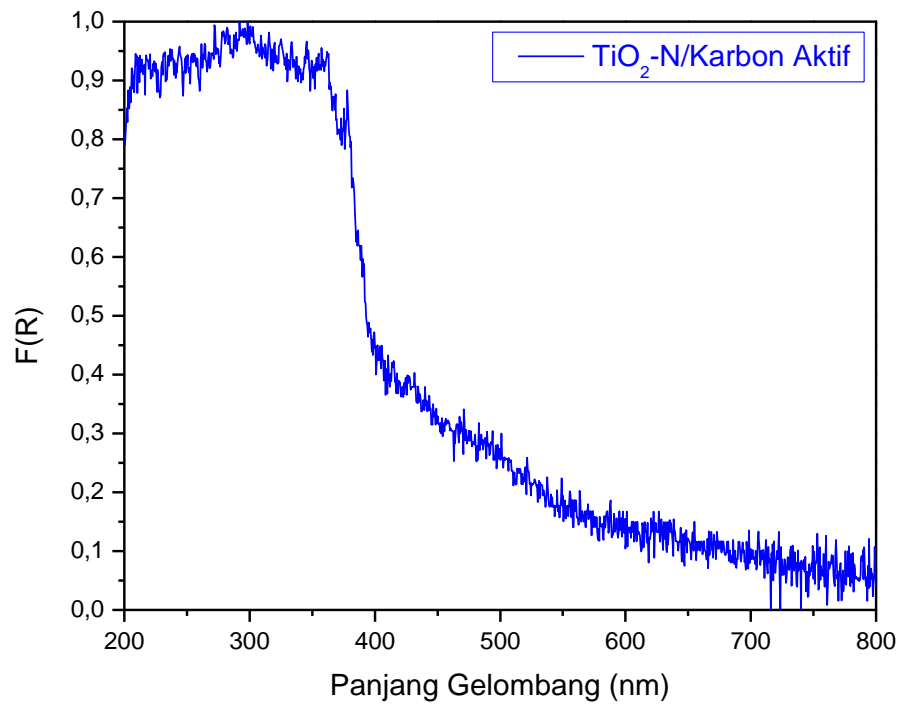
### L.5.2 Nilai F(R)

#### a. Sampel TiO<sub>2</sub>

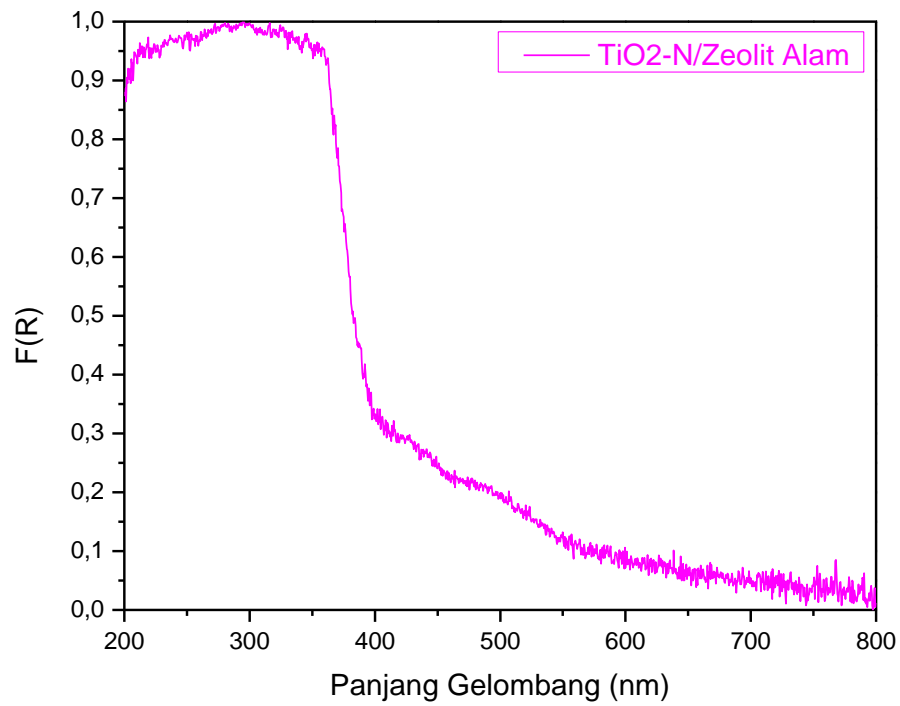


Gambar L.5.2.1 Grafik penentuan nilai F(R) TiO<sub>2</sub>

**b. Sampel TiO<sub>2</sub>-N**Gambar L.5.2.2 Grafik penentuan nilai  $F(R)$  TiO<sub>2</sub>-N

**c. Sampel TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif**

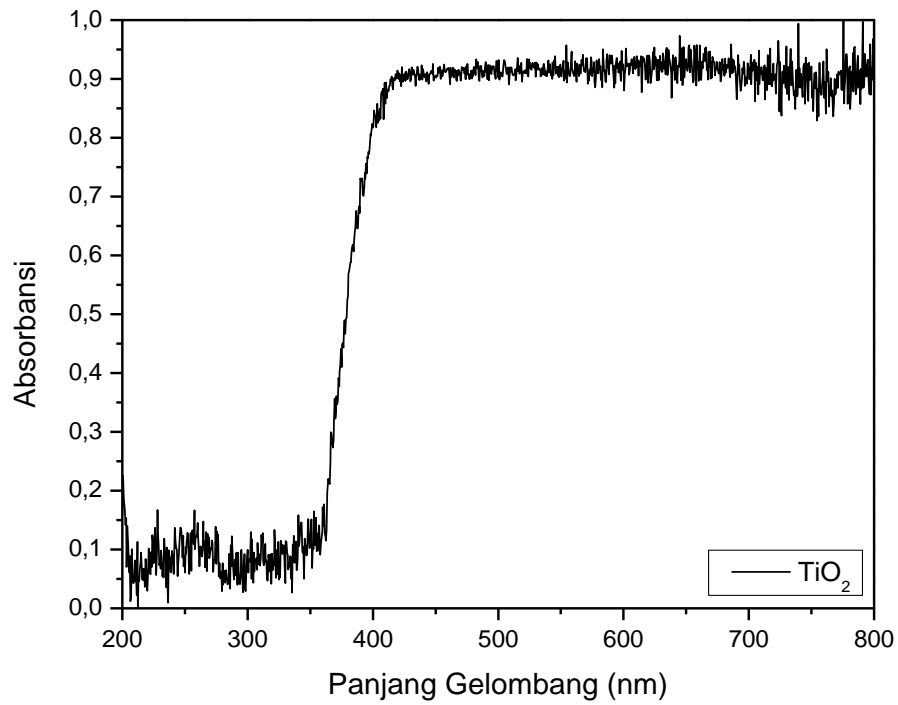
Gambar L.5.2.3 Grafik penentuan nilai  $F(R)$  TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif

**d. Sampel TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam**

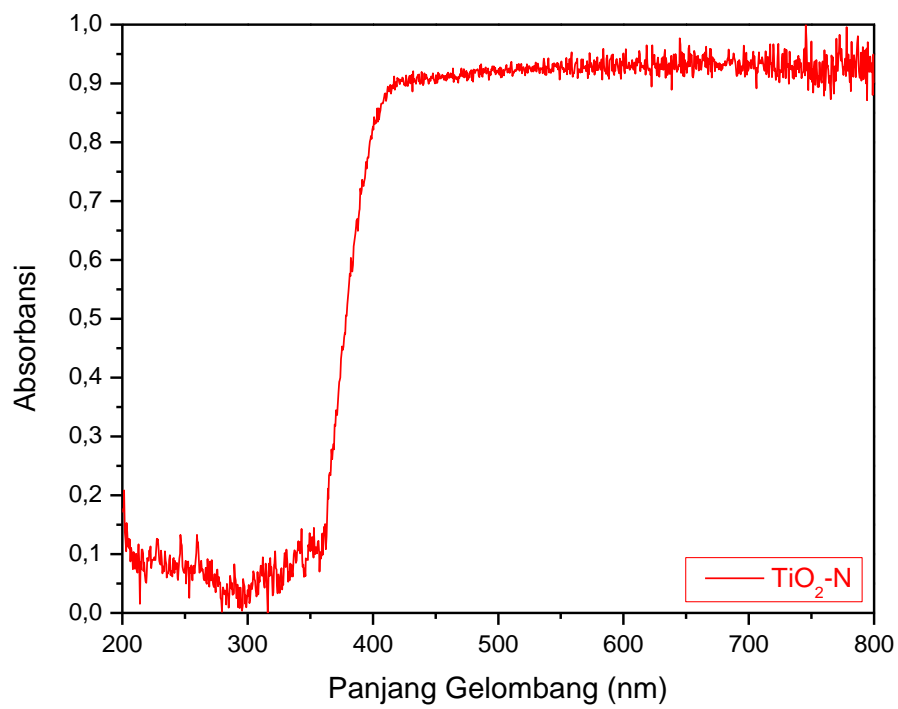
Gambar L.5.2.4 Grafik penentuan nilai F(R) TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam

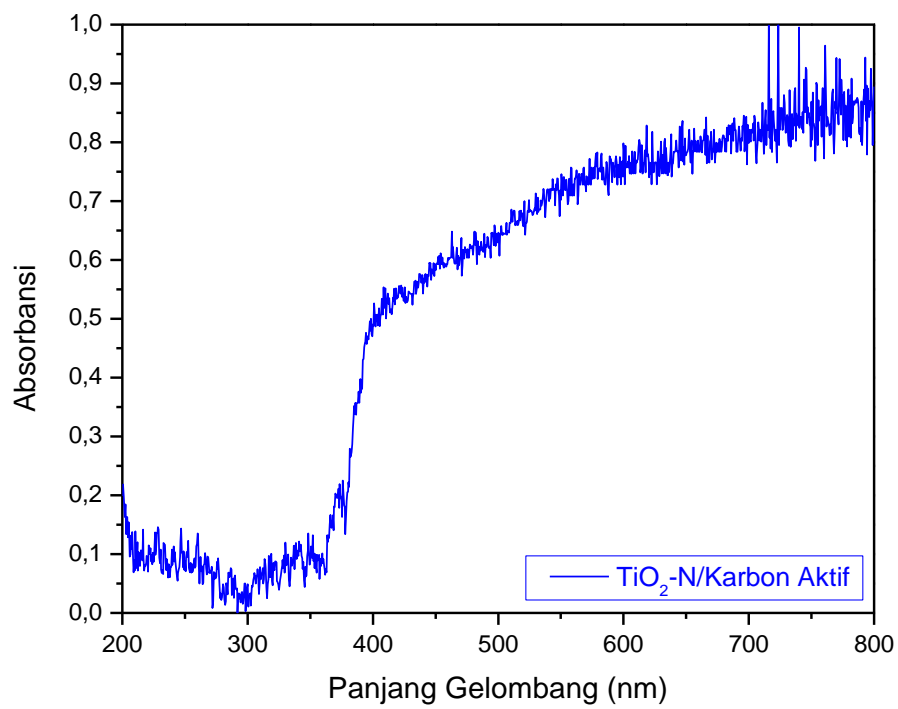
### L.5.3 Nilai Absorbansi

#### a. Sampel TiO<sub>2</sub>

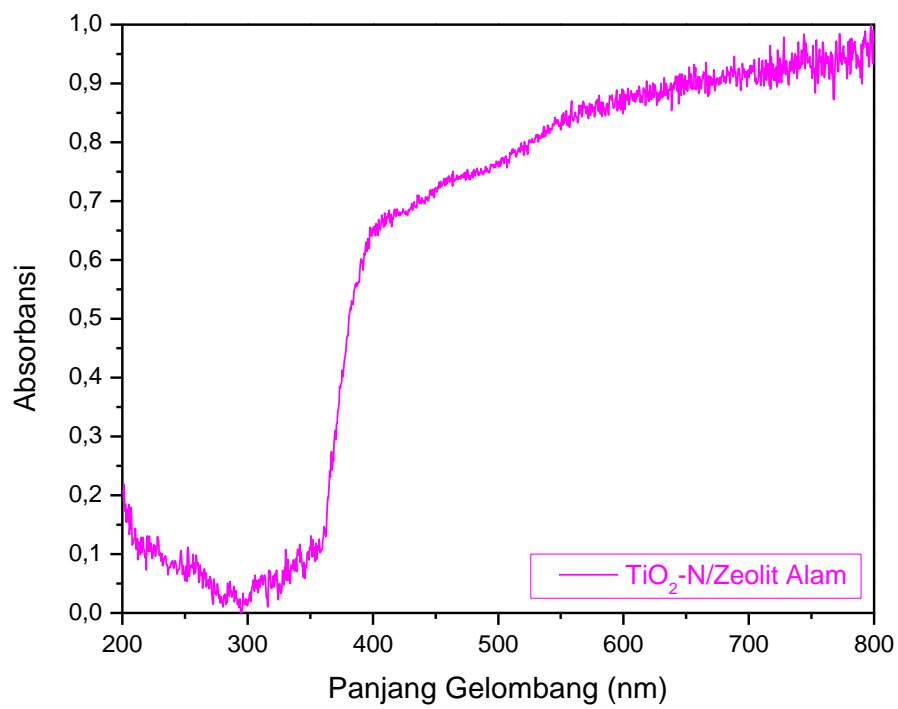


Gambar L.5.3.1 Grafik penentuan nilai absorbansi TiO<sub>2</sub>

**b. Sampel TiO<sub>2</sub>-N**Gambar L.5.3.2 Grafik penentuan nilai absorbansi TiO<sub>2</sub>-N

**c. Sampel TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif**

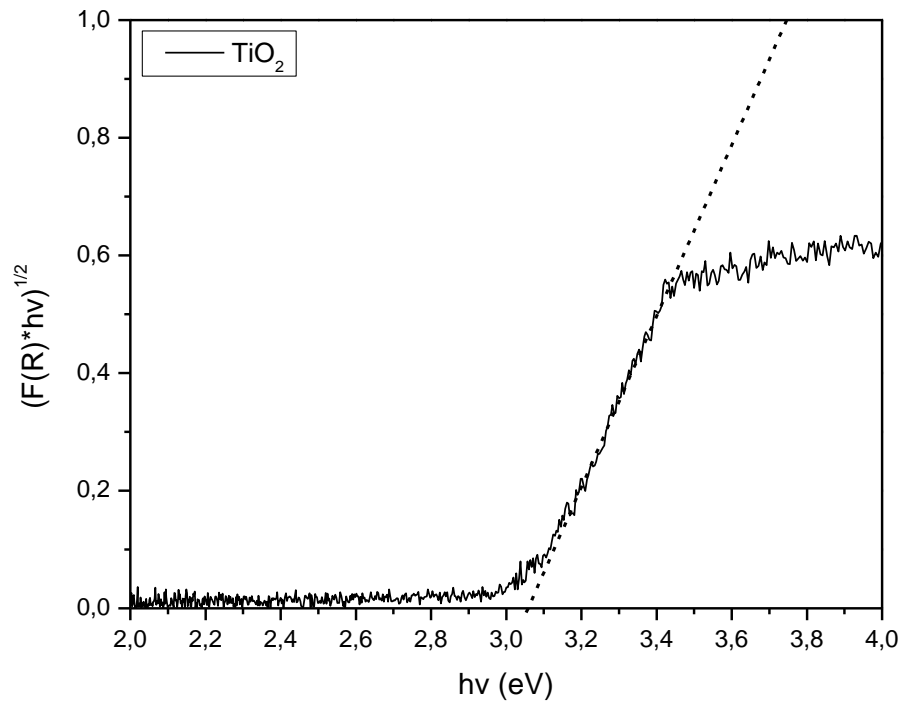
Gambar L.5.3.3 Grafik penentuan nilai absorbansi TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif

**d. Sampel TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam**

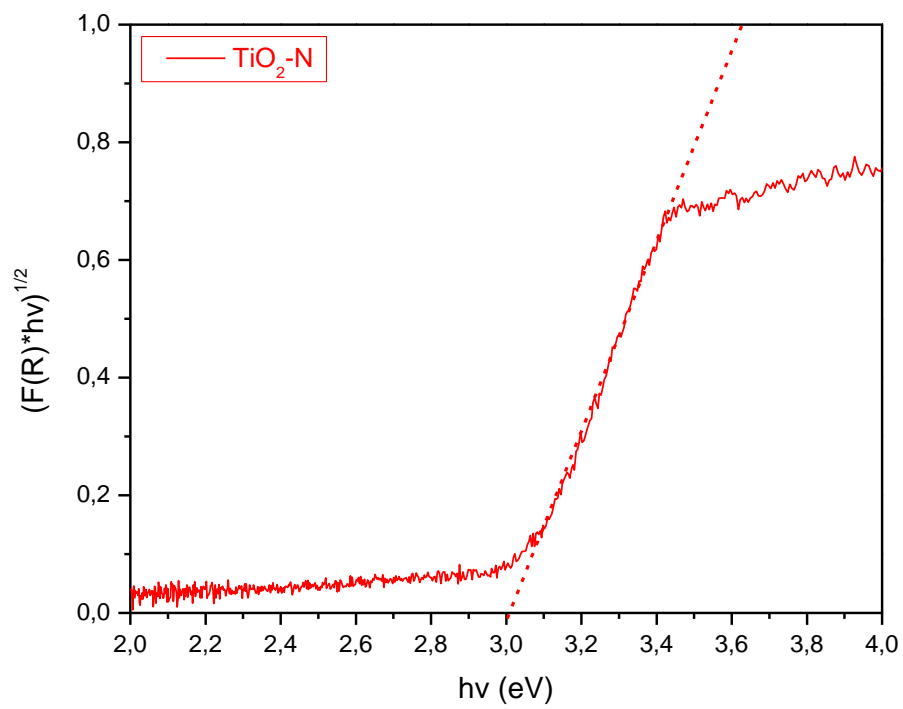
Gambar L.5.3.4 Grafik penentuan nilai absorbansi TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam

### L.5.4 Nilai Energi Celah Pita

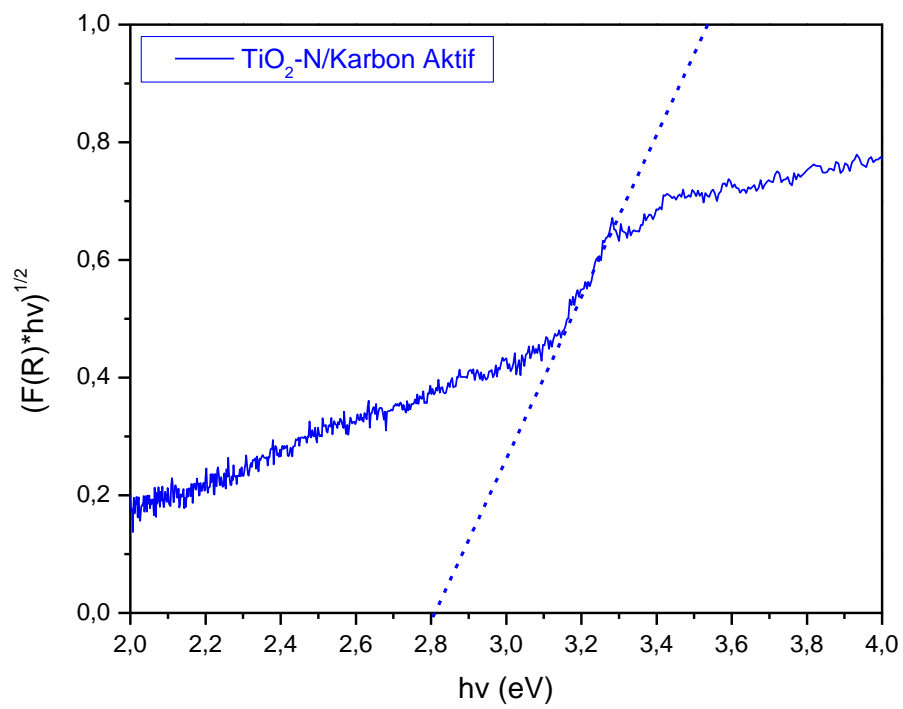
#### a. Sampel TiO<sub>2</sub>



Gambar L.5.4.1 Grafik penentuan nilai energi celah pita TiO<sub>2</sub>

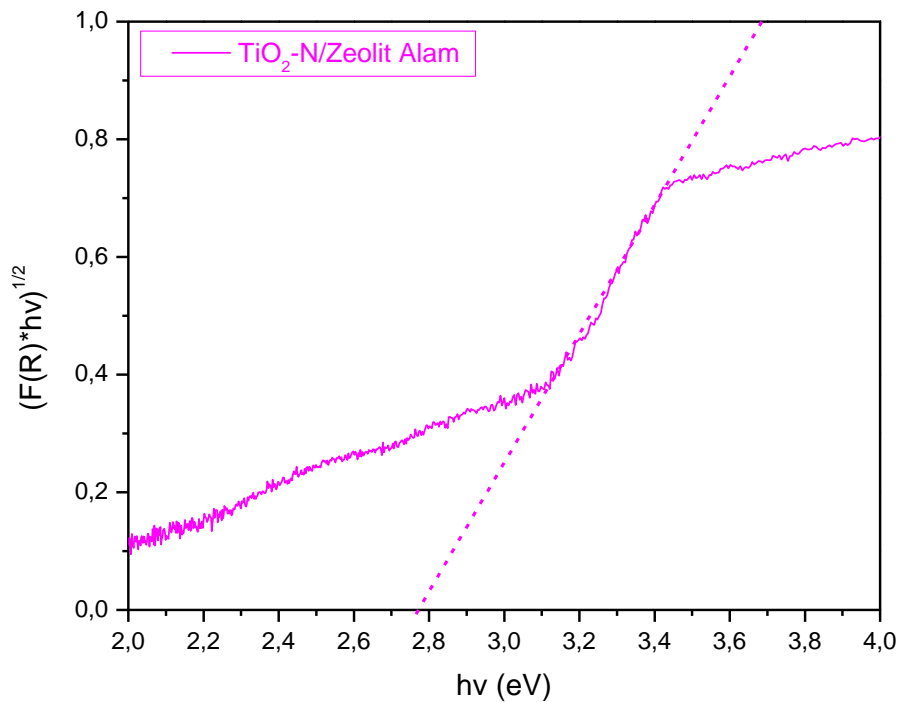
**b. Sampel TiO<sub>2</sub>-N**

Gambar L.5.4.2 Grafik penentuan nilai energi celah pita TiO<sub>2</sub>-N

**c. Sampel TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif**

Gambar L.5.4.3 Grafik penentuan nilai energi celah pita TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif

#### d. Sampel TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam



Gambar L.5.4.4 Grafik penentuan nilai energi celah pita TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam

#### L.5.5 Perhitungan Serapan Panjang Gelombang Sampel Fotokatalis

Perhitungan serapan panjang gelombang sampel fotokatalis menggunakan persamaan Konstanta Planck sebagai berikut:

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Dimana:

$$h = 6,624 \times 10^{-34} \text{ J.s} \rightarrow 4,135 \times 10^{-15} \text{ eV}$$

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

$$E = \text{energi celah pita (eV)}$$

##### a. Sampel TiO<sub>2</sub>

Diketahui:

$$E = 3,05 \text{ eV}$$

$$h = 6,624 \times 10^{-34} \text{ J.s} \rightarrow 4,135 \times 10^{-15} \text{ eV}$$

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

Ditanya:  $\lambda$

Jawab:

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{h \cdot c}{\lambda} \\
 \lambda &= \frac{h \cdot c}{E} \\
 &= \frac{4,135 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s} \times 3 \times 10^8}{3,05} \\
 &= 4,06 \times 10^{-7} \text{ m} \\
 &= 406 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

### b. Sampel TiO<sub>2</sub>-N

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 E &= 3,00 \text{ eV} \\
 h &= 6,624 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \rightarrow 4,135 \times 10^{-15} \text{ eV} \\
 c &= 3 \times 10^8 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Ditanya:  $\lambda$

Jawab:

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{h \cdot c}{\lambda} \\
 \lambda &= \frac{h \cdot c}{E} \\
 &= \frac{4,135 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s} \times 3 \times 10^8}{3,00} \\
 &= 4,13 \times 10^{-7} \text{ m} \\
 &= 413 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

### c. Sampel TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 E &= 2,80 \text{ eV} \\
 h &= 6,624 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \rightarrow 4,135 \times 10^{-15} \text{ eV} \\
 c &= 3 \times 10^8 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Ditanya:  $\lambda$

Jawab:

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{h \cdot c}{\lambda} \\
 \lambda &= \frac{h \cdot c}{E} \\
 &= \frac{4,135 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s} \times 3 \times 10^8}{2,80} \\
 &= 4,43 \times 10^{-7} \text{ m} \\
 &= 443 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

**d. Sampel TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam**

Diketahui:

$$E = 2,76 \text{ eV}$$

$$h = 6,624 \times 10^{-34} \text{ J.s} \rightarrow 4,135 \times 10^{-15} \text{ eV}$$

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

Ditanya:  $\lambda$ 

Jawab:

$$E = \frac{h.c}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{h.c}{E}$$

$$= \frac{4,135 \times 10^{-15} \text{ eV.s} \times 3 \times 10^8}{2,76}$$

$$= 4,49 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$= 449 \text{ nm}$$

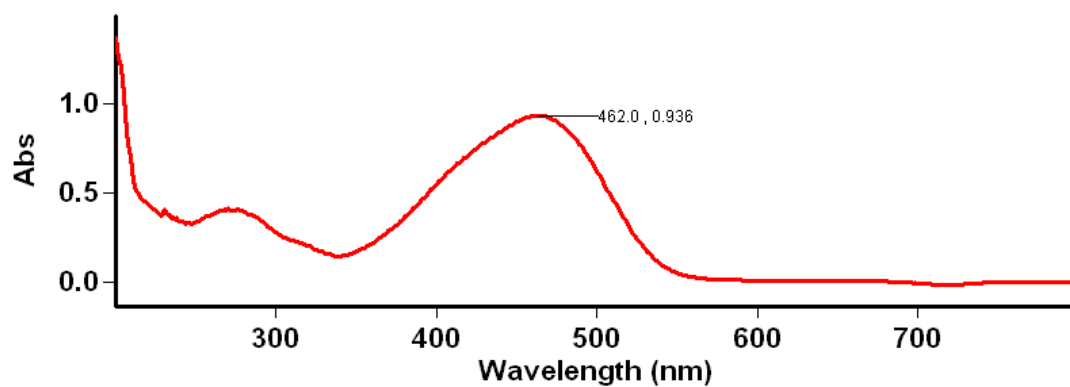
Tabel L.5.5 Hasil energi celah pita dan daerah serapan panjang gelombang

<b>Sampel Fotokatalis</b>	<b>Energi Celah Pita (eV)</b>	<b>Panjang Gelombang (nm)</b>
TiO <sub>2</sub>	3,05	406
TiO <sub>2</sub> -N	3,00	413
TiO <sub>2</sub> -N/Karbon Aktif	2,80	443
TiO <sub>2</sub> -N/Zeolit Alam	2,76	449

## L.6 Hasil Analisis UV-Vis

### L.6.1 Lamdha Maks Metil Jingga

Tanggal Analisis : 17 September 2020



### Scan Analysis Report

Report Time : Thu 17 Sep 10:36:13 AM 2020

Method:

Batch: D:\Andri Yulianto\Lamdha Maks Metil Orange (17-09-2020).DSW

Software version: 3.00(339)

Operator: Rika

### Sample Name: Metil Orange

Collection Time 9/17/2020 10:37:29 AM

Peak Table

Peak Style Peaks

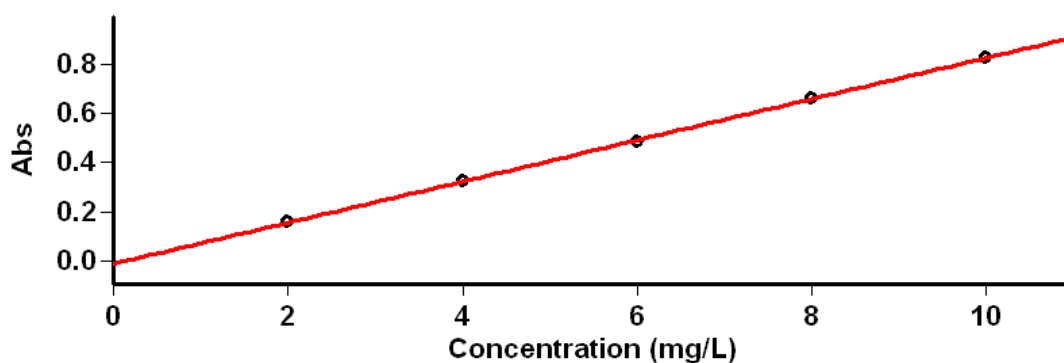
Peak Threshold 0.0100

Range 800.0nm to 200.1nm

Wavelength (nm)	Abs
462.0	0.936
270.0	0.414
238.0	0.363
236.0	0.365
230.0	0.412

## L.6.2 Kurva Standar Metil Orange

Tanggal Analisis : 17 September 2020



### Concentration Analysis Report

Report time 9/17/2020 10:40:43 AM  
 Method  
 Batch name D:\Andri Yulianto\Kurva Standar Metil Orange (17-09-2020).BCN  
 Application Concentration 3.00 (339)  
 Operator Rika

### Instrument Settings

Instrument Cary 50  
 Instrument version no. 3.00  
 Wavelength (nm) 462.0  
 Ordinate Mode Abs  
 Ave Time (sec) 0.1000  
 Replicates 3  
 Standard/Sample averaging OFF  
 Weight and volume corrections OFF  
 Fit type Linear  
 Min R<sup>2</sup> 0.95000  
 Concentration units mg/L

Comments:

### Zero Report

Read	Abs	nm
Zero	(0.1516)	462.0

### Calibration

Collection time	9/17/2020 10:41:36 AM				
Standard	Concentration mg/L	F	Mean	SD	%RSD Readings
Std 1					0.1577 0.1578 0.1578
	2.0		0.1578	0.0000	0.02
Std 2					0.3244 0.3245 0.3245
	4.0		0.3244	0.0001	0.02
Std 3					0.4844 0.4844 0.4845
	6.0		0.4844	0.0001	0.01
Std 4					0.6583 0.6587 0.6584
	8.0		0.6584	0.0002	0.03
Std 5					0.8279

				0.8275
10.0	0.8277	0.0002	0.03	0.8278

Calibration eqn	Abs = 0.08370*Conc -0.01162
Correlation Coefficient	0.99982
Calibration time	9/17/2020 10:42:54 AM

### Results Flags Legend

U = Uncalibrated	O = Overage
N = Not used in calibration	R = Repeat reading

**L.6.3 Absorbansi Metil Jingga, Karbon Aktif, Zeolit Alam, TiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>-N,  
TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif, TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam**

## Absorbansi Metil Jingga

Tanggal Analisis : 22 Maret 2021

### Advanced Reads Report

Report time 3/22/2021 3:04:11 PM  
 Method  
 Batch name D:\Andri Yulianto\Absorbansi Metil Jingga  
 (22-03-2021).BAB  
 Application Advanced Reads 3.00 (339)  
 Operator Rika

#### Instrument Settings

Instrument Cary 50  
 Instrument version no. 3.00  
 Wavelength (nm) 462.0  
 Ordinate Mode Abs  
 Ave Time (sec) 0.1000  
 Replicates 3  
 Sample averaging OFF

Comments:

#### Zero Report

Read	Abs	nm
Zero	(0.1499)	462.0

#### Analysis

Collection time 3/22/2021 3:04:11 PM

Sample	F	Mean	SD	%RSD	Readings
1.1					0.5641 0.5641 0.5640
1.2					0.5856 0.5854 0.5855
1.3					0.5805 0.5804 0.5802
2.1					0.5823 0.5822 0.5826
2.2					0.5816 0.5815 0.5815
2.3					0.5825 0.5825 0.5824

#### Results Flags Legend

R = Repeat reading

# Absorbansi Metil Hingga Sampel Karbon Aktif

Tanggal Analisis : 23 Maret 2021

## Advanced Reads Report

Report time 3/23/2021 2:50:49 PM  
 Method  
 Batch name D:\Andri Yulianto\Absorbansi Metil Hingga Sampel  
 Karbon Aktif (23-03-2021).BAB  
 Application Advanced Reads 3.00 (339)  
 Operator Rika

### Instrument Settings

Instrument Cary 50  
 Instrument version no. 3.00  
 Wavelength (nm) 462.0  
 Ordinate Mode Abs  
 Ave Time (sec) 0.1000  
 Replicates 3  
 Sample averaging OFF

Comments:

### Zero Report

Read	Abs	nm
Zero	(0.1477)	462.0

### Analysis

Collection time 3/23/2021 2:50:49 PM

Sample	F	Mean	SD	%RSD	Readings
1.1					0.4999 0.4997 0.5000
		0.4999	0.0001	0.03	
1.2					0.5318 0.5317 0.5319
		0.5318	0.0001	0.03	
1.3					0.5242 0.5243 0.5244
		0.5243	0.0001	0.02	
2.1					0.5490 0.5500 0.5498
		0.5496	0.0005	0.10	
2.2					0.5458 0.5461 0.5491
		0.5470	0.0018	0.33	
2.3					0.5380 0.5377 0.5374
		0.5377	0.0003	0.05	

### Results Flags Legend

R = Repeat reading

# Absorbansi Metil Hingga Sampel Zeolit Alam

Tanggal Analisis : 24 Maret 2021

## Advanced Reads Report

Report time 3/24/2021 2:20:26 PM  
 Method  
 Batch name D:\Andri Yulianto\Absorbansi Metil Hingga Sampel  
 Zeolit Alam (24-03-2021).BAB  
 Application Advanced Reads 3.00(339)  
 Operator Rika

### Instrument Settings

Instrument Cary 50  
 Instrument version no. 3.00  
 Wavelength (nm) 462.0  
 Ordinate Mode Abs  
 Ave Time (sec) 0.1000  
 Replicates 3  
 Sample averaging OFF

Comments:

### Zero Report

Read	Abs	nm
Zero	(0.1301)	462.0

### Analysis

Collection time 3/24/2021 2:20:26 PM

Sample	F	Mean	SD	%RSD	Readings
1.1					0.4778 0.4778 0.4776
		0.4777	0.0001	0.03	
1.2					0.5100 0.5096 0.5093
		0.5096	0.0004	0.07	
1.3					0.5095 0.5092 0.5091
		0.5093	0.0003	0.05	
2.1					0.5180 0.5179 0.5178
		0.5179	0.0001	0.02	
2.2					0.5182 0.5184 0.5185
		0.5184	0.0001	0.03	
2.3					0.5109 0.5091 0.5083
		0.5095	0.0013	0.26	

### Results Flags Legend

R = Repeat reading

# Absorbansi Metil Hingga Sampel TiO<sub>2</sub>

Tanggal Analisis : 25 Maret 2021

## Advanced Reads Report

Report time 3/25/2021 2:30:08 PM  
 Method  
 Batch name D:\Andri Yulianto\Absorbansi Metil Hingga Sampel  
 TiO<sub>2</sub> (25-03-2021).BAB  
 Application Advanced Reads 3.00 (339)  
 Operator Rika

### Instrument Settings

Instrument Cary 50  
 Instrument version no. 3.00  
 Wavelength (nm) 462.0  
 Ordinate Mode Abs  
 Ave Time (sec) 0.1000  
 Replicates 3  
 Sample averaging OFF

Comments:

### Zero Report

Read	Abs	nm
Zero	(0.1593)	462.0

### Analysis

Collection time 3/25/2021 2:30:08 PM

Sample	F	Mean	SD	%RSD	Readings
1.1					0.4866 0.4872 0.4873
		0.4870	0.0003	0.07	
1.2					0.5155 0.5154 0.5155
		0.5155	0.0001	0.01	
1.3					0.4457 0.4446 0.4443
		0.4449	0.0007	0.16	
2.1					0.3337 0.3337 0.3337
		0.3337	0.0000	0.01	
2.2					0.3938 0.3951 0.3941
		0.3943	0.0007	0.18	
2.3					0.4166 0.4179 0.4195
		0.4180	0.0015	0.35	

### Results Flags Legend

R = Repeat reading

# Absorbansi Metil Hingga Sampel TiO<sub>2</sub>-N

Tanggal Analisis : 29 Maret 2021

## Advanced Reads Report

Report time 3/29/2021 3:40:11 PM  
 Method  
 Batch name D:\Andri Yulianto\Absorbansi Metil Hingga Sampel  
 TiO<sub>2</sub>-N 2 (29-03-2021).BAB  
 Application Advanced Reads 3.00 (339)  
 Operator Rika

### Instrument Settings

Instrument Cary 50  
 Instrument version no. 3.00  
 Wavelength (nm) 462.0  
 Ordinate Mode Abs  
 Ave Time (sec) 0.1000  
 Replicates 3  
 Sample averaging OFF

Comments:

### Zero Report

Read	Abs	nm
Zero	(0.1468)	462.0

### Analysis

Collection time 3/29/2021 3:40:11 PM

Sample	F	Mean	SD	%RSD	Readings
1.1					0.3370 0.3373 0.3376
		0.3373	0.0003	0.09	
1.2					0.5637 0.5640 0.5641
		0.5639	0.0002	0.03	
1.3					0.4234 0.4233 0.4233
		0.4233	0.0001	0.02	
2.1					0.3854 0.3855 0.3859
		0.3856	0.0003	0.07	
2.2					0.5027 0.5023 0.5022
		0.5024	0.0002	0.05	
2.3					0.3182 0.3179 0.3180
		0.3180	0.0002	0.05	

### Results Flags Legend

R = Repeat reading

# Absorbansi Metil Jingga Sampel TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif

Tanggal Analisis : 29 Maret 2021

## Advanced Reads Report

Report time 3/29/2021 3:43:19 PM  
 Method  
 Batch name D:\Andri Yulianto\Absorbansi Metil Jingga Sampel  
 TiO<sub>2</sub>-N-Karbon Aktif (29-03-2021).BAB  
 Application Advanced Reads 3.00 (339)  
 Operator Rika

### Instrument Settings

Instrument Cary 50  
 Instrument version no. 3.00  
 Wavelength (nm) 462.0  
 Ordinate Mode Abs  
 Ave Time (sec) 0.1000  
 Replicates 3  
 Sample averaging OFF

Comments:

### Zero Report

Read	Abs	nm
Zero	(0.1457)	462.0

### Analysis

Collection time 3/29/2021 3:43:19 PM

Sample	F	Mean	SD	%RSD	Readings
1.1					0.3768 0.3767 0.3770
		0.3768	0.0001	0.04	
1.2					0.3929 0.3930 0.3931
		0.3930	0.0001	0.02	
1.3					0.3821 0.3818 0.3817
		0.3819	0.0002	0.05	
2.1					0.3874 0.3875 0.3875
		0.3875	0.0000	0.01	
2.2					0.3819 0.3820 0.3817
		0.3818	0.0001	0.03	
2.3					0.3807 0.3806 0.3807
		0.3807	0.0001	0.02	

### Results Flags Legend

R = Repeat reading

# Absorbansi Metil Hingga Sampel TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam

Tanggal Analisis : 31 Maret 2021

## Advanced Reads Report

Report time 3/31/2021 11:02:36 AM  
 Method  
 Batch name D:\Andri Yulianto\Absorbansi Metil Hingga Sampel  
 TiO<sub>2</sub>-N-Zeolit Alam (31-03-2021).BAB  
 Application Advanced Reads 3.00 (339)  
 Operator Rika

### Instrument Settings

Instrument Cary 50  
 Instrument version no. 3.00  
 Wavelength (nm) 462.0  
 Ordinate Mode Abs  
 Ave Time (sec) 0.1000  
 Replicates 3  
 Sample averaging OFF

Comments:

### Zero Report

Read	Abs	nm
Zero	(0.1371)	462.0

### Analysis

Collection time 3/31/2021 11:02:36 AM

Sample	F	Mean	SD	%RSD	Readings
1.1					0.3030 0.3036 0.3029
		0.3032	0.0004	0.12	
1.2					0.3529 0.3528 0.3526
		0.3528	0.0002	0.05	
1.3					0.3282 0.3282 0.3283
		0.3282	0.0001	0.02	
2.1					0.3623 0.3625 0.3624
		0.3624	0.0001	0.03	
2.2					0.3535 0.3536 0.3536
		0.3536	0.0001	0.02	
2.3					0.3681 0.3683 0.3683
		0.3682	0.0001	0.02	

### Results Flags Legend

R = Repeat reading

### L.6.4 Perhitungan % Degradasi Sampel Fotokatalis

Perhitungan % degradasi sampel fotokatalis menggunakan persamaan Regresi Linier sebagai berikut:

$$y = ax - b$$

Dimana:

- y = Absorbansi sampel
- x = Konsentrasi sampel
- ab = Kurva standar sampel

Serta menggunakan persamaan % degradasi sebagai berikut:

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

Dimana:

- C<sub>0</sub> = Konsentrasi awal sampel
- C<sub>t</sub> = Konsentrasi akhir sampel

#### 1. Metil Jingga

- **Absorbansi (1)**

Diketahui:

- y = 0,5641
- ab = 0,08370x – 0,01162

Ditanya: x?

Jawab:

- y = ax – b
- 0,5641 = 0,08370x – 0,01162
- x =  $\frac{0,01162 + 0,5641}{0,08370}$
- = 6,8783

$$\begin{aligned} \% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{10 - 6,8783}{10} \times 100\% \\ &= 31,21 \% \end{aligned}$$

- **Absorbansi (2)**

Diketahui:

- y = 0,5855
- ab = 0,08370x – 0,01162

Ditanya: x?

Jawab:

- y = ax – b

$$\begin{aligned}
 0,5855 &= 0,08370x - 0,01162 \\
 x &= \frac{0,01162+0,5855}{0,08370} \\
 &= 7,1340
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\
 &= \frac{10 - 7,1340}{10} \times 100\% \\
 &= 28,66 \%
 \end{aligned}$$

• **Absorbansi (3)**

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 y &= 0,5804 \\
 ab &= 0,08370x - 0,01162
 \end{aligned}$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$\begin{aligned}
 y &= ax - b \\
 0,5804 &= 0,08370x - 0,01162 \\
 x &= \frac{0,01162+0,5804}{0,08370} \\
 &= 7,0731
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\
 &= \frac{10 - 7,0731}{10} \times 100\% \\
 &= 29,26 \%
 \end{aligned}$$

• **Absorbansi (4)**

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 y &= 0,5824 \\
 ab &= 0,08370x - 0,01162
 \end{aligned}$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$\begin{aligned}
 y &= ax - b \\
 0,5824 &= 0,08370x - 0,01162 \\
 x &= \frac{0,01162+0,5824}{0,08370} \\
 &= 7,0970
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{10 - 7,0970}{10} \times 100\% \\ &= 29,03 \%\end{aligned}$$

- **Absorbansi (5)**

Diketahui:

$$\begin{aligned}y &= 0,5815 \\ ab &= 0,08370x - 0,01162\end{aligned}$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$\begin{aligned}y &= ax - b \\ 0,5815 &= 0,08370x - 0,01162 \\ x &= \frac{0,01162 + 0,5815}{0,08370} \\ &= 7,0862\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{10 - 7,0862}{10} \times 100\% \\ &= 29,13 \%\end{aligned}$$

- **Absorbansi (6)**

Diketahui:

$$\begin{aligned}y &= 0,5825 \\ ab &= 0,08370x - 0,01162\end{aligned}$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$\begin{aligned}y &= ax - b \\ 0,5825 &= 0,08370x - 0,01162 \\ x &= \frac{0,01162 + 0,5825}{0,08370} \\ &= 7,0982\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{10 - 7,0982}{10} \times 100\% \\ &= 29,01 \%\end{aligned}$$

## 2. Karbon Aktif

- **Absorbansi (1)**

Diketahui:

$$y = 0,4999$$

$$ab = 0,08370x - 0,01162$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$y = ax - b$$

$$0,4999 = 0,08370x - 0,01162$$

$$x = \frac{0,01162 + 0,4999}{0,08370}$$

$$= 6,1113$$

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

$$= \frac{10 - 6,1113}{10} \times 100\%$$

$$= 38,88 \%$$

- **Absorbansi (2)**

Diketahui:

$$y = 0,5318$$

$$ab = 0,08370x - 0,01162$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$y = ax - b$$

$$0,5318 = 0,08370x - 0,01162$$

$$x = \frac{0,01162 + 0,5318}{0,08370}$$

$$= 6,4924$$

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

$$= \frac{10 - 6,4924}{10} \times 100\%$$

$$= 35,07 \%$$

- **Absorbansi (3)**

Diketahui:

$$y = 0,5243$$

$$ab = 0,08370x - 0,01162$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$\begin{aligned}
 y &= ax - b \\
 0,5243 &= 0,08370x - 0,01162 \\
 x &= \frac{0,01162+0,5243}{0,08370} \\
 &= 6,4028 \\
 \% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\
 &= \frac{10 - 6,4028}{10} \times 100\% \\
 &= 35,97 \%
 \end{aligned}$$

• **Absorbansi (4)**

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 y &= 0,5496 \\
 ab &= 0,08370x - 0,01162
 \end{aligned}$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$\begin{aligned}
 y &= ax - b \\
 0,5496 &= 0,08370x - 0,01162 \\
 x &= \frac{0,01162+0,5496}{0,08370} \\
 &= 6,7051 \\
 \% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\
 &= \frac{10 - 6,7051}{10} \times 100\% \\
 &= 32,94 \%
 \end{aligned}$$

• **Absorbansi (5)**

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 y &= 0,5470 \\
 ab &= 0,08370x - 0,01162
 \end{aligned}$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$\begin{aligned}
 y &= ax - b \\
 0,5470 &= 0,08370x - 0,01162
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{0,01162+0,5470}{0,08370} \\
 &= 6,6740 \\
 \% \text{ Degradasi} &= \frac{C_o - C_t}{C_o} \times 100\% \\
 &= \frac{10 - 6,6740}{10} \times 100\% \\
 &= 33,26 \%
 \end{aligned}$$

- **Absorbansi (6)**

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 y &= 0,5377 \\
 ab &= 0,08370x - 0,01162
 \end{aligned}$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$\begin{aligned}
 y &= ax - b \\
 0,5377 &= 0,08370x - 0,01162 \\
 x &= \frac{0,01162+0,5377}{0,08370} \\
 &= 6,5629 \\
 \% \text{ Degradasi} &= \frac{C_o - C_t}{C_o} \times 100\% \\
 &= \frac{10 - 6,5629}{10} \times 100\% \\
 &= 34,37 \%
 \end{aligned}$$

### 3. Zeolit Alam

- **Absorbansi (1)**

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 y &= 0,4777 \\
 ab &= 0,08370x - 0,01162
 \end{aligned}$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$\begin{aligned}
 y &= ax - b \\
 0,4777 &= 0,08370x - 0,01162 \\
 x &= \frac{0,01162+0,4777}{0,08370} \\
 &= 5,8461
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{10 - 5,8461}{10} \times 100\% \\ &= 41,53 \%\end{aligned}$$

- **Absorbansi (2)**

Diketahui:

$$\begin{aligned}y &= 0,5096 \\ ab &= 0,08370x - 0,01162\end{aligned}$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$\begin{aligned}y &= ax - b \\ 0,5096 &= 0,08370x - 0,01162 \\ x &= \frac{0,01162 + 0,5096}{0,08370} \\ &= 6,2272\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{10 - 6,2272}{10} \times 100\% \\ &= 37,72 \%\end{aligned}$$

- **Absorbansi (3)**

Diketahui:

$$\begin{aligned}y &= 0,5093 \\ ab &= 0,08370x - 0,01162\end{aligned}$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$\begin{aligned}y &= ax - b \\ 0,5093 &= 0,08370x - 0,01162 \\ x &= \frac{0,01162 + 0,5093}{0,08370} \\ &= 6,2236\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{10 - 6,2236}{10} \times 100\% \\ &= 37,76 \%\end{aligned}$$

- **Absorbansi (4)**

Diketahui:

$$y = 0,5179$$

$$ab = 0,08370x - 0,01162$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$y = ax - b$$

$$0,5179 = 0,08370x - 0,01162$$

$$x = \frac{0,01162 + 0,5179}{0,08370}$$

$$= 6,3264$$

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

$$= \frac{10 - 6,3264}{10} \times 100\%$$

$$= 36,73 \%$$

- **Absorbansi (5)**

Diketahui:

$$y = 0,5184$$

$$ab = 0,08370x - 0,01162$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$y = ax - b$$

$$0,5184 = 0,08370x - 0,01162$$

$$x = \frac{0,01162 + 0,5184}{0,08370}$$

$$= 6,3323$$

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

$$= \frac{10 - 6,3323}{10} \times 100\%$$

$$= 36,67 \%$$

- **Absorbansi (6)**

Diketahui:

$$y = 0,5095$$

$$ab = 0,08370x - 0,01162$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$\begin{aligned}
 y &= ax - b \\
 0,5095 &= 0,08370x - 0,01162 \\
 x &= \frac{0,01162+0,5095}{0,08370} \\
 &= 6,2260 \\
 \% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\
 &= \frac{10 - 6,2260}{10} \times 100\% \\
 &= 37,74 \%
 \end{aligned}$$

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

- **Absorbansi (1)**

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 y &= 0,4870 \\
 ab &= 0,08370x - 0,01162
 \end{aligned}$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$\begin{aligned}
 y &= ax - b \\
 0,4870 &= 0,08370x - 0,01162 \\
 x &= \frac{0,01162+0,4870}{0,08370} \\
 &= 5,9572 \\
 \% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\
 &= \frac{10 - 5,9572}{10} \times 100\% \\
 &= 40,42 \%
 \end{aligned}$$

- **Absorbansi (2)**

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 y &= 0,5155 \\
 ab &= 0,08370x - 0,01162
 \end{aligned}$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$y = ax - b$$

$$\begin{aligned}
 0,5155 &= 0,08370x - 0,01162 \\
 x &= \frac{0,01162+0,5155}{0,08370} \\
 &= 6,2977
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\
 &= \frac{10 - 6,2977}{10} \times 100\% \\
 &= 37,02 \%
 \end{aligned}$$

- **Absorbansi (3)**

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 y &= 0,4449 \\
 ab &= 0,08370x - 0,01162
 \end{aligned}$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$\begin{aligned}
 y &= ax - b \\
 0,4449 &= 0,08370x - 0,01162 \\
 x &= \frac{0,01162+0,4449}{0,08370} \\
 &= 5,4542
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\
 &= \frac{10 - 5,4542}{10} \times 100\% \\
 &= 45,45 \%
 \end{aligned}$$

- **Absorbansi (4)**

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 y &= 0,3337 \\
 ab &= 0,08370x - 0,01162
 \end{aligned}$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$\begin{aligned}
 y &= ax - b \\
 0,3337 &= 0,08370x - 0,01162 \\
 x &= \frac{0,01162+0,3337}{0,08370} \\
 &= 4,1256
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{10 - 4,1256}{10} \times 100\% \\ &= 58,74 \%\end{aligned}$$

- **Absorbansi (5)**

Diketahui:

$$\begin{aligned}y &= 0,3943 \\ ab &= 0,08370x - 0,01162\end{aligned}$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$\begin{aligned}y &= ax - b \\ 0,3943 &= 0,08370x - 0,01162 \\ x &= \frac{0,01162 + 0,3943}{0,08370} \\ &= 4,8497\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{10 - 4,8497}{10} \times 100\% \\ &= 51,50 \%\end{aligned}$$

- **Absorbansi (6)**

Diketahui:

$$\begin{aligned}y &= 0,4180 \\ ab &= 0,08370x - 0,01162\end{aligned}$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$\begin{aligned}y &= ax - b \\ 0,4180 &= 0,08370x - 0,01162 \\ x &= \frac{0,01162 + 0,4180}{0,08370} \\ &= 5,1328\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{10 - 5,1328}{10} \times 100\% \\ &= 48,67 \%\end{aligned}$$

## 5. TiO<sub>2</sub>-N

### • Absorbansi (1)

Diketahui:

$$y = 0,3373$$

$$ab = 0,08370x - 0,01162$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$y = ax - b$$

$$0,3373 = 0,08370x - 0,01162$$

$$x = \frac{0,01162 + 0,3373}{0,08370}$$

$$= 4,1686$$

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

$$= \frac{10 - 4,1686}{10} \times 100\%$$

$$= 58,31 \%$$

### • Absorbansi (2)

Diketahui:

$$y = 0,5939$$

$$ab = 0,08370x - 0,01162$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$y = ax - b$$

$$0,5939 = 0,08370x - 0,01162$$

$$x = \frac{0,01162 + 0,5939}{0,08370}$$

$$= 7,2344$$

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

$$= \frac{10 - 7,2344}{10} \times 100\%$$

$$= 27,65 \%$$

### • Absorbansi (3)

Diketahui:

$$y = 0,4233$$

$$ab = 0,08370x - 0,01162$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$y = ax - b$$

$$0,4233 = 0,08370x - 0,01162$$

$$x = \frac{0,01162 + 0,4233}{0,08370}$$

$$= 5,1961$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{10 - 5,1961}{10} \times 100\% \\ &= 48,03 \% \end{aligned}$$

- **Absorbansi (4)**

Diketahui:

$$y = 0,3856$$

$$ab = 0,08370x - 0,01162$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$y = ax - b$$

$$0,3856 = 0,08370x - 0,01162$$

$$x = \frac{0,01162 + 0,3856}{0,08370}$$

$$= 4,7457$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{10 - 4,7457}{10} \times 100\% \\ &= 52,54 \% \end{aligned}$$

- **Absorbansi (5)**

Diketahui:

$$y = 0,5024$$

$$ab = 0,08370x - 0,01162$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$y = ax - b$$

$$\begin{aligned}
 0,5024 &= 0,08370x - 0,01162 \\
 x &= \frac{0,01162+0,5024}{0,08370} \\
 &= 6,1412 \\
 \% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\
 &= \frac{10 - 6,1412}{10} \times 100\% \\
 &= 38,58 \%
 \end{aligned}$$

- **Absorbansi (6)**

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 y &= 0,3180 \\
 ab &= 0,08370x - 0,01162
 \end{aligned}$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$\begin{aligned}
 y &= ax - b \\
 0,3180 &= 0,08370x - 0,01162 \\
 x &= \frac{0,01162+0,3180}{0,08370} \\
 &= 3,9381 \\
 \% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\
 &= \frac{10 - 3,9381}{10} \times 100\% \\
 &= 60,61 \%
 \end{aligned}$$

## 6. TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif

- **Absorbansi (1)**

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 y &= 0,3768 \\
 ab &= 0,08370x - 0,01162
 \end{aligned}$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$\begin{aligned}
 y &= ax - b \\
 0,3768 &= 0,08370x - 0,01162 \\
 x &= \frac{0,01162+0,3768}{0,08370}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 4,6406 \\
 \% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\
 &= \frac{10 - 4,6406}{10} \times 100\% \\
 &= 53,59 \%
 \end{aligned}$$

• **Absorbansi (2)**

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 y &= 0,3930 \\
 ab &= 0,08370x - 0,01162
 \end{aligned}$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$\begin{aligned}
 y &= ax - b \\
 0,3930 &= 0,08370x - 0,01162 \\
 x &= \frac{0,1162 + 0,3930}{0,08370} \\
 &= 4,8341
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\
 &= \frac{10 - 4,8341}{10} \times 100\% \\
 &= 51,65 \%
 \end{aligned}$$

• **Absorbansi (3)**

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 y &= 0,3819 \\
 ab &= 0,08370x - 0,01162
 \end{aligned}$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$\begin{aligned}
 y &= ax - b \\
 0,3819 &= 0,08370x - 0,01162 \\
 x &= \frac{0,01162 + 0,3819}{0,08370} \\
 &= 4,7015
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\
 &= \frac{10 - 4,7015}{10} \times 100\% \\
 &= 52,98 \%
 \end{aligned}$$

- **Absorbansi (4)**

Diketahui:

$$y = 0,3875$$

$$ab = 0,08370x - 0,01162$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$y = ax - b$$

$$0,3875 = 0,08370x - 0,01162$$

$$x = \frac{0,01162 + 0,3875}{0,08370}$$

$$= 4,7684$$

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

$$= \frac{10 - 4,7684}{10} \times 100\%$$

$$= 52,31 \%$$

- **Absorbansi (5)**

Diketahui:

$$y = 0,3818$$

$$ab = 0,08370x - 0,01162$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$y = ax - b$$

$$0,3818 = 0,08370x - 0,01162$$

$$x = \frac{0,01162 + 0,3818}{0,08370}$$

$$= 4,7003$$

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

$$= \frac{10 - 4,7003}{10} \times 100\%$$

$$= 52,99 \%$$

- **Absorbansi (6)**

Diketahui:

$$y = 0,3807$$

$$ab = 0,08370x - 0,01162$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$\begin{aligned}
 y &= ax - b \\
 0,3807 &= 0,08370x - 0,01162 \\
 x &= \frac{0,01162+0,3807}{0,08370} \\
 &= 4,6872 \\
 \% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\
 &= \frac{10 - 4,6872}{10} \times 100\% \\
 &= 53,12 \%
 \end{aligned}$$

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

### • Absorbansi (1)

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 y &= 0,3032 \\
 ab &= 0,08370x - 0,01162
 \end{aligned}$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$\begin{aligned}
 y &= ax - b \\
 0,3032 &= 0,08370x - 0,01162 \\
 x &= \frac{0,01162+0,3032}{0,08370} \\
 &= 3,7612 \\
 \% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\
 &= \frac{10 - 3,7612}{10} \times 100\% \\
 &= 62,38 \%
 \end{aligned}$$

### • Absorbansi (2)

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 y &= 0,3528 \\
 ab &= 0,08370x - 0,01162
 \end{aligned}$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$y = ax - b$$

$$0,3528 = 0,08370x - 0,01162$$

$$x = \frac{0,1162+0,3528}{0,08370}$$

$$= 4,3538$$

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

$$= \frac{10 - 4,3538}{10} \times 100\%$$

$$= 56,46 \%$$

• **Absorbansi (3)**

Diketahui:

$$y = 0,3282$$

$$ab = 0,08370x - 0,01162$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$y = ax - b$$

$$0,3282 = 0,08370x - 0,01162$$

$$x = \frac{0,01162+0,3282}{0,08370}$$

$$= 4,0599$$

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

$$= \frac{10 - 4,0599}{10} \times 100\%$$

$$= 59,40 \%$$

• **Absorbansi (4)**

Diketahui:

$$y = 0,3624$$

$$ab = 0,08370x - 0,01162$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$y = ax - b$$

$$0,3624 = 0,08370x - 0,01162$$

$$x = \frac{0,01162+0,3624}{0,08370}$$

$$= 4,4685$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\
 &= \frac{10 - 4,4685}{10} \times 100\% \\
 &= 55,31 \%
 \end{aligned}$$

- **Absorbansi (5)**

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 y &= 0,3536 \\
 ab &= 0,08370x - 0,01162
 \end{aligned}$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$\begin{aligned}
 y &= ax - b \\
 0,3536 &= 0,08370x - 0,01162 \\
 x &= \frac{0,01162 + 0,3536}{0,08370} \\
 &= 4,3634
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\
 &= \frac{10 - 4,3634}{10} \times 100\% \\
 &= 56,36 \%
 \end{aligned}$$

- **Absorbansi (6)**

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 y &= 0,3682 \\
 ab &= 0,08370x - 0,01162
 \end{aligned}$$

Ditanya: x?

Jawab:

$$\begin{aligned}
 y &= ax - b \\
 0,3682 &= 0,08370x - 0,01162 \\
 x &= \frac{0,01162 + 0,3682}{0,08370} \\
 &= 4,5378
 \end{aligned}$$

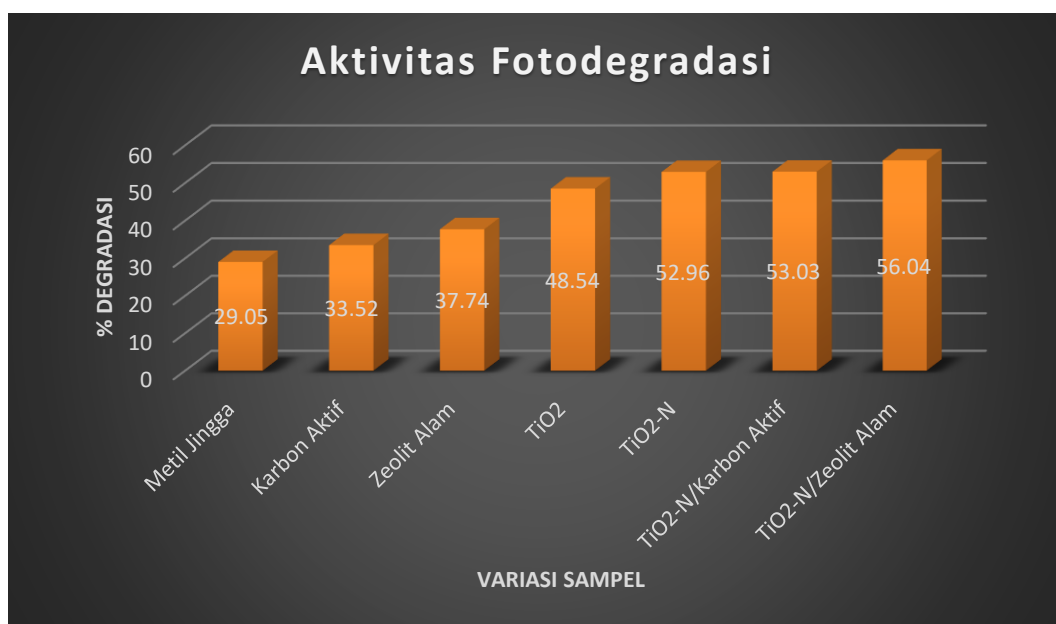
$$\begin{aligned}
 \% \text{ Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\
 &= \frac{10 - 4,5378}{10} \times 100\% \\
 &= 54,62 \%
 \end{aligned}$$

Tabel L.6.4.1 Hasil degradasi (%) sampel fotokatalis full data

Sampel	Absorbansi	Co	Ct	% Degradasi	Rata-Rata % Degradasi
Metil Jingga	0,5641	10	6,8783	31,21	<b>29,38</b>
	0,5855	10	7,1340	28,66	
	0,5804	10	7,0731	29,26	
	0,5824	10	7,0970	29,03	
	0,5815	10	7,0862	29,13	
	0,5825	10	7,0982	29,01	
Karbon Aktif	0,4999	10	6,1113	38,88	<b>35,08</b>
	0,5318	10	6,4924	35,07	
	0,5243	10	6,4028	35,97	
	0,5496	10	6,7051	32,94	
	0,5470	10	6,6740	33,26	
	0,5377	10	6,5629	34,37	
Zeolit Alam	0,4777	10	5,8461	41,53	<b>38,02</b>
	0,5096	10	6,2272	37,72	
	0,5093	10	6,2236	37,76	
	0,5179	10	6,3264	36,73	
	0,5470	10	6,3323	36,67	
	0,5377	10	6,2260	37,74	
TiO <sub>2</sub>	0,4870	10	5,9572	40,42	<b>46,96</b>
	0,5155	10	6,2977	37,02	
	0,4449	10	5,4542	45,45	
	0,3337	10	4,1256	58,74	
	0,3943	10	4,8497	51,50	
	0,4180	10	5,1328	48,67	
TiO <sub>2</sub> -N	0,3373	10	4,1686	58,31	<b>47,62</b>
	0,5939	10	7,2344	27,65	
	0,4233	10	5,1961	48,03	
	0,3856	10	4,7457	52,54	
	0,5024	10	6,1412	38,58	
	0,3180	10	3,9381	60,61	
TiO <sub>2</sub> -N/Karbon Aktif	0,3768	10	4,6406	53,59	<b>52,77</b>
	0,3930	10	4,8341	51,65	
	0,3819	10	4,7015	52,98	
	0,3875	10	4,7684	52,31	
	0,3818	10	4,7003	52,99	
	0,3807	10	4,6872	53,12	
TiO <sub>2</sub> -N/Zeolit Alam	0,3032	10	3,7612	62,38	<b>57,42</b>
	0,3528	10	4,3538	56,46	
	0,3282	10	4,0599	59,40	
	0,3624	10	4,4685	55,31	
	0,3536	10	4,3634	56,36	
	0,3682	10	4,5378	54,62	

Tabel L.6.4.2 Hasil degradasi (%) 3 absorbansi terbaik

Sampel	Absorbansi	Co	Ct	% Degradasi	Rata-Rata % Degradasi
Metil Jingga	0,5824	10	7,0970	29,03	29,05
	0,5815	10	7,0862	29,13	
	0,5825	10	7,0982	29,01	
Karbon Aktif	0,5496	10	6,7051	32,94	33,52
	0,5470	10	6,6740	33,26	
	0,5377	10	6,5629	34,37	
Zeolit Alam	0,5096	10	6,2272	37,72	37,74
	0,5093	10	6,2236	37,76	
	0,5095	10	6,2260	37,74	
TiO <sub>2</sub>	0,4449	10	5,4542	45,45	48,54
	0,3943	10	4,8497	51,50	
	0,4180	10	5,1328	48,67	
TiO <sub>2</sub> -N	0,3373	10	4,1686	58,31	52,96
	0,4233	10	5,1961	48,03	
	0,3856	10	4,7457	52,54	
TiO <sub>2</sub> -N/Karbon Aktif	0,3819	10	4,7015	52,98	53,03
	0,3818	10	4,7003	52,99	
	0,3807	10	4,6872	53,12	
TiO <sub>2</sub> -N/Zeolit Alam	0,3528	10	4,3538	56,46	56,04
	0,3624	10	4,4685	55,31	
	0,3536	10	4,3634	56,36	



Gambar L.6.1 Grafik % degradasi beberapa sampel fotokatalis

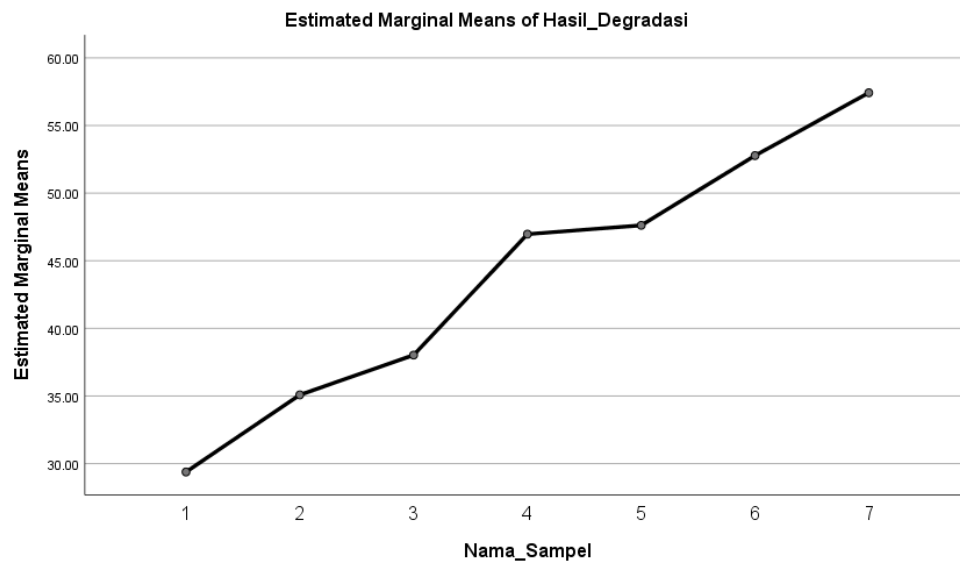
## L.7 Hasil analisis uji rancangan acak lengkap SPSS

Tabel L.7.1 Data anova SPSS

ANOVA					
Hasil_Degradasi					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3646.959	6	607.826	17.981	.000
Within Groups	1183.159	35	33.805		
Total	4830.118	41			

Tabel L.7.2 Data duncan SPSS

Hasil Degradasi						
Duncan <sup>a</sup>						
Nama Sampel	N	Subset for alpha = 0.05				Simbol
		(a)	(b)	(c)	(d)	
(8) Metil Jingga	6	29.3833				a
(9) Karbon Aktif	6	35.0817	35.0817			ab
(10) Zeolit Alam	6		38.0250			b
(11) TiO <sub>2</sub>	6			46.9667		c
(12) TiO <sub>2</sub> -N	6			47.6200		c
(13) TiO <sub>2</sub> -N/Karbon Aktif	6			52.7733	52.7733	cd
(14) TiO <sub>2</sub> -N/Zeolit Alam	6				57.4217	d
Sig.		.098	.387	.110	.175	



Gambar L.7.1 Grafik uji rancangan acak lengkap SPSS

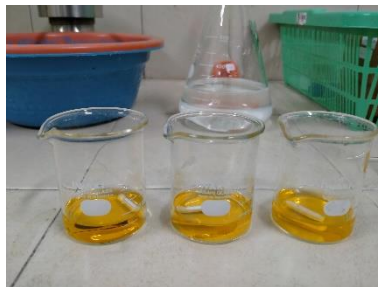
## L.8 Dokumentasi Penelitian



(Larutan Metil Jingga 10 ppm dan Larutan Metil Jingga 100 ppm)

### 1. Metil Jingga

- **Sebelum Perlakuan**



- **Setelah Perlakuan**

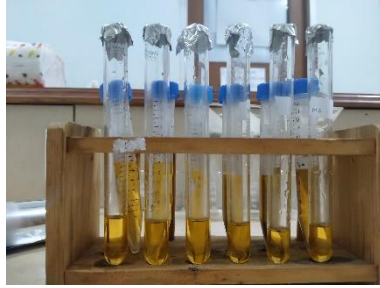


### 2. Karbon Aktif

- **Sebelum Perlakuan**

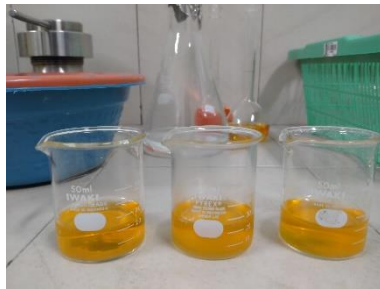


- **Setelah Perlakuan**



### 3. Zeolit Alam

- **Sebelum Perlakuan**



- **Setelah Perlakuan**



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

- **Sebelum Perlakuan**



- **Setelah Perlakuan**

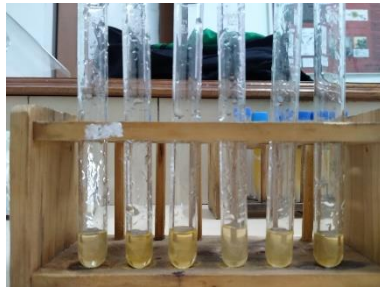


**5. TiO<sub>2</sub>-N**

- **Sebelum Perlakuan**



- **Setelah Perlakuan**

**6. TiO<sub>2</sub>-N/Karbon Aktif**

- **Sebelum Perlakuan**



- **Setelah Perlakuan**

**7. TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit Alam**

- **Sebelum Perlakuan**



- **Setelah Perlakuan**

