

**SINTESIS LAPIS TIPIS TiO<sub>2</sub> *DOPPING* Zn 10% w/w  
SEBAGAI FOTOKATALIS METILEN BIRU MENGGUNAKAN  
METODE *DIP-COATING***

**SKRIPSI**

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Program Studi Kimia pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Islam Indonesia Yogyakarta**



Diajukan Oleh :

**AHMAD NABIL SHAHAB**

**No Mhs: 19612013**

**PROGRAM STUDI KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA**

**2023**

**SINTESIS LAPIS TIPIS TiO<sub>2</sub> DOPPING Zn 10% w/w SEBAGAI  
FOTOKATALIS METILEN BIRU MENGGUNAKAN METODE  
DIP-COATING**

**SKRIPSI**

Yang diajukan oleh:

**AHMAD NABIL SHAHAB**

**No Mhs: 19612013**

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Penguji Skripsi Prodi Kimia Fakultas

Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Islam Indonesia

Tanggal:

Dewan Penguji

Prof. Rudy Syah Putra, S.Si., M.Si., Ph.D.

Dr. Jaka Fajar Fatriansyah, M.Sc.

Gani Purwiandono, S.Si., M.Sc., Ph.D.

Dr. Habibi Hidayat, S.Pd., M.Si.

Tanda Tangan

.....

.....

.....

.....

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Islam Indonesia



Prof. Riyanto, S.Pd., M.Si., Ph.D.



## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ahmad Nabil Shahab  
Nim : 19612013  
Program Studi : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “ **Sintesis Lapis Tipis  $\text{TiO}_2$  Dopping Zn 10% w/w sebagai Fotokatalis Metilen Biru Menggunakan Metode *Dip-Coating*** “ bersifat asli dan tidak berisi material yang diterbitkan sebelumnya kecuali referensi yang disebutkan didalam skripsi ini. Apabila terdapat kontribusi dari penulis lain, maka penulis tersebut secara eksplisittelah disebutkan dalam skripsi ini.

Apabila kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Demikian pernyataan in dibuat dengan sesungguhnya dan penuh tanggung jawab.

Yogyakarta, 21 November 2023



Ahmad Nabil Shahab

## KATA PENGANTAR

*Assalamulaiakum Warrahmatullahi Wabarakatuh*

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “ **Sintesis Lapis Tipis TiO<sub>2</sub> Dopping Zn 10% w/w sebagai Fotokatalis Metilen Biru Menggunakan Metode Dip-Coating** “ disusun untuk memenuhi salah satu syarat mata kuliah skripsi pada Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, sebagai tugas akhir studi dan laporan hasil penelitian.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapat bantuan, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT karena atas segala berkah dan rahmatnya penulis masih diberikan kesabaran dan kemampuan untuk dapat menyelesaikan skripsi inidengan baik.
2. Bapak Prof. Fathul Wahid, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku rektor Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Prof. Riyanto, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Gani Purwiandono, S.Si., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua program studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Prof. Rudy Syah Putra, Ph.D., Selaku Dosen Pembimbing 1 yang dengan sabar memberikan dukungan pengarahan selama masa perkuliahan, penelitian dan pembuatan skripsi.
6. Bapak Dr. Jaka Fajar Fatriansyah, M.Sc., Selaku Dosen Pembimbing 2 dari Departemen Teknik Metallurgy Universitas Indonesia dengan sabar memberikan pengarahan selama proses penelitian dan pembuatan skripsi.
7. Seluruh jajaran Dosen dan staff prodi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.

8. Ibu saya dan keluarga yang telah mendukung dengan kasih sayang dan senantiasa mendoakan dan memberikan dorongan kepada penuls sehingga dapat menyelesaikan skripsi.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu memberikan dukungan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan masih harus disempurnakan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran, guna penyempurnaan di masa mendatang. Akhir kata dengan segala harapan dan doa semoga skripsi ini dapat bermanfaat semua orang yang membacanya.

***Amiin Ya Rabbal,alamiin***

***Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.***

Yogyakarta, 16 Oktober, 2023

Penyusun,

Ahmad Nabil Shahab

## DAFTAR ISI

Pernyataan Keaslian Tulisan .....	ii
Kata Pengantar.....	iii
Daftar Gambar .....	vii
Daftar Tabel.....	viii
Intisari .....	ix
Abstract .....	x
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar belakang .....	1
1.2 Perumusan masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat penelitian .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1 Fotokatalis Lapisan Tipis TiO <sub>2</sub> dengan metode <i>Dip-coating</i> .....	4
2.2 Sifat fisik film tipis TiO <sub>2</sub> yang didoping Zn.....	5
2.3 Efek Doping Seng pada Aktivitas Fotokatalitik TiO <sub>2</sub> .....	8
BAB III DASAR TEORI .....	10
3.1 Metode Dip-coating.....	10
3.2 Fotokatalis TiO <sub>2</sub> .....	12
3.3 Fotodegradasi.....	13
3.4 TiO <sub>2</sub> .....	14
3.5 <i>Polyethylene Glycol</i> .....	16
3.6 Metilen Biru .....	16
3.6 Spektrofotometer UV-Vis.....	17
3.7 <i>X-ray Diffraction</i> (XRD) .....	18
3.8 UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS) .....	20
3.9 FTIR.....	21
3.10 Hipotesis penelitian .....	22
BAB IV METODE PENELITIAN .....	23
4.1 Alat dan Bahan .....	23

4.1.1 Alat.....	23
4.1.2 Bahan .....	23
4.2 Cara kerja .....	23
4.2.1 Preparasi Plat Kaca .....	23
4.2.2 Pembuatan Larutan Prekursor.....	23
4.2.3 Proses <i>dip-coating</i> .....	24
4.2.4 Karakterisasi menggunakan Instrumen .....	24
4.2.5 Uji Aktivitas Fotokatalis Plat pada Metilen Biru.....	24
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>26</b>
5.1 Sintesis TiO <sub>2</sub> .....	26
5.2 Karakterisasi Instrumn .....	27
5.2.2 DR UV-Vis .....	28
5.2.3 FTIR .....	31
5.3 Degradasi Metilen Biru .....	33
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>37</b>
6.1 Kesimpulan .....	37
6.2 Saran .....	37
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>38</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>44</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1</b> Pola XRD film lapis tipis TiO <sub>2</sub> murni dan TiO <sub>2</sub> Zn dopan .....	5
<b>Gambar 2</b> Transmittansi optik dari TiO <sub>2</sub> murni dan Zn-doping lapis tipis TiO <sub>2</sub> .....	8
<b>Gambar 3</b> Metode <i>Dip-coating</i> .....	11
<b>Gambar 4</b> Mekanisme Fotokatalis TiO <sub>2</sub> .....	12
<b>Gambar 5</b> Mekanisme Fotodegradasi .....	14
<b>Gambar 6</b> Struktur Metilen Biru .....	16
<b>Gambar 7</b> Diagram alat Spektrofotometer UV-Vis .....	17
<b>Gambar 8</b> Prinsip Kerja <i>X-Ray Diffraction</i> (Beiser, 1992) .....	19
<b>Gambar 9</b> Skema kerja dari alat FTIR .....	21
<b>Gambar 10</b> Pola XRD film lapis tipis TiO <sub>2</sub> murni (kuning), TiO <sub>2</sub> ditambah Zn 10% w/w dengan suhu kalsinasi 400 °C (biru), database TiO <sub>2</sub> anatase (merah) .....	27
<b>Gambar 11.a.</b> <i>Band Gap</i> TiO <sub>2</sub> Murni, <b>b.</b> Nilai <i>Band Gap</i> TiO <sub>2</sub> Zn 10% w/w suhu 300 °C, <b>c.</b> Nilai <i>Band Gap</i> TiO <sub>2</sub> Zn 10% w/w suhu 400 °C, <b>d.</b> Nilai <i>Band Gap</i> TiO <sub>2</sub> Zn 10% w/w suhu 400°C .....	30
<b>Gambar 12</b> Spektrum FTIR film lapis tipis TiO <sub>2</sub> murni (merah), TiO <sub>2</sub> ditambah Zn 10% dengan suhu kalsinasi 300 °C (kuning), 400 °C, (biru), dan 500 °C (hijau) .....	31
<b>Gambar 13</b> Fotokatalis TiO <sub>2</sub> terhadap senyawa metilen biru .....	33
<b>Gambar 14</b> Waktu (Jam) vs % Degradasi Metilen Biru 5 PPM .....	34
<b>Gambar 15</b> Waktu (Jam) vs % Degradasi Metilen Biru 10 PPM .....	35



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1</b> Parameter struktur dari TiO <sub>2</sub> murni dan TiO <sub>2</sub> doping Zn lapis tipis .....	7
<b>Tabel 2</b> Perbandingan Sifat dari Berbagai Bentuk Kristal TiO <sub>2</sub> .....	15
<b>Tabel 3</b> Energi Band Gap .....	29
<b>Tabel 4</b> Analisis FTIR TiO <sub>2</sub> Murni 300 °C dan Zn 10% 300 °C, 400 °C, 500 °C	32

# **SINTESIS LAPIS TIPIS TiO<sub>2</sub> DOPPING Zn 10% w/w SEBAGAI FOTOKATALIS METILEN BIRU MENGGUNAKAN METODE DIP-COATING**

## **INTISARI**

Ahmad Nabil Shahab

NIM 19612013

Pewarna organik, yang biasa digunakan di berbagai industri karena sifatnya yang memberi warna merupakan penyebab utama bencana ekosistem perairan ketika dilepaskan ke badan air karena sifatnya yang beracun dan karsinogenik. Metilen biru pewarna organik yang sering digunakan secara luas dan dibuang ke lingkungan. Berbagai metode telah dieksplorasi untuk menghilangkan metilen biru dari badan air, termasuk adsorpsi, bioremediasi, dan fotodegradasi. Titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) adalah fotokatalis yang umum karena tidak beracun, tidak larut, dan cocok untuk digunakan dalam kondisi gelap dan terang. Namun, nanopartikel TiO<sub>2</sub> cenderung menggumpal, membatasi penerapannya dalam proses fotokatalitik skala industri. Dengan demikian, film tipis TiO<sub>2</sub> lebih disukai karena integritas strukturalnya. Kinerja fotokatalitik film tipis TiO<sub>2</sub> bergantung pada faktor-faktor seperti ukuran kristal, doping, metode pengendapan, dan teknik pemrosesan. Penelitian ini menggunakan metode pelapisan celup sederhana untuk mensintesis film TiO<sub>2</sub> yang diolah dengan seng (Zn) untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitiknya. Kalsinasi pada temperatur yang berbeda selanjutnya mempengaruhi sifat film tipis. Hasilnya menunjukkan bahwa doping Zn dan suhu kalsinasi yang lebih tinggi berkontribusi terhadap berkurangnya celah pita pada film tipis TiO<sub>2</sub>, untuk TiO<sub>2</sub> murni (3,2 eV), untuk suhu 300 °C (3,19 eV), 400 °C (3,14 eV) dan 500 °C (3,03 eV) sehingga meningkatkan efisiensi fotokatalitiknya. Karakterisasi struktur melalui spektroskopi Difraksi Sinar-X (XRD) dan Fourier-Transform Inframerah (FTIR) memvalidasi transformasi fasa dan pembentukan fasa anatase yang lebih besar. Selain itu, degradasi fotokatalitik metilen biru menunjukkan bahwa lapisan tipis TiO<sub>2</sub> yang didoping Zn mengungguli TiO<sub>2</sub> murni, Untuk % degradasi kondisi optimum pada metilen biru 10 PPM adalah pada suhu 300 °C 5 jam (89,47%). Pada suhu 400 °C 5 jam (89,47%). Pada suhu 500 °C 5 jam (80,70%). Untuk % degradasi kondisi optimum metilen biru 5 PPM adalah pada suhu 300 °C 5 jam (85,71%). Pada suhu 400 °C 5 jam (83,33%). Pada suhu 500 °C 5 jam (83,3%) dengan efisiensi degradasi yang lebih tinggi pada waktu reaksi yang lebih lama. Penelitian ini menunjukkan bahwa film tipis TiO<sub>2</sub> yang didoping Zn yang disintesis melalui pelapisan celup dan kalsinasi memiliki potensi besar untuk menghilangkan pewarna organik secara efisien dari badan air.

**Kata kunci:** Lapisan tipis, TiO<sub>2</sub>, doping seng, fotokatalisis, degradasi metilen biru, penyempitan celah pita

# **SINTESIS LAPIS TIPIS TiO<sub>2</sub> DOPPING Zn 10% w/w SEBAGAI FOTOKATALIS METILEN BIRU MENGGUNAKAN METODE DIP-COATING**

## **ABSTRACT**

Ahmad Nabil Shahab

NIM 19612013

Organic dyes, commonly used in various industries for their coloring properties, are a major cause of aquatic ecosystem disasters when released into water bodies due to their toxic and carcinogenic nature. Methylene blue, an organic dye, is frequently used extensively and disposed of into the environment. Various methods have been explored to remove MB from water bodies, including adsorption, bioremediation, and photodegradation. Titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) is a common photocatalyst due to its non-toxic, insoluble nature, and suitability for use in both dark and light conditions. However, TiO<sub>2</sub> nanoparticles tend to agglomerate, limiting their application in industrial-scale photocatalytic processes. Therefore, thin TiO<sub>2</sub> films are preferred due to their structural integrity. The photocatalytic performance of thin TiO<sub>2</sub> films depends on factors such as crystal size, doping, deposition method, and processing technique. This study employs a simple dip-coating method to synthesize TiO<sub>2</sub> films processed with zinc (Zn) to enhance their photocatalytic activity. Subsequent calcination at different temperatures further affects the properties of the thin films. The results indicate that Zn doping and higher calcination temperatures contribute to a reduction in the band gap of the thin TiO<sub>2</sub> films, for pure TiO<sub>2</sub> (3.2 eV), at 300 °C (3.19 eV), 400 °C (3.14 eV), and 500 °C (3.03 eV), thereby enhancing their photocatalytic efficiency. Structural characterization through X-ray Diffraction (XRD) and Fourier-Transform Infrared (FTIR) spectroscopy validates phase transformation and the formation of larger anatase phase. Furthermore, photocatalytic degradation of methylene blue demonstrates that Zn-doped thin TiO<sub>2</sub> outperforms pure TiO<sub>2</sub>, with the optimum degradation percentage for 10 PPM methylene blue at 300 °C for 5 hours (89.47%). At 400 °C for 5 hours, it is 89.47%. At 500 °C for 5 hours, it is 80.7018%. For the optimum degradation percentage of 5 PPM methylene blue, it is at 300 °C for 5 hours (85.71%). At 400 °C for 5 hours, it is 83.33%. At 500 °C for 5 hours, it is 83.33%, with higher degradation efficiency at longer reaction times. This study demonstrates that Zn-doped thin TiO<sub>2</sub> films synthesized through dip-coating and calcination have significant potential for efficiently removing organic dyes from water bodies.

**Keywords:** TiO<sub>2</sub>, thin films, zinc doping, photocatalysis, methylene blue degradation, band gap narrowing.

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar belakang**

Kemajuan industri kimia pada abad ke-21, meskipun meningkatkan kualitas hidup jutaan orang, juga membawa pencemaran lingkungan antropogenik (Naidu dkk., 2021). Perairan di seluruh dunia telah tercemar oleh air limbah industri kimia yang dapat merusak kehidupan biologis dan akuatik (Krithiga dkk., 2022). Salah satu jenis polutan yang paling umum adalah pewarna organik yang dapat membawa bencana bagi ekosistem perairan (Tkaczyk, Mitrowska dan Posyniak, 2022). Pewarna organik merupakan senyawa organik aromatik yang menyerap cahaya dan banyak digunakan dalam industri tekstil, makanan, percetakan, obat-obatan, dan industri lainnya, terutama karena kemampuannya dalam memberikan warna permanen pada produk dan memberikan ketahanan terhadap serangan molekul (Khan dkk., 2020). Namun, pewarna organik bersifat racun dan karsinogenik jika dilepaskan ke perairan (Ismail dkk., 2019). Metilen biru adalah salah satu pewarna organik yang paling umum, dan penggunaan serta pelepasannya ke lingkungan tidak melambat (Tran dkk., 2021).

Berbagai metode diselidiki untuk menghilangkan metilen biru dari perairan, misalnya melalui adsorpsi dan presipitasi, bioremediasi, dan fotodegradasi (Khan dkk., 2022). Namun, teknologi saat ini yang menggunakan adsorpsi dan presipitasi dianggap tidak efisien dan mahal serta memiliki hambatan untuk diterapkan dalam skala besar, sementara bioremediasi bergantung pada ketersediaan spesies bakteri (Chen dkk., 2018; Bharti dkk., 2019; Jing dkk., 2022). Hasilnya, teknologi fotokatalitik menjadi pusat perhatian ilmiah karena ramah lingkungan, berbiaya rendah, dan mudah digunakan (Jadhav 2020; Ali Baig, Rathinam, Ramya 2021; Dhaneswara 2022).  $\text{TiO}_2$  adalah fotokatalis umum untuk degradasi metilen biru karena sifatnya yang relatif tidak beracun, tidak larut dalam larutan, aktif baik dalam kondisi gelap maupun terang, dan celah pita yang sesuai (Lakshmi, Renganathan, dan Fujita, 1995). Namun, nanopartikel  $\text{TiO}_2$  rentan terhadap aglomerasi dan dapat membentuk suspensi selama aplikasi (Kanakaraju dan

Chandrasekaran, 2023), sehingga penerapannya pada aplikasi fotokatalitik dalam lingkungan industri menjadi sulit. Dengan demikian, bentuk film tipis TiO<sub>2</sub> lebih disukai dalam aplikasi fotokatalis karena integritas strukturalnya.

Pewarna limbah yang paling umum digunakan adalah metilen biru, pewarna ini merupakan pewarna dasar yang penting dan juga harganya murah dibandingkan dengan pewarna lainnya. Metilen biru merupakan senyawa aromatik heterosiklik dengan rumus molekul C<sub>16</sub>H<sub>18</sub>N<sub>3</sub>SCl (Ansari dkk., 2011). Metilen biru merupakan senyawa yang umum digunakan untuk menguji kemampuan fotokatalitik karena mudah terfotodegrasi, tersedia Teknik analisis kualitatif dan kuantitatif sederhana seperti spektrofotometri. Metode fotodegradasi merupakan salah satu metode alternatif yang dikembangkan untuk meminimalkan kandungan zat warna pada limbah tekstil dengan menggunakan fotokatalis dan sinar *ultraviolet* karena zat warna tekstil merupakan zat warna sintetis yang tidak ramah lingkungan dan sulit terdegradasi secara alami. Selain itu, limbah pewarna tekstil harus diolah sebelum dibuang ke badan air karena pewarna tekstil bersifat racun dan karsinogenik (Ali,2008)

Pengolahan limbah tekstil selama ini diolah menggunakan proses adsorpsi. Namun, metode ini mempunyai selektivitas yang rendah, terutama untuk limbah cair yang kompleks (Fatimah dan Setiaji,2001). Metode adsorpsi juga memerlukan biaya yang sangat tinggi sehingga diperlukan metode lain yang dapat memperhatikan faktor efisiensi dan optimasi dalam pengolahan limbah batik cair. Sebagai alternatif, dikembangkan metode fotodegradasi dengan menggunakan bahan fotokatalisis. Metode fotodegradasi ini memecah pewarna dan polutan menjadi komponen yang lebih sederhana karena proses dekomposisi lengkap menghasilkan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O yang tidak berbahaya bagi lingkungan dan mengurangi koefisien regenerasi (Qodri, 2011). Sebagai alternatif untuk melakukan fotokatalis dengan metode *dip-coating* proses di mana sebuah substrat yang dicelupkan ke dalam larutan kemudian diangkat secara vertikal dengan kecepatan yang konstan. Larutan prekursor yang melengket pada substrat dan membentuk lapisan tipis karena pelarutnya akan menguap dan sebagian larutan akan turun karena adanya gaya gravitasi (Sanjaya dkk, 2013).

Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis lapisan film  $\text{TiO}_2$  yang terdopping Zn dapat lebih efektif dengan menggunakan metode *dip-coating* dan karakterisasinya menggunakan *X-ray diffraction* (XRD), *Fourier Transform InfraRed* (FTIR), *UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy* (UV-Vis DRS) dan Spektrofotometer UV-Vis serta menguji aktivitas katalis yang dihasilkan selama proses pengolahan metilen biru.

### **1.2 Perumusan masalah**

1. Bagaimana hasil karakterisasi  $\text{TiO}_2$  dengan mendopping Zn dapat digunakan dalam aplikasi fotokatalis?
2. Apakah senyawa metilen biru dapat didegradasi menggunakan metode *dip-coating* dengan lapis tipis  $\text{TiO}_2$ ?
3. Berapa persentase degradasi senyawa metilen biru dengan menggunakan metode *dip-coating* dengan lapis tipis  $\text{TiO}_2$ ?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

1. Mengetahui hasil karakterisasi  $\text{TiO}_2$  dengan mendopping Zn dalam pengeaplikasian fotokatalis.
2. mendegradasi senyawa metilen biru menggunakan metode *dip-coating* dengan lapis tipis  $\text{TiO}_2$ .
3. Mengetahui persentase degradasi senyawa metilen biru menggunakan metode *dip-coating* dengan lapis tipis  $\text{TiO}_2$ .

### **1.4 Manfaat penelitian**

Penelitian ini dapat menjadi sumber inovasi terbaru menggunakan lapisan film  $\text{TiO}_2$  terdopping Zn dengan metode *dip coating*,  $\text{TiO}_2$  udah terkenal sebagai semikonduktor yang memiliki untuk mengionisasi yang sangat tinggi kedalam limbah cair.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Fotokatalis Lapisan Tipis TiO<sub>2</sub> dengan metode *Dip-coating***

Fotokatalis lapisan tipis dengan lapisan Titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) pada plat kaca untuk eliminasi oksigen telah disiapkan melalui proses *dip-coating* menggunakan titanium alkoksida yang mengandung *polyethylene glycol* (PEG). Struktur permukaan dari lapisan tipis ini berubah drastis dengan ukuran PEG, yang dapat bersifat transparan atau opak. Aktivitas fotokatalis dari film lapis tipis yang transparan dan opak ternyata hampir sama, mungkin karena keduanya memiliki luas permukaan yang sama. Aktivitas tertinggi diperoleh pada lapisan tipis dengan ukuran sekitar 1 μm. (Nobuaki, 1998).

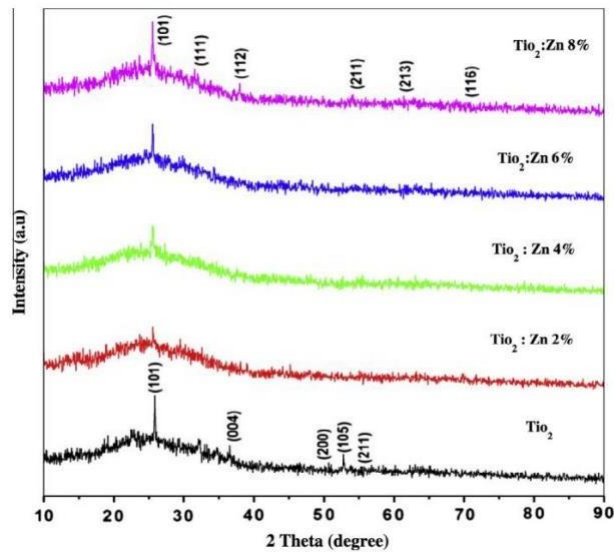
Film lapis tipis yang dihasilkan dapat bersifat transparan atau opak tergantung pada berat molekul polimer doping. Film tipis yang didoping dengan ukuran polimer yang lebih kecil bersifat transparan, sementara film yang didoping dengan PEG 1000 dan PEG 1500 bersifat opak. Transparansi film-film ini tidak menurun bahkan ketika jumlah kali pencelupan ditingkatkan, dan transmitansi film-film ini di wilayah terlihat sekitar 80%. Film-film tipis ini menghasilkan gelombang interferensi dalam spectra transmitansi, dan jumlah puncak interferensi meningkat dengan waktu pencelupan. Peningkatan jumlah puncak interferensi yang terbentuk berkaitan erat dengan ketebalan film (Takahashi, 1998).

Di sisi lain, pada penelitian ini tidak dapat mengamati perbedaan besar dalam aktivitas fotokatalitik dari film transparan dan opak. Oleh karena itu, pengukuran luas permukaan BET dari fotokatalisator film lapis tipis ini dilakukan. Luas permukaan spesifik TiO<sub>2</sub>-0, TiO<sub>2</sub>-300, TiO<sub>2</sub>-600, TiO<sub>2</sub>-1000, dan TiO<sub>2</sub>-1500 masing-masing adalah 112, 104, 118, 140, dan 93 m<sup>2</sup>/g. dipikirkan bahwa perbedaan kecil dalam aktivitas fotokatalitik antara film transparan dan opak terkait dengan luas permukaan spesifik. Namun, nilai-nilai tersebut lebih kecil daripada perbedaan yang diantisipasi dari perbedaan struktur permukaan dari film-film ini. Hal ini mengarah pada ide bahwa luas permukaan film opak dapat dikaitkan dengan struktur kompleks dalam daerah skala mikrometer, sementara

film lapis tipis transparan terdiri dari banyak kristal nanometer dan banyak pori memberikan luas permukaan yang besar (Takahashi, 1998).

## 2.2 Sifat fisik film tipis TiO<sub>2</sub> yang didoping Zn

Menurut A. Arunachalam dan teman temannya tahun 2014 membahas tentang sifat fisik film tipis TiO<sub>2</sub> yang didoping Zn 0, 2%, 4%, 6%, 8% yang di endapkan pada substrat 450 °C. Hasilnya menunjukkan bahwa semua film adalah polikristalin dengan struktur TiO<sub>2</sub> *anatase*.



**Gambar 1** Pola XRD film lapis tipis TiO<sub>2</sub> murni dan TiO<sub>2</sub> Zn dopan

Semua puncak difraksi sesuai dengan JCPDS no 21-1272. Film tipis TiO<sub>2</sub> murni menggambarkan fase tunggal yang tajam dari puncak anatase bidang (101). Spektrum film Zn- TiO<sub>2</sub> pada 2%. Peningkatan lebih lanjut dari seng 4% sebagai dopan, puncak yang sesuai dengan fase *anatase* TiO<sub>2</sub> meningkat tanpa munculnya fase sekunder seperti ZnTiO<sub>3</sub>. Oleh karena itu, diketahui bahwa pada 4% Zn cenderung menstabilkan orientasi sepanjang bidang (101) dan meningkatkan intensitas bidang (101). Efek Stabilisasi pada struktur kristal fase anatase ini menunjukkan peningkatan kristalinitas fase *anatase*. Puncak bidang (101) meningkat dengan peningkatan 6% seng yang dapat dikaitkan dengan pengaruh Zn<sup>2+</sup> ke dalam struktur kisi TiO<sub>2</sub>. Puncak lebih sempit dari bidang (101) pada 8% Zn menunjukkan bahwa film di orientasikan terutama sepanjang (101) arah



dan karena pengaruh kuat Zn artinya untuk setiap masing-masing doping Zn sel anatase  $Zn^{2+}$  menggantikan atom  $Ti^{4+}$  dan lainnya puncak (111), (112), (211), (213) dan (116). Namun, puncak dari puncak anatase  $TiO_2$  (101) menjadi lebih lebar dan lebih lemah dengan peningkatan konsentrasi Zn yang tidak ditunjukkan dalam pola XRD. Hal ini disebabkan oleh kurangnya susunan yang disebabkan oleh konsentrasi doping yang lebih tinggi dan juga perbedaan ukuran *ionic* antara  $Zn^{2+}$  dan  $Ti^{4+}$ . Ukuran kristal  $D$  dihitung menggunakan rumus *Scherrer*.

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

Dimana nilai  $k=0,9$ ,  $\lambda$  adalah Panjang gelombang yang digunakan (1,5405 Å),  $\beta$  adalah (FWHM) dalam radian, dan  $\theta$  adalah sudut bragg. Ukuran kristalit berkurang yang berkontribusi pada segregasi kinetik *dopan*, sedangkan ukuran kristalit dari film tipis Zn sebesar 4 dan 6% sedikit bervariasi. Hal ini dapat diatribusikan pada peningkatan pusat nukleasi yang dihasilkan akibat konsentrasi atom Zn yang lebih tinggi di permukaan. Regangan ( $\epsilon$ ) dan kepadatan dislokasi ( $\delta$ ) ditentukan dengan menggunakan hubungan:

$$\epsilon = \frac{\beta \cos \theta}{4} \quad (2)$$

Dimana  $\beta$  adalah FWHM dalam radian dan  $\theta$  adalah sudut *bragg*. Regangan pada film-film ini ditemukan meningkat yang mungkin disebabkan oleh proses kristalisasi dalam lapis tipis polikristalin. Kepadatan dislokasi didefinisikan sebagai Panjang garis dislokasi per unit volume kristal, dan perkiraannya dapat dihitung dari hubungan berikut menggunakan pendekatan sederhana Williamson dan Smallman:

$$\delta = \frac{1}{D^2} \quad (3)$$

Teramati bahwa ketika konsentrasi meningkat, kepadatan dislokasi juga meningkat, dan ini diatribusikan pada perbedaan ukuran *ionic* antara  $Ti^{4+}$  dan  $Zn^{2+}$ . Ini merupakan indikasi untuk kristalinitas yang lebih baik dari film dan dengan jelas menunjukkan peningkatan kristalinitas nanoskopik film pada film  $TiO_2$  yang didoping 8% Zn. Tegangan mikro dari film-film yang disiapkan dihitung menggunakan:

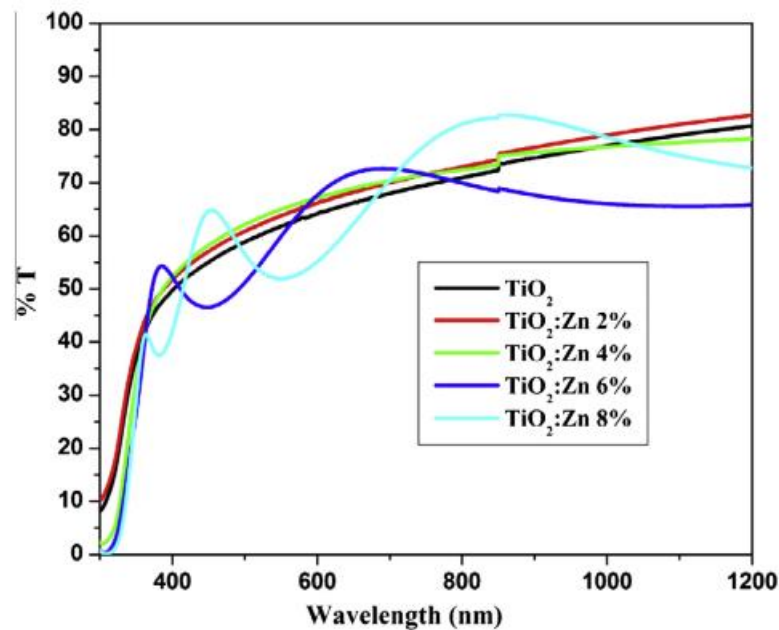
$$\sigma = \frac{s}{2} E \quad (4)$$

Dimana E adalah modulus Young dari material (287,76 Gpa), e adalah regangan film. Dari Tabel 1 terlihat bahwa nilai-nilai negative dari tegangan diperkirakan terdapat pada film didoping. Tanpa negatif menunjukkan bahwa film tersebut berada dalam tegangan kompresi. Pembentukan tegangan kompresi pada film ini diatribusikan pada perbedaan ukuran antara  $Ti^{4+}$  dan  $Zn^{2+}$ .

**Tabel 1** Parameter struktur dari  $TiO_2$  murni dan  $TiO_2$  doping Zn lapis tipis

Zn (%)	D (nm)	$s \times 10^{-3}$ (GPa)	$\delta \times 10^{14}$ lines/ $m^2$	$\sigma$
0	17,092	2,027	3,423	-4,396
2	29,9902	0,288	11,118	-1,753
4	12,7856	2,711	6,1172	-1,498
6	12,4909	2,775	6,4102	-1,429
8	4,9553	6,996	4,0429	-1,597
		3		

Gambar 2 menggambarkan spectra transmisi  $TiO_2$  murni dan  $TiO_2$  terdoping Zn dalam rentang panjang gelombang 300-1200 nm. Transmittansi pada wilayah terlihat untuk  $TiO_2$  murni melebihi 75%. Namun, dengan peningkatan transmittansi ini dikaitkan dengan pengkristalan yang baik dari film.



**Gambar 2** Transmittansi optik dari TiO<sub>2</sub> murni dan Zn-*doping* lapis tipis TiO<sub>2</sub>

### 2.3 Efek Doping Seng pada Aktivitas Fotokatalitik TiO<sub>2</sub>

Titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) yang terdoping dengan seng (Zn-TiO<sub>2</sub>) menggunakan metode *dip-coating* yang sederhana dan ekonomis. Tujuan penelitian ini untuk menguji *doping* seng pada aktivitas fotokatalitik TiO<sub>2</sub>.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa lapisan film tipis Zn-TiO<sub>2</sub> memiliki aktivitas fotokatalitik yang lebih baik dibandingkan dengan TiO<sub>2</sub> murni, dan konsentrasi doping optimal terletak pada 5%. Peningkatan aktivitas fotokatalitik ini disebabkan oleh meningkatkan efisiensi pemisahan pasangan *electron-hole* dan peningkatan luas permukaan film lapis tipis Zn-TiO<sub>2</sub>.

Penelitian ini, penulis mengevaluasi aktivitas fotokatalitik dari film tipis Zn-TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub> murni menggunakan metode degradasi rhodamin B dalam larutan air dengan cahaya matahari. Selain itu, penulis juga menganalisis karakteristik fisik dan struktur tipis Zn-TiO<sub>2</sub> menggunakan teknik seperti XRD, SEM, dan BET.

Selain itu, penulis juga menunjukkan bahwa metode *dip-coating* dapat digunakan untuk membuat film lapis tipis Zn-TiO<sub>2</sub> dengan aktivitas fotokatalitik yang tinggi secara efektif dan efisien. Film lapis tipis Zn-TiO<sub>2</sub> yang dihasilkan juga memiliki struktur dan karakteristik fisik yang diinginkan, seperti morfologi

permukaan yang homogen dan luas permukaan yang lebih besar.

Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan teknologi fotokatalitik, khususnya dalam penggunaan  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{Zn-TiO}_2$  untuk aplikasi fotokatalitik. Metode *dip-coating* yang digunakan dalam penelitian ini juga menunjukkan potensi untuk digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti remediasi lingkungan, penyaringan air, dan koversi energi surya. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa  $\text{Zn-TiO}_2$  yang disiapkan melalui metode *dip-coating* adalah kandidat yang menjanjikan untuk digunakan dalam aplikasi fotokatalitik karena aktivitas fotokatalitik yang lebih tinggi dibandingkan dengan  $\text{TiO}_2$  murni dan metode yang digunakan untuk membuatnya cukup sederhana dan efektif.

## **BAB III DASAR TEORI**

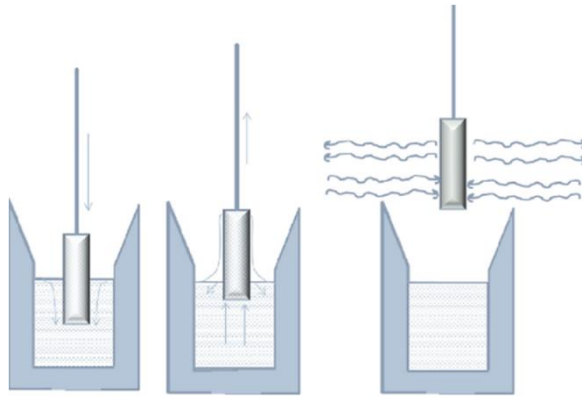
### **3.1 Metode *Dip-coating***

Metode *dip-coating* adalah metode pelapisan dengan prinsip merendam bahan ke dalam larutan dengan prekursor tertentu untuk mendapatkan lapisan tipis sebagai pelapis bahan. Dalam lapisan celup proses, ketika substrat perlahan ditarik dari larutan, penguapan sisa-sisa larutan yang menempel pada substrat terjadi, sehingga partikel-partikel yang terdapat dalam larutan mengendap pada substrat. Dalam proses ini, kecepatan tarik memiliki peran penting dalam menentukan ketebalan lapisan yang dihasilkan. Penambahan pengaturan kecepatan saat substrat ditarik akan memudahkan proses mendapatkan ketebalan variasi berdasarkan variasi perlakuan kecepatan yang diberikan. Ketebalan lapisan tergantung pada kecepatan pada yang substratnya ditarik, tetapi tidak sama untuk berbagai jenis larutan, tergantung pada larutan dan jenis prekursor yang digunakan (Scriven, 1988).

Metode *dip-coating* cara yang sederhana untuk pengendapan lapis tipis cairan untuk pematangan ke dalam pelapisan. Mekanisme yang diperlukan untuk menarik jaringan yang terus menerus dengan kecepatan yang konstan. Larutan dengan area terbuka yang cukup besar dapat digunakan sehingga sensor dan pengontrol aliran bersama dengan pengaturan pemompaan yang murah cukup untuk mengisi kembali cairan pelapis. Di dalam proses *batch*, bejana silindris berdinding halus dari bahan yang sesuai dapat digunakan sehingga permukaan terbuka, atau meniskus, turun tanpa mengubah bentuk saat cairan diendapkan pada saat substrat ditarik dengan zat terlarut yang mudah menguap dan penguapan yang terkontrol secara memadai, film tipis dapat dipadatkan selama pelapisan (Scriven, 1988).

Namun, ada komplikasi terhadap sirkulasi cairan yang tidak dikontrol di dalam *batch*, sehingga cairan yang terlapis telah berada di sana dalam waktu yang bervariasi. konsekuensi lainnya adalah bahwa aliran pada lapisan batas pada substrat yang bergerak dan pada zona pembentukan film mengalami fluktuasi yang dapat menyebabkan variasi lokal yang tidak dapat diterima pada ketebalan lapisan film. permukaan *batch* yang terbuka seperti *drumhead*, sehingga merespons gangguan dengan riak yang mengalir ke zona pembentukan film dengan efek yang serupa.

selama *thin film* yang dilapisi tetap cair dan mempertahankan orientasi vertikal, film akan mengalami kendur, amplikasi variasi karena film yang lebih tebal mengalir lebih cepat daripada yang lebih tipis. Oleh karena itu, untuk mencapai kualitas yang diinginkan dalam aplikasi mungkin memerlukan peningkatan mekanisme penggerak dan pengaturan pengisian ulang, mengurangi atau mengisolasi sumber lain dari getaran mekanis dan akustik (Scriven, 1988).



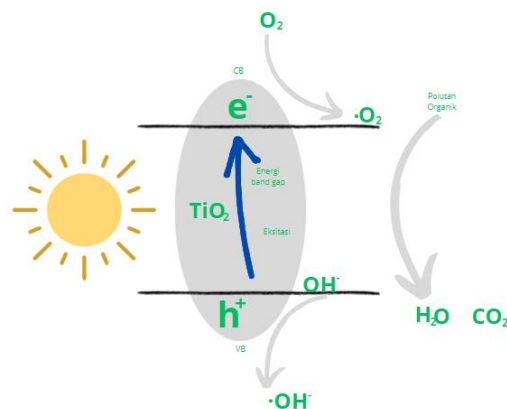
**Gambar 3** Metode *Dip-coating*

Pada proses penarikan cairan mengalir dari ujung dan diperlambat dalam pengembangan gaya tarik sehingga dapat berkontribusi dengan baik pada efek akhir. dibawah miniskus yang melengkung cembung di tepi, resultan tegangan permukaan meningkatkan tekanan dalam cairan dan menyebabkannya mengalir keluar, sehingga film yang diendapkan segera tertipis di tepi tersebut. Selain itu, potongan harus naik melalui jarak tertentu sebelum aksi kental mempercepat cairan yang berdekatan sehingga gaya seret kental mendekati keadaan diamnya. dan bahkan saat cairan dipercepat ke atas oleh aksi viskositas, gravitasi mengalirkannya ke bawah relatif terhadap permukaan substrat kecuali jika pengeringan mengonsentrasikan *non volatil* dan menahan aliran, Tindakan *drainase* ini segera mempengaruhi lebih banyak film yang diendapkan daripada efek akhir penyalaan. lapisan film yang diendapkan sangat tipis di tepi, di depan, tetapi menebal pada jarak tertentu mengikuti profil parabola ke film pengendapanterus menerus. Setelah gaya seret kental mencapai nilai penuh, ketebalan film yang di endapkan diatur oleh persaingan gaya dalam keadaan yang sama seperti pada lapisan yang sepenuhnya kontinu tahap drainase muncul pertama kali di ujung di bagian atas substrat, untuk seorang pengamat yang bergerak dengan substrat, gravitasi mengalirkan cairan kearah larutan (Scriven, 1988).

### 3.2 Fotokatalis TiO<sub>2</sub>

Titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) merupakan salah satu fotokatalis yang memiliki banyak keunggulan dibandingkan fotokatalis lainnya, antara lain stabilitas kimia, konduktivitas, serapan cahaya, indeks refraksi, sifat optik. Selain itu TiO<sub>2</sub> bersifat tidak beracun dan ekonomis (Widianur, 2020). Saat ini banyak penerapan TiO<sub>2</sub>, antara lain dalam produksi cat, pasta gigi, sensor kimia, tabir surya, sel surya, fotokatalis, optic, dan elektronik (Rahmawati, dkk., 2020).

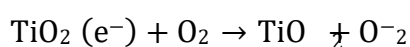
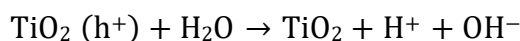
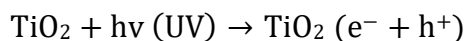
Saat ini TiO<sub>2</sub> juga banyak digunakan dalam pengolahan limbah. Selama pengolahan limbah, reaksi yang melibatkan TiO<sub>2</sub> adalah fotooksidasi dan fotoreduksi. Limbah seringkali mengandung polutan organik dan anorganik yang dapat diolah melalui reaksi oksidasi dan reduksi. fotokatalis menyediakan reaksi oksidasi dan reduksi yang diinisiasi oleh cahaya, terutama cahaya UV. Keuntungan penggunaan fotokatalis adalah tidak perlu menggunakan bahan kimia pengoksidasi atau pereduksi tambahan (Riyani, dkk.,2012).



**Gambar 4** Mekanisme Fotokatalis TiO<sub>2</sub>

Gambar 4 Mekanisme fotokatalis TiO<sub>2</sub> (Ibhadon dan Fitzpatrick., 2013)

Mekanisme reaksi dari fotokatalis TiO<sub>2</sub> seperti berikut:

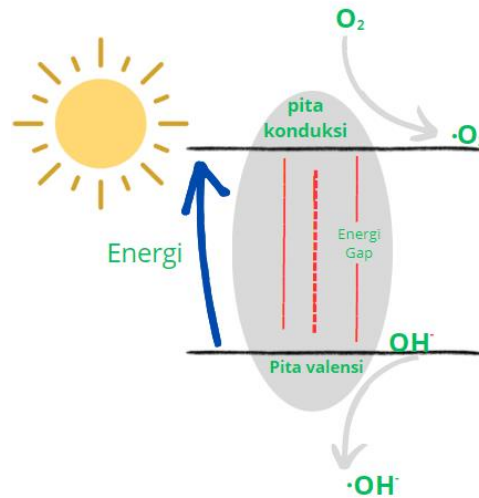


### 3.3 Fotodegradasi

Fotodegradasi yaitu proses penguraian senyawa organik menggunakan energi foton dan radiasi sinar UV, sehingga menjadi molekul yang lebih sederhana. Senyawa yang digunakan dalam metode ini adalah senyawa fotokatalis (Rahma, 2018). Fotodegradasi zat warna dapat dilakukan dengan bahan fotokatalis dan radiasi ultraviolet (UV) (Saraswati, dkk., 2015). Fotodegradasi adalah proses peruraian suatu senyawa (biasanya senyawa organik) dengan bantuan energi foton. Proses fotodegradasi memerlukan suatu fotokatalis, yang umumnya merupakan bahan semikonduktor (Maldotti, 2000). Prinsip metode ini adalah proses oksidasi dalam senyawa pewarna. Salah satu keuntungan dari degradasi dengan fotokatalis yaitu tidak memerlukan tambahan untuk produk degradasi. Fotodegradasi terjadi saat ada perbedaan energi cahaya yang dipancarkan dan energi pada celah pita (Gautam, 2020). Mekanisme reaksi pada proses degradasi fotokatalis adalah cahaya diserap oleh fotokatalis menghasilkan eksiton tereksitasi (pasang  $e^-/H^+$  lubang elektron), eksiton memasuki fotokatalis dan terpisah untuk menghasilkan  $e^-$  dan  $H^+$  situs fotoaktif, dan elektron lepas atau situs aktif  $H^+$  (Annisaputri, 2020).

Prinsipnya adalah jika katalis semikonduktor terkena cahaya dengan energi yang lebih tinggi, maka elektron ( $e^-$ ) pada pita valensi akan tereksitasi ke rangkaian pita konduksi dan akan meninggalkan *hole* ( $h^+$ ) pada pita valensi. *hole* ( $h^+$ ) akan berinteraksi dengan  $H_2O$  dan  $OH^-$  yang berada pada permukaan katalis membentuk radikal ( $OH$ ) yang bersifat sebagai oksidator kuat. elektron  $e^-$  akan beraksi dengan  $O_2$  yang beradapada katalis membentuk radikal superoksida ( $O_2^-$ ) yang bersifat sebagai reduktor. oksidator dan reduktor tersebut menyerang zat warna metilen biru sehingga menghasilkan  $CO_2$  dan  $H_2O$  serta beberapa asam dengan konsentrasi yang rendah (Batista, dkk., 2010).





**Gambar 5** Mekanisme Fotodegradasi

### 3.4 TiO<sub>2</sub>

TiO<sub>2</sub> (Titanium dioksida) adalah bahan semikonduktor yang banyak dipelajari karena sifat optik dan elektroniknya yang baik (Zhan,2015). Selain itu, bahan ini telah diakui sebagai salah satu fotokatalis utama karena menunjukkan stabilitas jangka panjang, kemampuan oksidasi yang kuat, biaya rendah, dan tidak beracun (Shabani, 2016). Oleh karena itu, material ini menunjukkan kinerja yang baik dalam berbagai aplikasi tingkat lanjut (Bai, 2014), sel surya (Susanti, 2014), fotokatalis (Nakata, 2012) serta produk Kesehatan (Karkare, 2014).

Titanium dioksida, dikenal juga sebagai titanium (IV) oksida atau titania adalah oksida dari titanium dengan rumus molekul TiO<sub>2</sub>, mempunyai berat molekul 79,90 g/mol, densitas 4,26 g/cm<sup>-3</sup>, TiO<sub>2</sub> tidak menyerap cahaya tampak tetapi mampu menyerap radiasi UV sehingga dapat menyebabkan terjadinya radikal hidroksil pada pigmen sebagai fotokatalis, terhidrat yang selanjutnya dikalsinasi pada 800 °C (Rahmawari, dkk., 2008).

TiO<sub>2</sub> merupakan kristal yang berwarna putih dengan titik lebur 1855 °C dan indeks bias sangat tinggi. Kristal TiO<sub>2</sub> tidak larut dalam air, asam klorida, asam nitrat, asam sulfat encer dan alkohol tapi dapat larut dalam asam sulfat pekat dan asam fluoride (Abdullah, 2011).

Salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja TiO<sub>2</sub> sebagai fotokatalis adalah bentuk kristalnya (Tjahjanto, 2001). Katalis TiO<sub>2</sub> memiliki 3 jenis struktur kristal

yaitu *anatase*, *rutile* dan *brookite*. Struktur kristal *brookite* sulit untuk dipreparasi sehingga secara umum hanya struktur kristal *rutile* dan *anatase* yang menunjukkan reaktivitas lebih baik dari segi reaktivitas dibandingkan dengan struktur *rutile* (su,2004). Struktur *anatase* adalah bentuk yang paling sering digunakan karena memiliki luas permukaan serbuk yang lebih besar dan ukuran partikel yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur *rutile* dan struktur ini terjadi dalam kisaran suhu dekomposisi senyawa titanium (400-650 °C). Selain itu, *band gap* energi *anatase* lebih besar dibandingkan dengan *rutile* sehingga memiliki aktivitas fotokatalitik yang tinggi (Licciuli L,2002).

Menurut Othomer, 1997 tentang perbandingan sifat dan berbagai bentuk kristal TiO<sub>2</sub> dapat dilihat dalam Tabel 2.

**Tabel 2** Perbandingan Sifat dari Berbagai Bentuk Kristal TiO<sub>2</sub>

Sifat	Anatase	Brookite	Rutile
Bentuk Kristal	Tetragona	Orthorombi	Tetragonal
	l	k	
Band gap, eV	3,25	3,05	Tidak tersedia
Banyaknya TiO <sub>2</sub> / unit sel	4	8	2
Volume per TiO <sub>2</sub> , nm <sup>3</sup>	0,03407	0,03211	0,031222
Massa jenis teoritis, kg/m <sup>3</sup>	3895	4133	4250
Tingkat kekerasan, skala Moh	5,5-6	5,5-6	7-7,5

Keunggulan TiO<sub>2</sub> antara lain stabilitas yang tinggi, ketahanan terhadap korosi, ketersediaan yang melimpah di alam, dan harga yang relatif murah (Radecka, 2008).

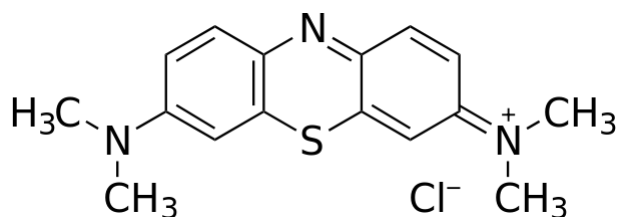
Secara structural, TiO<sub>2</sub> mempunyai tiga fasa kristal yaitu *anatase*, *rutile*, dan *brookite*. *anatase* dan *rutile* memiliki struktur kristal tetragonal, sedangkan *brookite* memiliki struktur kristal orthorhombic. Fasa *anatase* dan *brookite* merupakan fasa metastabil mudah berubah menjadi fasa *rutile* ketika dipanaskan (Myint, 2017). Fasa *anatase* stabil pada suhu dibawah 800 °C, di atasnya akan terbentuk fasa *rutile* (Saini, 2007). Secara umum fasa *anatase* lebih stabil dibandingkan fasa *rutile* dengan ukuran partikel mencapai 14 nm (Zhang, 2000). Nilai energi *band gap* TiO<sub>2</sub> pada fasa *anatase* sebesar 3,2 eV, sedangkan pada fasa *rutile* sebesar 3,0 eV (Yao, 2009).

### 3.5 Polyethylene Glycol

PEG merupakan molekul sederhana dengan struktur molekul linier atau bercabang, polieter netral, dan memiliki beberapa variasi bobot molekul. PEG memiliki sifat larut di dalam air dan larut pada beberapa pelarut organik antara lain toluen, metil klorida, etanol dan aseton (Harris, 1992; Amiyati, 2016). PEG tidak beracun dan tersedia dalam berbagai bentuk tergantung pada beratmolekulnya. PEG 400 berbentuk cair, PEG 1.000 – 1.450 berbentuk padatan lunak dan PEG 3.350 – 14.000 berbentuk bubuk (Rahardjo, 1986; Effendi, 2008). Penambahan PEG sebagai aditif dalam produksi membran dapat menyebabkan terbentuknya pori-pori pada permukaan membran. Semakin banyak PEG yang ditambahkan, maka semakin besar ukuran pori-pori yang terbentuk pada membran (Utomo, dkk., 2014).

### 3.6 Metilen Biru

Salah satu pewarna yang umum digunakan adalah metilen biru. Rumus kimia metilen biru  $C_{16}H_{18}N_3SCl$  merupakan senyawa hidrokarbon aromatik toksik dan pewarna kationik dengan kapasitas adsorpsi yang sangat kuat. Metilen biru umumnya digunakan sebagai pewarna kertas, tekstil, sutra, wool, kosmetik dan peralatan kantor. Senyawa ini mempunyai bentuk kristal berwarna biru tua dan bila dilarutkan dalam air atau alkohol menghasilkan larutan berwarna biru (Maddu, dkk., 2009). Senyawa metilen biru memiliki berat molekul sebesar 319,86 g/mol, daya larut sebesar  $4,36 \times 10^4$  mg/L dan titik lebur sebesar  $105^\circ C$  (Christina dkk., 2017).



**Gambar 6** Struktur Metilen Biru

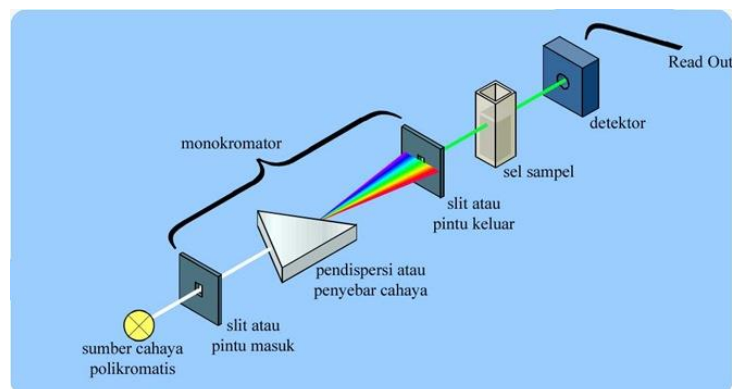
Senyawa metilen biru sebenarnya bukanlah senyawa yang berbahaya, namun seperti bahan kimia lainnya dalam dosis yang tinggi maka akan menimbulkan efek yang berbahaya bagi lingkungan dan manusia. Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup khususnya Kep 51/MELH/10/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair, konsentrasi maksimum senyawa metilen biru yang diperbolehkan yaitu 5-10 mg/L (Handayani, dkk., 2015). Efek terburuk dari metilen biru pada manusia yaitu dapat menyebabkan iritasi pada kulit jika terpapar dan iritasi saluran cerna jika tertelan. Senyawa ini juga dapat menyebabkan peningkatan detak jantung, mual,

munntah, sianosis, nekrosis, tetraplegia, dan icterus (Hikmawati, 2018). Selain itu, dampak buruk metilen biru terhadap lingkungan adalah apabila suatu perairan tercemar oleh metilen biru, penetrasi sinar matahari terhambat, dan ekosistem terganggu karena kekurangan oksigen terlarut. (Baunsele dan Missa, 2020).

### 3.6 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis adalah salah satu metode instrument yang paling sering diterapkan dalam analisis kimia untuk mendeteksi senyawa (padat/cair) berdasarkan absorbansi foton. Agar sampel dapat menyerap foton pada daerah UV-Vis (Panjang gelombang foton 200 nm-700 nm), biasanya sampel harus diperlakukan atau derivatisasi, misalnya penambahan reagen dalam pembentukankompleks dan lain sebagainya (Irawan, 2019). Pengukuran panjang gelombang danabsorbansi analit menggunakan alat spektrofotometer yang melibatkan energi elektronik yang cukup besar pada molekul yang dianalisis (Day & Underwood, 2022). Transisi elektron molekul memengaruhi proses penyerapan radiasi ultraviolet. Molekul yang memerlukan lebih banyak energi untuk transisi elektron, akan menyerap pada panjang gelombang yang lebih pendek (Amiruddin, 2013).

Menurut (Neldawati, 2013) prinsip kerja spektrofotometer UV-Vis adalah ketika cahaya putih atau radiasi melewati larutan, maka radiasi dengan panjang gelombang tertentu akan diabsorpsi dan juga di transmisikan. Perbandingan antara intensitas cahaya yang diserap dan intensitas cahaya yang akan datang menghasilkan serapan. Semakin tinggi konsentrasi suatu zat dalam sampel, maka semakin banyak molekul yang menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu, sehingga semakin besar nilai serapannya.



**Gambar 7** Diagram alat Spektrofotometer UV-Vis

Prinsip kerja Spektrofotometer juga didasarkan pada hukum *Lambert-Beer*, yaitu seberkas cahaya melewati suatu larutan dengan panjang gelombang tertentu, kemudian Sebagian sinar tersebut sebagian diteruskan dan sebagian sisanya diserap oleh larutan. Besarnya sinar ( $A$ ) sebanding dengan konsentrasi zat penyerap ( $C$ ) dan jarak yang ditembuh sinar ( $a$ ) dalam larutan, serta ketebalan larutan ( $b$ ).

Berdasarkan hukum *Lambert-Beer*, rumus yang digunakan untuk menghitung banyaknya cahaya yang dihamburkan:

$$T = \frac{I_t}{I_0} \text{ atau } \%T = \frac{I_t}{I_0} \times 100\% \quad (5)$$

dan absorbansi dinyatakan dengan rumus:

$$A = -\log T = -\log \frac{I_t}{I_0} \quad (6)$$

Dimana  $I_0$  merupakan intensitas cahaya datang dan  $I_t$  atau  $I_1$  adalah intensitas cahaya setelah melewati sampel. Hukum *beer* dapat ditulis sebagai:

$$A = a \cdot b \cdot C \quad (7)$$

Keterangan:

$A$  = Serapan (absorbans)

$C$  = Konsentrasi

$a$  = Koefisiensi serapan spesifik

$b$  = Tebal larutan

Secara eksperimental hukum *Lambert-beer* akan terpenuhi apabila peralatan yang digunakan memenuhi kriteria-kriteria berikut:

1. Cahaya datang atau cahaya yang jatuh pada sampel adalah cahaya dengan panjang gelombang tunggal (monokromatis).
2. Penyerapan cahaya oleh suatu molekul yang ada di dalam larutan tidak dipengaruhi oleh molekul yang lain dalam larutan.
3. Penyerapan terjadi pada volume larutan yang luas penampang (tebal kuvet) yang sama.
4. Penyerapan tidak menghasilkan emisi.
5. Indeks reflektansi suatu larutan tidak bergantung pada konsentrasi, hukum *lambert-beer* tidak berlaku untuk larutan dengan konsentrasitinggi (Riyanto, 2009).

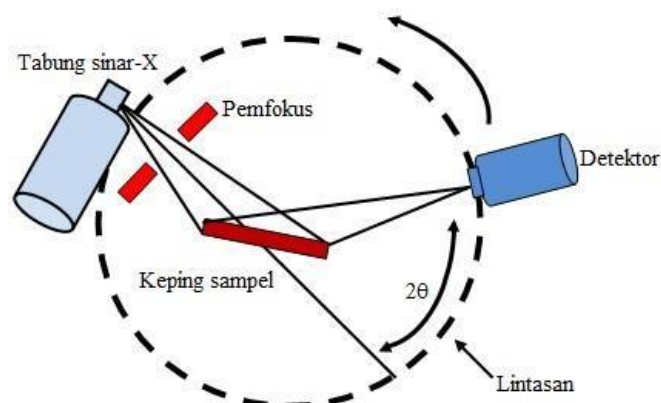
### 3.7 X-ray Diffraction (XRD)

Difraksi sinar-X adalah salah satu metode standar terpenting untuk karakterisasi material. Sampai saat ini, metode difraksi sinar-X digunakan untuk memperoleh informasi tentang struktur kristal logam dan paduan, mineral, polimer, bahan organik,

superkonduktor (Suharyana, 2012), konstanta kisi, dll. Sinar-X adalah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang 400 hingga 800 nm (Smallman, 1999). XRD memberikan data kuantitatif mengenai difraksi dan intensitas difraksi pada sudut-sudut material. Data XRD yang diperoleh adalah intensitas difraksi sinar-X yang terdifraksi dan sudut  $2\theta$ . Setiap pola yang muncul pada pola XRD mewakili bidang kristal dengan orientasi tertentu (Widyawati, 2012).

Prinsip kerja umum XRD adalah XRD terdiri dari tiga bagian utama, yaitu tabung sinar-X, objek sampel dan detektor sinar-X yang berisi katoda yang memanaskan filamen sehingga menghasilkan elektron. Perbedaan tegangan menyebabkan elektron mengalami percepatan untuk menembak objek. Ketika elektron memiliki tingkat energi yang tinggi dan bertabrakan dengan elektron ada pada suatu benda sehingga sinar-X diproduksi. Objek dan detektor berputar untuk menangkap dan mencatat intensitas sinar X yang dipantulkan. Detektor merekam dan memproses sinyal sinar-X dan memprosesnya secara grafis.

Sinar X diproyeksikan ke arah sampel kemudian terdifraksikan ke segala arah sesuai hukum *Bragg*. Detektor bergerak dengan kecepatan sudut konstan untuk mendeteksi sinar sampel yang didifraksi. Sampel serbuk ataupun kristal memiliki bidang kisi yang tersusun secara acak dengan berbagai kemungkinan orientasi, seperti butiran kristal yang dikandungnya. Setiap kumpulan bidang dalam susunan mempunyai sudut orientasi tertentu, sehingga difraksi sinar-X memenuhi hukum *Bragg*.



**Gambar 8** Prinsip Kerja X-Ray Diffraction (Beiser, 1992)

Prinsip kerja dari instrument XRD adalah dengan menerapkan prinsip *Bragg* yang artinya perbedaan lintasan berkas difraksi sinar-X harus kelipatan panjang gelombang dengan menggunakan rumus seperti berikut:

$$N\lambda = d \sin \theta \quad (8)$$

dengan,

$\lambda$  = Panjang gelombang sinar-X

d = jarak antara bidang kristal

$\theta$  = sudut difraksi

Pola difraksi yang dihasilkan berisi informasi tentang rangkaian puncak atau *peak* difraksi dengan intensitas relatif sepanjang nilai  $2\theta$  dalam rentang yang telah ditentukan. Intensitas relatif puncak bergantung pada jumlah atom dan distribusinya dalam material (Sumari, dkk., 2020).

### 3.8 UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS)

Pada umumnya UV-Vis *Diffuse Spectroscopy* atau UV-Vis DRS digunakan untuk mengukur energi celah pita. *Diffuse Reflectance-UV* (DR-UV) dilakukan untuk mengetahui besarnya celah energi yang dihasilkan oleh semikonduktor yang disintesis. *Band gap* adalah celah energiantara pita valensi yang diisi elektron dan pita konduksi tanpa elektron. Perbedaan harga energi dalam semikonduktor sangat penting karena mempengaruhi kinerja semikonduktor dalam aliran elektron dan *hole*. Jika kesenjangan energi terlalu kecil, elektron akan berpindah dari pita valensi ke pita konduksi sehingga electron kurang bebas, Sebaliknya, celah energi yang terlalu besar akan menghambat loncatan elektron sehingga aliran elektron akan terhambat. Alat yang digunakan adalah Spektrofotometer UV-Vis. Analisis menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dilakukan dengan rentang panjang gelombang 200 nm hingga 800 nm, pembacaan dari analisis ini adalah absorbansi dan panjang gelombang. Metode DRS didasarkan pada pengukuran intensitas UV-Vis yang dipantulkan oleh sampel. Alasan untuk metode ini cukup sederhana adalah jika bahan yang disinari dengan gelombang elektromagnetik, foton akan diserap oleh elektron dalam suatu material (Abdullah, 2009).

Ketika cahaya menyinari suatu material, sebagian cahaya akan diserap, dipantulkan, dan ditransmisikan. Pada dasarnya ada tiga proses interaksi antara foton dan elektron dalam bahan, yaitu penyerapan, emisi spontan dan emisi yangterimbas. energi setiap foton atau sinar dapat ditulis sebagai:

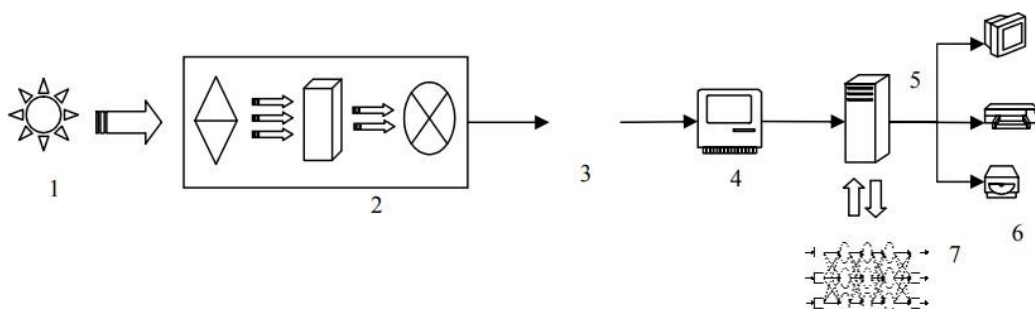
$$E = hv = h \frac{v}{\lambda} \quad (9)$$

Ketika semikonduktor disinari, foton diserap dan pasangan *electron-hole* (a) terbentuk, jika keadaan yang terjadi adalah  $hv = E_g$ . Ketika  $hv > E_g$  maka terbentuk pasangan elektron *hole* dan kelebihan energi yang tidakterpakai ( $hv = e_g$ ) diubah

menjadi panas (b). proses (a) dan (b) adalah transisi intrinsik (band a band transition). Ketika  $h\nu < e_g$  maka foton akan diserap, jia ada keadaan energi di celah terlarang karena adanya cacat, transisi elektrinsik terjadi (c). proses adsorpsi foton menyebabkan elektron berpindah dari pita valensi ke pita konduksi di mana energi foton harus sama dengan atau lebih besar dari celahenergi, dengan frekuensi  $\nu$  sesuai dengan tepi serapan (Putri, 2018).

### 3.9 FTIR

*Fourier Transformed InfraRed* (FTIR) merupakan salah satu metode standar yang digunakan untuk mendeteksi struktur molekul senyawa dengan mengidentifikasi gugus fungsi penyusun senyawa tersebut (Palebangan, 2020). FTIR merupakan metode spektroskopi yang didasarkan pada getaran suatu molekul dan merupakan suatu metodeyang mengamati interaksi dengan radiasi elektromagnetik pada daerah bilangan gelombang 10-13.000  $\text{cm}^{-1}$ . Instrumen ini berfokus pada rentang frekuensi 400-4000  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan ukuran suatu unit untuk frekuensi (Silverstein, 2002).Prinsip kerja dari instrument ini adalah adanya interaksi antara materi dengan energi. Instrumen spektroskopi FTIR akan menghasilkan sebuah berkas radiasi inframerah yang dipancarkan dari benda hitam. Radiasi inframerah tersebut kemudian akan dilanjutkan melewati interferometer (celah) menuju sampelsehingga terjadi pengkodean spectral. Celah ini berfungsi sebagai pengontrol jumlah energi yang akan berikatan dengan sampel. Sampel yang menyerap akanmenciptakan interferensi konstruktif dan destruktif yang disebut denganinterferogram. Kemudian, detector mengukur sinyal interferogram khusus dalamenergi versus waktu semua frekuensi secara bersamaan. Sinyal yang terukur laludikirim ke computer untuk kemudian direkam dengan perangkat lunak computer transformasi Fourier (Novianti, 2021).



**Gambar 9** Skema kerja dari alat FTIR



### 3.10 Hipotesis penelitian

Penelitian ini dilakukan sintesis  $\text{TiO}_2$  dari  $\text{TiCl}_3$  dengan metode *Dip-coating* menggunakan seng (Zn) sebagai doping. Adapun beberapa yang diharapkan dari penelitian ini yaitu:

1. Dengan adanya doping Zn dapat meningkatkan proses fotodegradasi metilen biru.
2. Serta proses kalsinasi dengan variasi suhu  $300^\circ\text{C}$ ,  $400^\circ\text{C}$ ,  $500^\circ\text{C}$  dengan waktu selama 1 jam diharapkan dengan variasi suhu kalsinasi dapat diketahui kondisi optimum fotokatalis dengan metode *dip-coating* dalam mendegradasi metilen biru dengan variasi suhu kalsinasi band gap menurun atau menaik.

## **BAB IV METODE PENELITIAN**

### **4.1 Alat dan Bahan**

#### **4.1.1 Alat**

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu oven RIO OV-30, alat *dip-coating* Daiko Scientific SC-DC 03, *Digital ultrasonic cleaner*, *magnetic stirrer* (IKA C-MAG HS 7), timbangan analitik (Osuka FA 1004e), alat gelas, spatula, pengaduk kaca, *tweezer*, *glove oven*, *Stopwatch*, *X-ray diffraction* (XRD), Spektrofotometer UV-Vis *Double beam* Hitachi U-2900, *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (DR UV-Vis), desikator, *petridish*, botol vial, kaca arloji, cawan porselin.

#### **4.1.2 Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu Etanol (Merck KG2aA,64271 Darmstadt CAS-No: 64-17-5), *Poliethylene glycol* (PEG) 400 (Merck KG2aA,64271 Darmstadt CAS-No=25322-68-3), Titanium (III) Clhoride ( $TiCl_3$ ), *zinc sulfate heptahydrate* (Merck KG2aA,64271 Darmstadt CAS-No:7446-20-0), larutan  $H_2SO_4$  (Merck KG2aA,64271, No: 016-020-00-8), plat kaca, aquabides, larutan  $H_2O_2$ , metilen biru, aseton.

### **4.2 Cara kerja**

#### **4.2.1 Preparasi Plat Kaca**

Mengething plat kaca dengan larutan piranha  $H_2SO_4$ :  $H_2O_2$  (3:1) (75mL:25mL) dilakukan didalam lemari asam (dengan cara meneteskan  $H_2O_2$  secara perlahan). Ditunggu hingga dingin. Lalu direndam plat kaca didalam larutan piranha  $\pm$  10-15 menit, ditandai dengan adanya gelembung pada plat kaca. Diangkat plat kaca menggunakan *tweezer* dari larutan piranha, dibilas dengan menggunakan aquades. Selanjutnya dimasukan kedalam *ultrasonic cleaner* untuk menghilangkan residu selama 5 menit. Dimasukkan kedalam oven dengan suhu  $100^\circ C$  selama 15 menit. Plat kaca siap untuk di *dip-coating*.

#### **4.2.2 Pembuatan Larutan Prekursor**

Pertama, membuat larutan awal untuk proses pelapisan pada plat kaca, disiapkan gelas beaker 50 mL, lalu dimasukkan  $TiCl_3$  (Titanium (III) Clhoride)

sebanyak 8 mL, *Polyethylene Glycol* 400 8mL, dan etanol 29 mL. selanjutnya dihomogenkan menggunakan magnetik stirrer, ditambahkan *zinc* 10 % sebanyak 5 mL dari *zinc sulfate heptahydrate*, dihomogenkan menggunakan magnetik stirrer, larutan siap digunakan.

#### 4.2.3 Proses *dip-coating*

Plat kaca yang telah dipreparasi dicapit di alat *dip-coating*. Diambil larutan prekursor yang telah dibuat dan diletakkan dibawah plat kaca. Disetting alat dip coating dalke scientifict SC-DC 03:

- *Dip speed* : 1mm/s
- *Dip time* : 30 s
- *Lift dip* : 1mm/s
- *Diulang* : 30 x
- *Distance* : 7cm

Lalu *furnace* didalam oven dengan suhu 300 °C, 400 °C, 500 °C selama 1 jam. Indikator plat kaca telah terlapsi ditandai dengan berwarna coklat.

#### 4.2.4 Karakterisasi menggunakan Instrumen

Selanjutnya untuk melihat karakterisasi digunakan beberapa instrumen itu Untuk melihat struktur kristal lapisan TiO<sub>2</sub> digunakan instrument XRD. Untuk melakukan analisa seberapa besar absorbansi yang terdapat di dalam metilen biru setelah dilakukan proses fotokatalis digunakan instrumen Spektrofotometer Uv-Vis *Double Beam* Untuk melihat *band-gap* lapisan TiO<sub>2</sub> digunakan instrument DR Spektrofotometer Uv-Vis. Untuk melihat morfologi menggunakan SEM. Untuk mendeteksi struktur molekul senyawa menggunakan FTIR.

#### 4.2.5 Uji Aktivitas Fotokatalis Plat pada Metilen Biru

##### 4.2.5.1 Pembuatan Larutan Metilen Biru

Ditimbang 0,01gram serbuk metilen biru untuk membuat larutan induk metilen biru 100 ppm dalam 100 mL, lalu dimasukkan kedalam labu ukur 100 mL, ditambahkan aquabidest sampai tanda miniskus, lalu di gojog hingga homogen. larutan metieln biru 100 ppm siap digunakan.

##### 4.2.5.2 Pembuatan Larutan Metilen Biru 10 ppm

Diambil 10 mL larutan metilen biru 100 ppm kemudian diencerkan menggunakan labu ukur 100 mL, ditambahkan aquabidest sampai tanda minismus, lalu di gojog hingga homogen, larutan metilen biru 10 ppm siap digunakan.

#### **4.2.5.3 Pembuatan Larutan Metilen Biru 5 ppm**

Diambil 5 mL larutan metilen biru 100 ppm kemudian diencerkan menggunakan labu ukur 100 mL, ditambahkan aquabidest sampai tanda miniskus, lalu di gojog hingga homogen. larutan metilen biru 5 ppm siap digunakan.

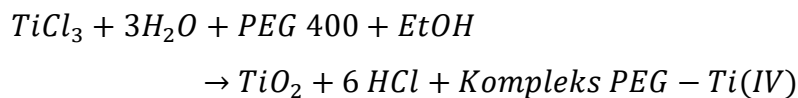
#### **4.3.5.4 Proses Fotokatalis**

Siapkan larutan metilen biru 10 ppm dan 5 ppm masing-masing 100 mL lalu dimasukkan ke masing masing *petridish* yang telah disediakan. setelah itu dimasukkan substrat yang ingin di uji fotokatalis, substrat siap difotokatalis dengan variasi waktu 0, 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam. Yang terjadi pada proses ini menghilangkan atau mengurangi konsentrasi metilen biru dengan material film lapis tipis TiO<sub>2</sub>.

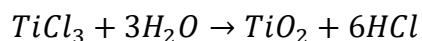
## BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1 Sintesis TiO<sub>2</sub>

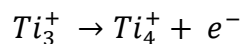
Pada sintesis material TiO<sub>2</sub> menggunakan TiCl<sub>3</sub> sebagai bahan utama dalam pembuatan material TiO<sub>2</sub> menggunakan metode *dip-Coating*. Dimana TiCl<sub>3</sub> dicampurkan dengan PEG (Polyethylene Glycol) 400, etanol. Reaksi yang terjadi yaitu:



TiCl<sub>3</sub> mengalami hidrolisis yang dimana fungsinya untuk menghasilkan TiO<sub>2</sub> dan asam klorida melalui reaksi dengan air, proses ini membentuk TiO<sub>2</sub> menjadi bahan material yang diinginkan sementara untuk asam klorida merupakan produk samping yang harus dihilangkan. Reaksi hidrolisis yang terjadi yaitu:



Oksidasi Ti (III) menjadi Ti (IV) untuk meningkatkan bilangan oksidasi titanium dari +3 menjadi +4 yang dimana bentuk yang lebih umum dari titanium dalam senyawa senyawa oksida. Reaksi yang terjadi yaitu:

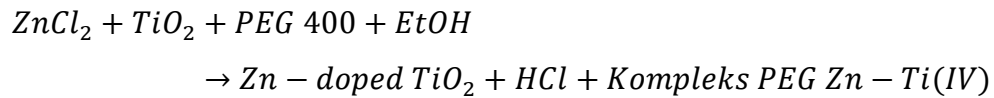


Pembentukan kompleks dengan PEG 400 yang dimana kompleks PEG-Ti (IV) yang terbentuk memiliki sifat sifat khusus, seperti meningkatkan stabilitas koloid atau memodifikasi sifat permukaan dari TiO<sub>2</sub> yang dihasilkan. Adapun fungsi penambahan PEG 400 yang lain itu untuk memudahkan reaksi antara TiCl<sub>3</sub>, air, dan etanol serta mendukung distribusi yang merata dari bahan pada permukaan material TiO<sub>2</sub> menggunakan metode *dip-coating*. Fungsi selanjutnya yaitu untuk mengstabilitas koloid yang dimana dapat mencegah aglomerasi partikel, memastikan distribusi yang merata dari material pada substrat kaca TiO<sub>2</sub>. Reaksi yang terjadi yaitu:



Pada penambahan doping Zn dalam sintesis material TiO<sub>2</sub> menggunakan metode *dip-coating* dapat meningkatkan kinerja dari fotokatalitik yang dimana dapat membuat material lebih efektif dalam reaksi fotokimia, seperti degradasi

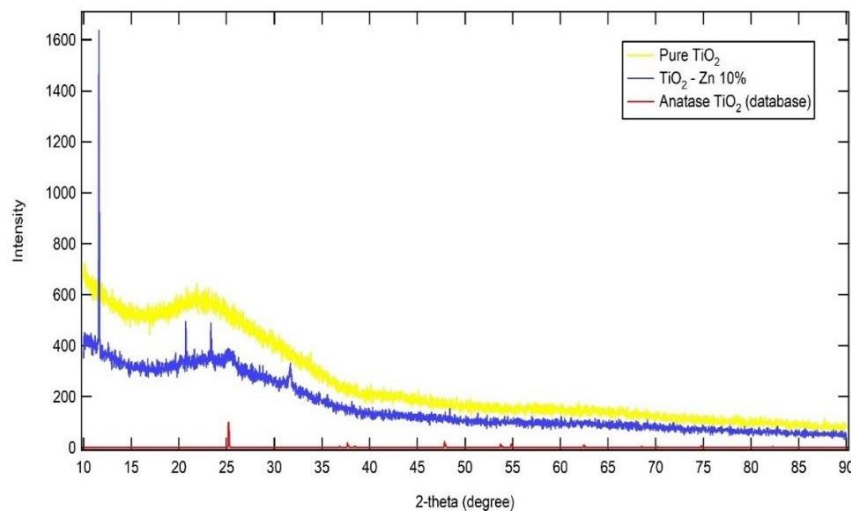
senyawa metilen biru. Doping Zn juga dapat menstabilkan stabilitas termal yang ditingkatkan membuat material  $\text{TiO}_2$  menjadi lebih tahan terhadap suhu serta dapat meningkatkan efisiensi dari nilai *band gap* yang dihasilkan dari nilai *band gap*  $\text{TiO}_2$  murni 3,2 eV menjadi lebih kecil daripada nilai *band gap*  $\text{TiO}_2$  murni. Reaksi yang terjadi saat penambahan doping Zn yaitu:



## 5.2 Karakterisasi Instrumenn

### 5.2.1 Karakterisasi X-ray Diffraction (XRD)

Karakterisasi menggunakan XRD pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui fasa kristal dan ukuran diameter kristal dari material. Material yang dikarakterisasi dalam penelitian ini adalah  $\text{TiO}_2$ . Material  $\text{TiO}_2$  tersebut mengandung 3 fase kristal seperti *rutile*, *anatase* dan *brookite* sehingga perlu dikonfirmasi menggunakan instrument XRD.



**Gambar 10** Pola XRD film lapis tipis  $\text{TiO}_2$  murni (kuning),  $\text{TiO}_2$  ditambah Zn 10% w/w dengan suhu kalsinasi 400 °C (biru), database  $\text{TiO}_2$  *anatase* (merah)

Gambar 10 menunjukkan pengaruh doping Ti pada struktur kristal  $\text{TiO}_2$  dari pengukuran XRD. Diamati bahwa puncak  $\text{TiO}_2$  tidak tajam, seperti yang diharapkan untuk  $\text{TiO}_2$  kristalin yang tertata rapi, namun tampak seperti  $\text{TiO}_2$  amorf. Kim dkk. (2022) juga mengamati pola serupa untuk  $\text{TiO}_2$  amorf. Untuk aktivitas fotokatalitik, pertanyaan apakah  $\text{TiO}_2$  berada dalam fase kristal atau amorf, yang menghasilkan aktivitas fotokatalitik lebih baik, masih terbuka (Huang dkk., 2012). Namun, fase amorf  $\text{TiO}_2$  dapat menurunkan efisiensi fotokatalitik

karena struktur amorf memiliki jumlah pusat rekombinasi yang relatif lebih banyak dibandingkan dengan fase kristal (Kavaliunas dkk. 2020). Meskipun efisiensinya rendah, biaya produksi film tipis TiO<sub>2</sub> amorf rendah, dan penambahan dopan logam, yang meningkatkan konduktivitas permukaan film tipis, penggunaan fase TiO<sub>2</sub> amorf dalam film tipis untuk fotokatalis masih bersaing dengan film tipis TiO<sub>2</sub> kristalin. Dengan bertambahnya dopan, puncak amorf bergeser ke nilai sudut 2 $\theta$  yang lebih tinggi, yang menunjukkan bahwa kisi kristal terdistorsi akibat penambahan Zn, terutama pada Zn 10 v/v. %. Pergeseran puncak spektrum XRD juga diamati oleh Li dkk., (2017) saat TiO<sub>2</sub> didoping dengan MoO<sub>3</sub>. Dopan mendistorsi kisi kristal karena variasi interkalasi proton, yang dapat diamati dalam Raman Spectra. Namun, spektroskopi Raman tidak dilakukan dalam penelitian ini.

### 5.2.2 DR UV-Vis

Material TiO<sub>2</sub> dikarakterisasi menggunakan instrument DR UV-Vis yang bertujuan untuk menunjukkan nilai energi celah pita langsung TiO<sub>2</sub> murni, TiO<sub>2</sub> dengan penambahan Zn 10% dengan suhu kalsinasi 300 °C, 400 °C, dan 500 °C. Energi band gap berdampak besar terhadap kinerja dari material semikonduktor TiO<sub>2</sub>. Jika nilai dari suatu *band gap* itu kecil maka elektron akan melompat dari pita valensi menuju pita konduksi sehingga elektron kurang bebas dan apabila nilai *band gap* terlalu besar maka akan menghambat loncatan elektron sehingga aliran elektron akan terhambat (Rocha dkk,2018). Celah pita tidak langsung dihitung menggunakan persamaan *tauc* tetapi dapat dihitung dengan persamaan *Kubelka-Munk* yaitu  $E_g = \frac{hc}{\lambda}$ , dimana h merupakan konstanta ketetapan *plank* ( $6,62 \times 10^{-34}$  J.s), c merupakan cahaya diruang hampa ( $3 \times 10^8$  m.s<sup>-2</sup>) dan  $\lambda$  sebagai panjang gelombang (nm). Setelah data spektrum DRS UV-Vis maka nilai energi *band gap* dapat ditentukan dengan menarik garis lurus dari puncak spektrum tertinggi hingga terendah yang biasa disebut dengan metode *Touc Plot*.

Hasil karakterisasi DRS UV-Vis, berdasarkan tabel 3 nilai *band gap* yang dihasilkan oleh material TiO<sub>2</sub> murni sebesar 3,2 eV nilai *band gap* tersebut udah sesuai jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Wilda, 2015) yang memiliki nilai *band gap* TiO<sub>2</sub> murni menggunakan metode *sol-gel spray coating* sebesar 3,2 eV tetapi menurut Guang-Lei dkk. (2005) menemukan bahwa film TiO<sub>2</sub> murni memiliki energi celah pita sebesar 3,4 eV hingga 3,21 eV, yang variasinya dapat disebabkan oleh kekasaran permukaan film tipis dan penyerapan substrat. Sreemany dan Sen (2004) juga menemukan bahwa film tipis berlapis celup

TiO<sub>2</sub> memiliki energi celah pita sebesar 3,35 eV hingga 3,16 eV, dengan variasi karena ketebalan film berkisar antara 100 hingga 300 nm. Mereka juga menemukan bahwa kecepatan penarikan proses pelapisan celup tidak mempengaruhi celah pita film tipis. Dalam percobaan ini, ketebalan film tidak diukur, sehingga efek kecepatan menggambar dari proses pelapisan celup dapat dibuat ulang. Celah pita yang lebih rendah pada film tipis TiO<sub>2</sub> diamati oleh Tanemura dkk. (2005), dengan nilai band gap sebesar 3,03 eV untuk fase *rutile bulk film* tipis TiO<sub>2</sub>. Secara keseluruhan, celah pita film tipis TiO<sub>2</sub> murni yang diperoleh dari percobaan ini berada pada kisaran celah pita TiO<sub>2</sub> peneliti lain.

**Tabel 3** Energi *Band Gap*

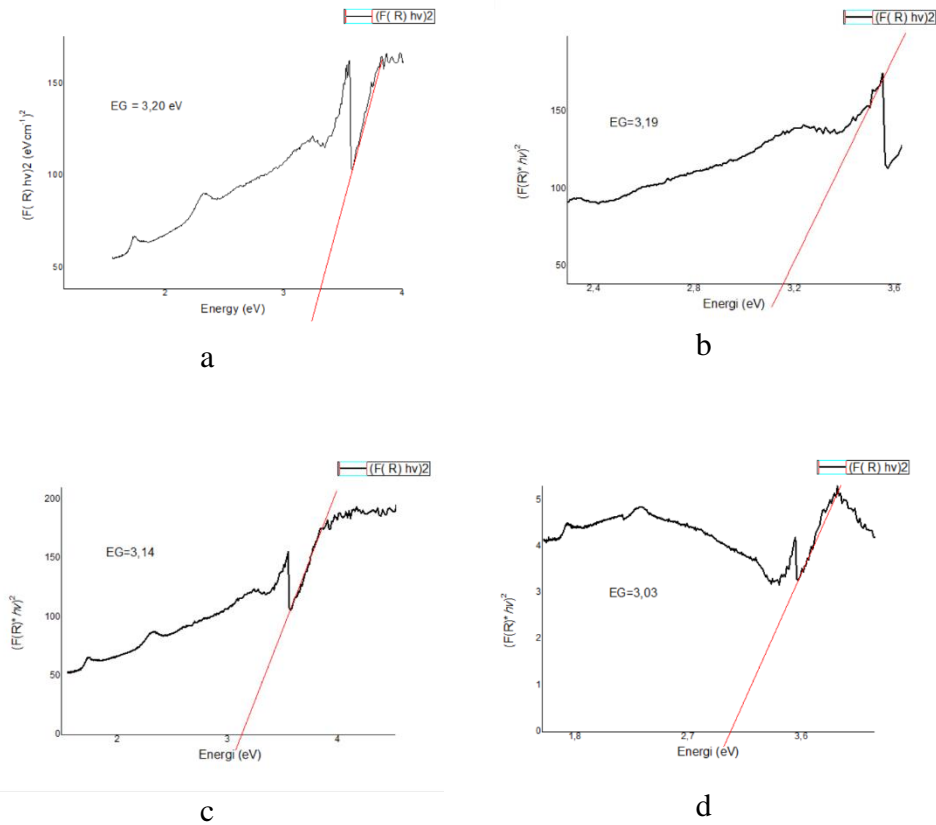
Sampel	Celah pita (eV)
TiO <sub>2</sub> murni, suhu kalsinasi 400 °C	3,2
TiO <sub>2</sub> + Zn 10 w/w% suhu kalsinasi 300 °C	3,19
TiO <sub>2</sub> + Zn 10 w/w% suhu kalsinasi 400 °C	3,14
TiO <sub>2</sub> + Zn 10 w/w% suhu kalsinasi 500 °C	3,03

Pada penambahan Zn (10 w/w %) terbukti dapat menurunkan *band gap* film tipis TiO<sub>2</sub>. Ditemukan juga bahwa suhu kalsinasi berpengaruh terhadap penurunan celah pita film tipis TiO<sub>2</sub>. Lee dkk. (2013) menemukan bahwa doping Er dalam film tipis *spin-coated* TiO<sub>2</sub> menurunkan celah pita film tipis dari sekitar 3,25 eV menjadi 2,81 eV karena adanya perangkap elektron atau lubang pada tingkat donor dan akseptor dalam struktur elektronik pita TiO<sub>2</sub>. Fenomena yang sama juga dapat terjadi ketika TiO<sub>2</sub> didoping dengan Zn, dimana substitusi Zn dengan Ti dapat menyebabkan perubahan keadaan elektronik TiO<sub>2</sub>. Lee dkk. (2014) juga menemukan bahwa penambahan Nb juga mengurangi *band gap* film tipis TiO<sub>2</sub>, namun untuk Nb karena penurunan ukuran kristalit TiO<sub>2</sub> dimana fasa *anatase* bertransformasi menjadi fasa *rutile*, sehingga mengurangi kesenjangan pita. Untuk mengetahui apakah penyebab penurunan celah pita oleh dopan adalah perubahan struktur elektronik atau perubahan ukuran kristalit TiO<sub>2</sub>, maka dilakukan pengukuran XRD.

Pada tabel 3 juga menunjukkan bahwa peningkatan suhu kalsinasi pada film tipis TiO<sub>2</sub> yang didoping Zn menghasilkan celah pita yang lebih rendah. Suhu kalsinasi berhubungan dengan fasa TiO<sub>2</sub>, baik pada anatase, rutil, maupun *brookite*.



Ge dkk. (2016) menunjukkan bahwa penurunan celah pita film tipis  $\text{TiO}_2$  disebabkan oleh semakin besarnya fasa *anatase*, dan untuk memperoleh fasa *anatase* yang cukup maka suhu kalsinasi harus diatas  $400\text{ }^\circ\text{C}$ . Hal ini menunjukkan bahwa ketika suhu kalsinasi ditingkatkan, fasa *anatase* menjadi lebih besar dan pita energi yang lebihrendah diamati. Untuk lebih mengkonfirmasi perubahan fasa *anatase* seiring meningkatnya suhu, pengukuran FTIR dilakukan.



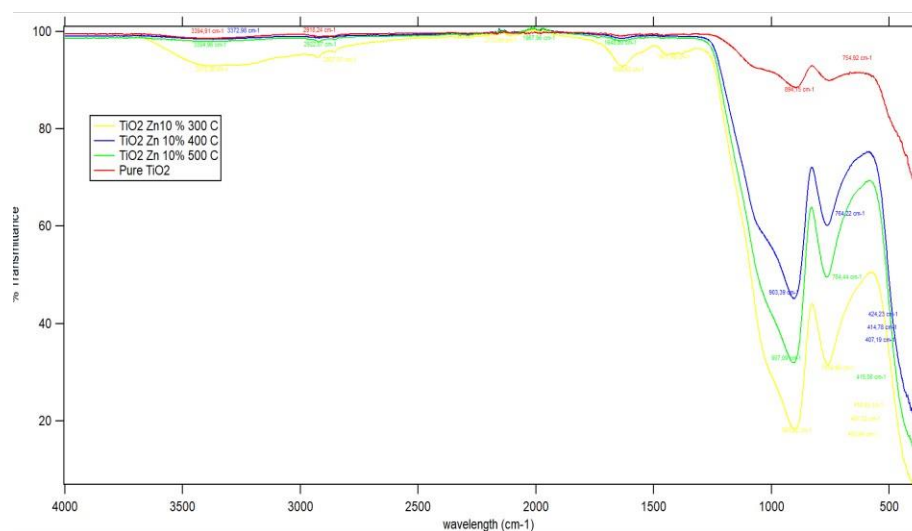
**Gambar 11.a.** Band Gap  $\text{TiO}_2$  Murni, **b.** Nilai Band Gap  $\text{TiO}_2$  Zn 10% w/w suhu  $300\text{ }^\circ\text{C}$ , **c.** Nilai Band Gap  $\text{TiO}_2$  Zn 10% w/w suhu  $400\text{ }^\circ\text{C}$ , **d.** Nilai Band Gap  $\text{TiO}_2$  Zn 10% w/w suhu  $400\text{ }^\circ\text{C}$

Penelitian ini telah berhasil menentukan energi band gap  $\text{TiO}_2$  murni dengan kalsinasi  $400\text{ }^\circ\text{C}$  sebesar  $3,20\text{ eV}$ . Selain itu, kami juga memperoleh nilai *band gap* lapis tipis  $\text{TiO}_2$  dengan doping Zn 10% pada suhu  $300\text{ }^\circ\text{C}$  sebesar  $3,19\text{ eV}$ , pada suhu  $400\text{ }^\circ\text{C}$  sebesar  $3,14\text{ eV}$ , dan pada suhu  $300\text{ }^\circ\text{C}$  sebesar  $3,03\text{ eV}$ . Hasil ini menunjukkan bahwa pengaruh doping Zn dan suhu kalsinasi terhadap sifat semikonduktor  $\text{TiO}_2$ .

### 5.2.3 FTIR

Analisis FTIR ini ditunjukkan untuk melihat gugus fungsi dan perubahan gugus fungsi dari bahan ataupun senyawa yang digunakan. Pada penelitian ini dilakukan uji FTIR untuk melihat perubahan gugus fungsi sampel material semikonduktor  $\text{TiO}_2$  dengan doping Zn 10% dan dilakukan variasi suhu *furnace* sebesar 300 °C, 400 °C, dan 500 °C.

Spektra FTIR didapatkan melalui hubungan antara panjang gelombang dengan % transmitansi yang dinyatakan dengan perbandingan sinar inframerah yang tidak terserap oleh sampel terhadap sinar yang ditambahkan ke sampel. Metode ini bergantung pada adsorpsi radiasi inframerah saat akan melewati sampel yang dianalisis (Rahmat dan Suswano, 2020). Hasil analisis sampel disajikan dalam gambar dibawah ini



**Gambar 12** Spektrum FTIR film lapis tipis  $\text{TiO}_2$  murni (merah),  $\text{TiO}_2$  ditambah Zn 10% dengan suhu kalsinasi 300 °C (kuning), 400 °C, (biru), dan 500 °C (hijau)

Berdasarkan gambar diatas menunjukkan terdapat beberapa bilangan gelombang yang terdeteksi dalam sampel, untuk mengidentifikasi lebih lanjut didapatkan gugus fungsi pada setiap bilangan gelombang yang disajikan dalam Tabel 4 dibawah.

**Tabel 4** Analisis FTIR TiO<sub>2</sub> Murni 300 °C dan Zn 10% 300 °C, 400 °C, 500 °C

Bilangan Gelombang				
TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub> Zn	TiO <sub>2</sub> Zn	TiO <sub>2</sub> Zn	Gugus Fungsi
Murni	10% 300 °C	10% 400 °C	10% 500 °C	
33994,91	3375,36	3372,98	3394,96	C-H (Alkana)
2918,24	2927,57	-	2922,07	C-H (Alkena)
-	2112,99	2110,2	2086,70	C rangkap 3 C
1646,74	1636,62	1647,05	1646,80	C=C (Alkena)
-	1437,68	-	-	C-C (Alkana)
894,15	900,22	903,39	907,09	C-H (Alkena)
754,92	759,96	764,22	764,44	C-H (Alkena)
	428,93	424,23	415,60	Ti-O-Ti
	407,02	414,78		Ti-O-Ti
	402,94	407,19		Ti-O-Ti

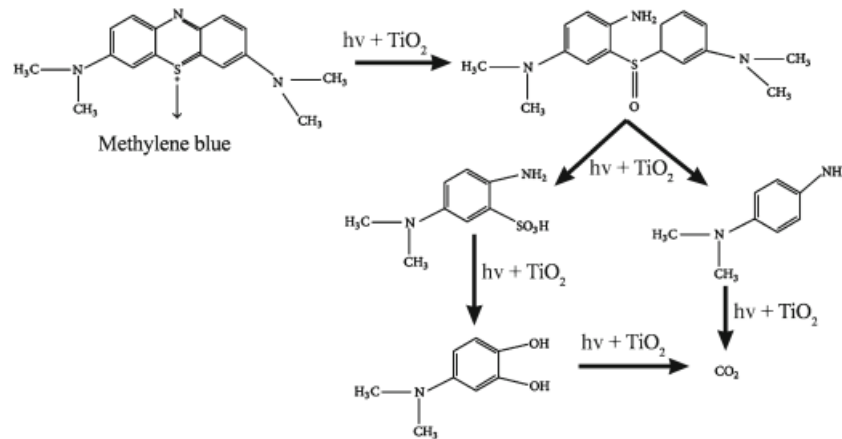
Menurut J.wei (2008) TiO<sub>2</sub> memiliki kelompok hidroksil yang signifikan pada permukaannya. Selain itu, kristalit kecil dapat menyebabkan lebar puncak spektrum. Pita spektroskopis diamati sekitar 3391,72 cm<sup>-1</sup> dijelaskan sebagai getaran peregangan simetris dan asimetris dari kelompok hidroksil (Ti-OH). Kathiravan (2009) pita lebar yang diamati antara 3600 dan 3000 cm<sup>-1</sup> terkait dengan metode peregangan O-H dari kelompok hidroksil, menunjukkan keberadaan kelembapan pada sampel. Puncak karakteristik pada 1627,28 cm<sup>-1</sup> terkait getaran lentur O-H dari molekul air yang diserap. Oleh karena itu, 3391,72 dan 1627,28 cm<sup>-1</sup> sesuai dengan air yang terserap di permukaan dan kelompok hidroksil, dan keberadaan pita OH dalam spektrum disebabkan oleh adsorpsi H<sub>2</sub>O secara kimiawi dan fisik di permukaan (Olurode,2012). Lebar pita dari daerah 1000 hingga 400 cm<sup>-1</sup> dikaitkan dengan Ti-O-Ti dalam material TiO<sub>2</sub> (Lu,2008). Menurut spektrum standar TiO<sub>2</sub>, puncak 463,88 cm<sup>-1</sup> seharusnya dikaitkan dengan ikatan Ti-O dalam kisi TiO<sub>2</sub> (titania *anatase*), menunjukkan bahwa *ligand organic* sepenuhnya dihilangkan setelah pemanasan pada 450 °C. Pada saat yang sama, oksida logam TiO<sub>2</sub> terbentuk melalui termolisis bubuk (Chuan, 2004). Pita serapan IR pada 728,77 cm<sup>-1</sup> dikaitkan dengan getaran peregangan Ti-O-Ti (Wei,2008).

Spektrum FTIR TiO<sub>2</sub> yang didoping Zn pada 10 v/v %. Seluruh sampel menunjukkan karakteristik TiO<sub>2</sub> *anatase* (402 cm<sup>-1</sup> pada suhu 300 °C, 407,19 cm-

1 pada suhu 400 °C, dan 415,06  $\text{cm}^{-1}$  pada suhu 500 °C). Suhu kalsinasi yang lebih tinggi menghasilkan mode pembengkokan Ti-O yang lebih tinggi yang menggambarkan fase anatase yang terbentuk lebih besar (Luo ,2009).

### 5.3 Degradasi Metilen Biru

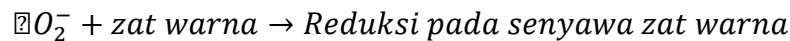
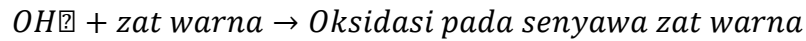
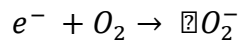
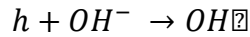
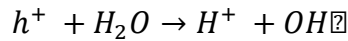
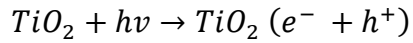
Material fotokatalis  $\text{TiO}_2$  memiliki daya oksidasi yang sangat kuat apabila di aktifkan dengan cahaya matahari. Untuk mengaktifkan katalis  $\text{TiO}_2$  dibutuhkan energi foton dengan panjang gelombang yang kecil. Aktivitas fotoaktalis menyebabkan terjadinya fotooksidasi dan fotoreduksi sehingga terjadi eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Pita konduksi menyebabkan adanya kekosongan atau *hole* selanjutnya bereaksi dengan  $\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{CO}_2$  (Hoffman, dkk, 1995).



**Gambar 13** Fotokatalis  $\text{TiO}_2$  terhadap senyawa metilen biru

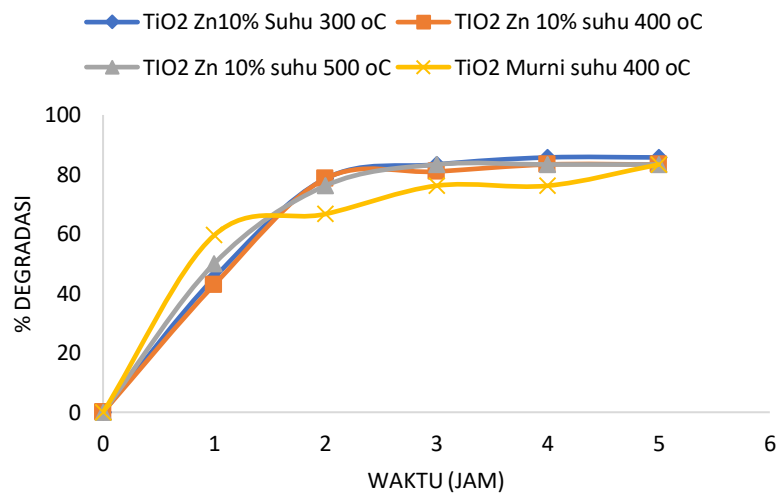
Menurut Zuo 2014, Titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) adalah semikonduktor yang digunakan dalam proses fotokatalis untuk mendegradasi zat pencemar termasuk metilen biru. Mekanisme yang terjadi dari fotokatalis  $\text{TiO}_2$  terhadap senyawa metilen biru yang awalnya pekat dan beracun menjadi tidak pekat dan tidak beracun yaitu substrat kaca yang telah dilapisi  $\text{TiO}_2$  menyerap energi dari cahaya matahari, lalu energi cahaya yang diserap oleh  $\text{TiO}_2$  menciptakan elektron dan lubang (*hole*) elektron. Selanjutnya terjadi reaksi redoks yang dimana pasangan elektron dan lubang elektron bereaksi dengan molekul air atau oksigen di sekitarnya, membentuk radikal hidroksil ( $\text{OH}\bullet$ ) dan radikal superoksida ( $\text{O}_2\bullet^-$ ). Radikal hidroksil ( $\text{OH}\bullet$ ) yang dihasilkan oleh  $\text{TiO}_2$  sangat reaktif dan dapat menyerang zat pencemar seperti metilen biru. Reaksi oksidasi ini mengakibatkan pemecahan molekul pencemar menjadi senyawa yang lebih sederhana atau tidak berbahaya. Senyawa-senyawa

hasil degradasi kemudian dapat terus dioksidasi oleh radikal hidroksil atau diuraikan menjadi senyawa-senyawa yang lebih aman dan tidak beracun (Anwar, 2011).



Variasi waktu dilakukan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk mencapai penurunan % degradasi metilen biru. Uji pengaruh waktu dilakukan dengan variasi waktu 0; 1; 2; 3; 4; dan 5 Jam. dalam pengujian ini larutan metilen biru yang dipakai sebesar 5 dan 10 ppm sebanyak 100 mL. Selanjutnya larutan metilen biru hasil degradasi diuji menggunakan spektrofotometer UV-Vis *double beam* pada setiap variasi waktu. selanjutnya didapatkan hasil pengujian sebagai berikut:

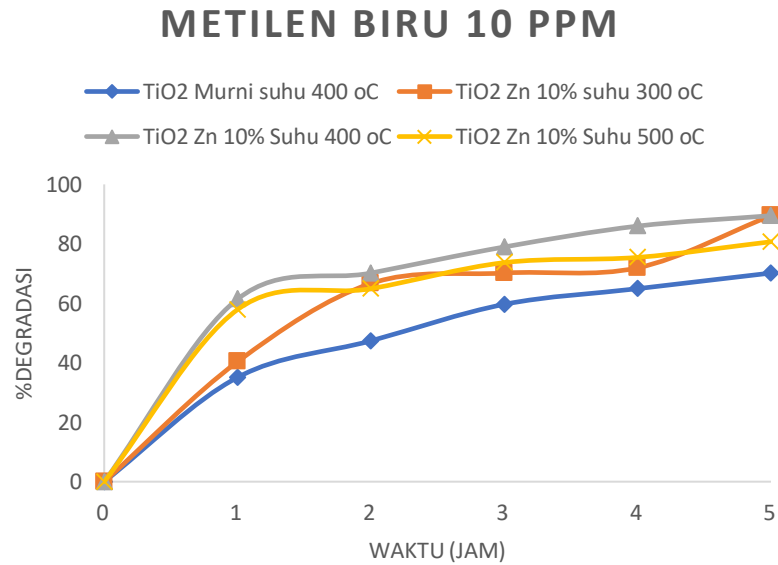
### METILEN BIRU 5 PPM



**Gambar 14** Waktu (Jam) vs % Degradasi Metilen Biru 5 PPM

Data diatas menunjukkan nilai dari suatu % degradasi zat warna metilen biru yang dapat terdegradasi oleh material fotokatalisis  $TiO_2$  pada setiap variasi suhu *furnace* dan variasi waktu fotokatalis. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada  $TiO_2$  murni suhu 400 °C dan variasi waktu 1, 2, 3, 4, dan 5 jam yaitu sebesar 59,52%; 66,67%; 76,19%; 76,19%; dan 83,33%. Pada  $TiO_2$  Zn 10% suhu 300 °C dan variasi waktu 1, 2, 3, 4, dan 5 jam

yaitu sebesar 45,23%; 78,57%; 83,33%; 85,71% dan 85,71%. Pada TiO<sub>2</sub> Zn 10% suhu 400 °C dan variasi waktu 1, 2, 3, 4, dan 5 jam yaitu 42,85%; 78,57%; 80,95%; 83,33%; dan 83,33%. Pada TiO<sub>2</sub> Zn 10% suhu 500 °C dan variasi waktu 1, 2, 3, 4, dan 5 jam yaitu 50%; 76,19%; 83,33%; 83,33%; dan 83,33%.



**Gambar 15** Waktu (Jam) vs % Degradasi Metilen Biru 10 PPM

Data diatas menunjukkan nilai dari suatu % degradasi zat warna metilen biru yang dapat terdegradasi oleh material fotokatalisis TiO<sub>2</sub> pada setiap variasi suhu *furnace* dan variasi waktu fotokatalis. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada TiO<sub>2</sub> murni suhu 400 °C dan variasi waktu 1, 2, 3, 4, dan 5 jam yaitu sebesar 35,08%; 47,36%; 59,64%; 64,91%; dan 70,17%. Pada TiO<sub>2</sub> Zn 10% suhu 300 °C dan variasi waktu 1, 2, 3, 4, dan 5 jam yaitu sebesar 40,35%; 66,67%; 70,17%; 71,92% dan 89,47%. Pada TiO<sub>2</sub> Zn 10% suhu 400 °C dan variasi waktu 1, 2, 3, 4, dan 5 jam yaitu 61,40%; 70,17%; 78,94%; 85,96%; dan 89,47%. Pada TiO<sub>2</sub> Zn 10% suhu 500 °C dan variasi waktu 1, 2, 3, 4, dan 5 jam yaitu 57,89%; 64,91%; 73,68%; 75,43%; dan 80,70%.

Dari kedua data tersebut dapat disimpulkan bahwa doping Zn 10% pada TiO<sub>2</sub> meningkatkan efisiensi degradasi senyawa metilen biru pada berbagai suhu dan waktu dibandingkan dengan TiO<sub>2</sub> murni. Didapatkan nilai optimum pada metilen biru 5 PPM yaitu sebesar 85,71% TiO<sub>2</sub> Zn 10% dengan suhu 300 °C dan didapatkan nilai optimum pada metilen biru 10 PPM yaitu sebesar 89,47% dengan suhu 400 °C. Hasil tersebut tidak sesuai dengan data DR UV-Vis yang seharusnya semakin tinggi suhu yang dipakai menunjukkan hasil yang lebih baik daripada suhu yang

rendah. Hal tersebut disebabkan karena beberapa faktor salah satunya adalah proses aplikasi pada sinar matahari yang kurang maksimal yang disebabkan karena perubahan kondisi cuaca sehingga mempengaruhi jumlah radiasi matahari yang mengenai material semikonduktor  $\text{TiO}_2$ .

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

1. Dalam penelitian ini, kami menyelidiki dampak doping seng(Zn) terhadap fotokatalitik film lapis tipis TiO<sub>2</sub>. Penambahan Zn, bersamaan dengan variasi suhu kalsinasi, mengakibatkan perubahan signifikan pada celah pita film tipis. Film tipis TiO<sub>2</sub> yang didoping Zn menunjukkan celah pita yang lebih rendah dibandingkan dengan TiO<sub>2</sub> murni yang menunjukkan peningkatan aktivitas fotokatalitik. Celah pita yang lebih rendah disebabkan oleh perubahan struktur kristal TiO<sub>2</sub> dan transformasi fasa yang disebabkan oleh doping Zn dan suhu kalsinasi. Hasilnya menunjukkan bahwa doping Zn sangat efektif untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitik film lapis tipis TiO<sub>2</sub>.
2. Film lapis tipis TiO<sub>2</sub> dapat mendegradasi senyawa metilen biru seperti yang dapat ditunjukkan oleh peningkatan efisiensi degradasi metilen biru dalam kondisi berbeda. Waktu pemaparan fotokatalitik yang lebih lama menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dalam degradasi metilen biru.
3. Untuk % degradasi kondisi optimum pada metilen biru 10 PPM adalah pada suhu 300 °C selama 5 jam (89,4737%). Pada suhu 400 °C selama 5 jam (89,47%). Pada suhu 500 °C selama 5 jam (80,7018%). Untuk % degradasi kondisi optimum metilen biru 5 PPM adalah pada suhu 300 °C selama 5 jam (85,7143%). Pada suhu 400 °C selama 5 jam (83,333%). Pada suhu 500 °C selama 5 jam (83,333%).

#### **6.2 Saran**

Pembuatan sintesis lapis tipis TiO<sub>2</sub> menggunakan metode *dip-coating* masih memerlukan penelitian lebih lanjut. Hal ini dikarenakan masih sangat jarang peneliti yang menggunakan metode *dip-coating* untuk mensintesis lapis tipis TiO<sub>2</sub> pada pengaplikasian fotodegradasi zat warna.



## DAFTAR PUSTAKA

- A. Shabani, G. Nabiyouni, J. Saffari, and Ghanbari., 2016, Photo-catalyst  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$  nanocomposites: green synthesis and investigation of magnetic nanoparticles coated on cotton, *J.Mater. Sci. Mater Electron.*, vol. 27, no.8, pp.8661-8669.
- Abdullah, M., Khairurrijal., 2009, Karakterisasi Nanomaterial, *Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi*, 2(2): 1-9.
- Ali Baig, AB, Rathinam, V. dan Ramya, V., 2021. Fabrikasi nanopartikel  $\text{SnO}_2$  yang didoping Zn dengan mudah untuk meningkatkan kinerja degradasi pewarna fotokatalitik di bawah paparan cahaya tampak. *Komposit Tingkat Lanjut dan Material Hibrida*, 4, hal.114-126.
- Ali, R., Siew, Bon., 2008, Photodegradation of New Methylene Blue N in Aqueous Solution Using Zinc Oxide and Titanium Dioxide as Catalyst, *Jurnal Teknologi*, 1-14.
- Annisaputri, Winda., Anisah, Azzah., 2020, Studi Potensi Fotokatalis dari Material Kerangka Logam-Organik (Metal Organic Framework) untuk Degradasi Zat Pewarna Limbah Batik, *Jurnal The Indonesian Green Technology*.
- Ansari, R., Mosayebzdeh, Z., Keivani, M.B., 2011, Adsorption of Cationic Dyes from Aqueous Solution using Poluaniline Conducting Polymer as a Novel Adsorbent, *J.Adv.Sci.Res*, 2, 27-34.
- Arunachalam, A., Dhanapandian, S., Manoharan, C. dan Sivakumar, G., 2015. Sifat fisik film tipis  $\text{TiO}_2$  yang didoping Zn dengan teknik pirolisis semprot dan pengaruhnya terhadap aktivitas antibakteri. *Spectrochimica Acta Bagian A: Spektroskopi Molekuler dan Biomolekuler*, 138, hal.105-112.
- Arunachalam., S. Dhanapandian., C. Manoharan., G. Sivakumar., 2014, Physical properties of Zn doped  $\text{TiO}_2$  thin films with spray technique and its effect in antibacterial activity. *Journal Elsevier B.V.* 1386-1425
- Batista, A.P.L., Carvalho, H.W., Luz, G.H.P., Martins, P.F.Q., Goncalves, M., Oliveira, L.C.A.O., 2010, Preparation of  $\text{Cu}/\text{SiO}_2$  and Photocatalytic Activity by degradation of Methylene Blue. *Journal Environmental Chem Lett*, (8), 63-67.
- Baunsele, A. B. dan Missa, H., 2020, Kajian Kinetika Adsorpsi Metilen Biru Menggunakan Adsorben Sabut Kelapa, *Akta Kimia Indonesia*, 5(2), 76–85.
- Beiser, Arthur., 1992, *Modern Technical Physics*, Malang.
- Bharti, V., Vikrant, K., Goswami, M., Tiwari, H., Sonwani, RK, Lee, J., Tsang, DC, Kim, KH, Saeed, M., Kumar, S. dan Rai, BN , 2019. Biodegradasi zat warna metilen biru secara batch dan kontinyu dengan menggunakan biochar sebagai media pengemas. *Penelitian lingkungan*, 171, hal.356-364.

- Chen, J., Wang, X., Huang, Y., Lv, S., Cao, X., Yun, J. dan Cao, D., 2018. Adsorpsi penghilangan pewarna polutan dalam air limbah oleh karbon berpori yang didoping nitrogen berasal dari daun alami. *Ilmu Rekayasa*, 5(11), hal.30-38.
- Christina, P., Mu'nisatun, S., Rany, Saptaaji, Martjanto., 2007, Studi Pendahuluan Mengenai Degradasi Zat Warna Azo (Metil Orange) dalam Pelarut Air Menggunakan Mesin Berkas Elektron, *JFN*, Vol.1, No.1.
- D. Susanti, M. Nafi, H. Purwaningsih, R. Fajarin, and G. E. Kusuma., 2014, The Preparation of Dye Sensitized Sollar Cell (DSSC) from  $TiO_2$  and Tamarillo Extract, *Procedia Chem.*, vol.9, pp.3-10.
- Dhaneswara, D., Marito, HS, Fatriansyah, JF, Sofyan, N., Adhika, DR dan Suhariadi, I., 2022. Partikel SBA-16 berbentuk bola yang disintesis dari abu sekam padi dan abu tongkol jagung untuk adsorben pewarna organik yang efisien. *Jurnal Produksi Bersih*, 357, hal.131974.
- Fatimah, I. dan Setiaji, B. (2001) Zeolit Alam sebagai Adsorben Limbah Cair Industri Tapioka, *Prosiding The 1st Indonesian Seminar on Zeolte* ISSN : 1411-6723, Hal 64-70.
- Gautam, S., Agrawal, H., Thakur, M. dkk.,2020, Metal Oxides and Metal Organik Frameworks for the Photocatalytic Degradation. *J. Environ. Chem.Eng*, 8(3).
- Ge, L., Xu, M., Fang, H. dan Sun, M., 2006. Pembuatan film tipis  $TiO_2$  dari sol yang diautoklaf mengandung kristal anatase seperti jarum. *Ilmu Permukaan Terapan*, 253(2), hal.720-725.
- Guang-Lei, T., Hong-Bo, HE dan Jian-Da, S., 2005. Pengaruh struktur mikro film tipis  $TiO_2$  pada energi celah pita optik. *Surat fisika Cina*, 22(7), hal.1787.
- H. Zhang and J. F. Banfield., 2000, Understanding Polymorphic Phase Transformation Behavior during Growth of Nanocrystalline Aggregates: Insights from  $TiO_2$ , *J. Phys. Chem. B*, vol. 104, no. 15, pp. 3481–3487.
- Hikmawati, D. I., 2018, Studi Perbandingan Kinerja Serbuk dan Arang Biji Salak Pondoh (*Salacca zalacca*) pada Adsorpsi Metilen Biru', *Chimica et Natura Acta*, 6(2), 85–92.
- Hu, S., Shaner, MR, Beardslee, JA, Lichterman, M., Brunschwig, BS dan Lewis, NS, 2014. Lapisan  $TiO_2$  amorf menstabilkan fotoanoda Si, GaAs, dan GaP untuk oksidasi air yang efisien. *Sains*, 344(6187), hal.1005-1009.
- Huang, J., Liu, Y., Lu, L. dan Li, L., 2012. Sifat fotokatalitik film komposit  $TiO_2$  amorf yang diendapkan oleh magnetron sputtering. *Penelitian Kimia Intermediet*, 38, hal.487-498.
- Irawan, Anom., 2019, Kalibrasi Spektrofotometer Sebagai Penjaminan Mutu Hasil Pengukuran Dalam Kegiatan Penelitian dan Pengujian, *Indonesian Journal Of Laboratory*, Vol.1(2), 1-9.

- Ismail, M., Akhtar, K., Khan, MI, Kamal, T., Khan, MA, M Asiri, A., Seo, J. dan Khan, SB, 2019. Polusi, toksisitas dan karsinogenisitas pewarna organik dan dampaknya bio-remediasi katalitik. *Desain farmasi saat ini*, 25(34), hal.3645-3663.
- J.Bai and B. Zhou.,2014, Titanium Dioxide Nanomaterials for Sensors Applications, *Chem. Rev.*, vol.114, no.19, pp.10131-10176.
- Jadhav, P., Shinde, S., Suryawanshi, SS, Teli, B., Patil, PS, Ramteke, AA, Hiremath, NG dan Prasad, NR, 2020. AgNP Hijau menghiasi nanokomposit ZnO untuk degradasi pewarna dan aplikasi antimikroba. *Ilmu Rekayasa*, 12, hal.79-94.
- Jing, C., Zhang, Y., Zheng, J., Ge, S., Lin, J., Pan, D., Naik, N. dan Guo, Z., 2022. Pembuatan cahaya tampak di tempat CdS/ Fotokatalis Cd-MOF dengan peningkatan fotodegradasi metilen biru. *Partikuologi*, 69, hal.111-122.
- K. K. Saini, S. D. Sharma, Chanderkant, M. Kar, D. Singh, and C. P. Sharma., 2017 Structural and optical properties of TiO<sub>2</sub> thin films derived by sol-gel dip coating process, *J. Non-Cryst. Solids*, vol. 353, no. 24-25, pp. 2469-2473.
- K. Yao, Z. Peng, Z. H. Liao, and J. J. Chen., 2009 Preparation and Photocatalytic Property of TiO<sub>2</sub>- Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Core-Shell Nanoparticles, vol. 9.
- K.Nakata and A. Fujishima., 2012, TiO<sub>2</sub> photocatalysis: Design and applications, *J. Photochem. Photobiol. C Photochem. Rev.*, vol. 13, no.3, pp. 169-189.
- Kanakaraju, D. dan Chandrasekaran, A., 2023. Kemajuan terkini dalam fotokatalis biner dan terner berbasis TiO<sub>2</sub>/ZnS untuk degradasi polutan organik. *Ilmu Lingkungan Total*, 868, hal.161525.
- Kavaliunas, V., Krugly, E., Sriubas, M., Mimura, H., Laukaitis, G. dan Hatanaka, Y., 2020. Pengaruh dopan Mg, Cu, dan Ni terhadap aktivitas fotokatalitik film tipis TiO<sub>2</sub> amorf. *Bahan*, 13(4), hal.886.
- Khan, I., Khan, I., Usman, M., Imran, M. dan Saeed, K., 2020. Peningkatan aktivitas fotokatalitik yang dimediasi nanoclay dari nanopartikel tembaga oksida untuk meningkatkan fotodegradasi metil jingga. *Jurnal Ilmu Material: Material dalam Elektronika*, 31, hlm.8971-8985.
- Khan, I., Saeed, K., Zekker, I., Zhang, B., Hendi, AH, Ahmad, A., Ahmad, S., Zada, N., Ahmad, H., Shah, LA dan Shah, T., 2022. Review metilen biru: sifat, kegunaan, toksisitas dan fotodegradasi. *Air*, 14(2), hal.242.
- Kim, D., Kim, KM, Han, H., Lee, J., Ko, D., Park, KR, Jang, KB, Kim, D., Forrester, JS, Lee, SH dan Kim, JC, 2022 Film tipis multilapis Ti/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> dengan selektivitas spektral yang ditingkatkan untuk filter pita sempit optik. *Laporan Ilmiah*, 12(1), hal.32.
- Kim, MG, Lee, JE, Kim, KS, Kang, JM, Lee, JH, Kim, KH, Cho, M. dan Lee, SG, 2021. Degradasi fotokatalitik metilen biru di bawah sinar UV dan cahaya

- tampak oleh brookite–rutile bi -fase kristal TiO<sub>2</sub>. *Jurnal Kimia Baru*, 45(7), hal.3485-3497.
- Komaraiah, D., Madhukar, P., Vijayakumar, Y., Reddy, MR dan Sayanna, R., 2016. Studi degradasi fotokatalitik metilen biru oleh film tipis TiO<sub>2</sub> brookitedengan penyinaran cahaya tampak. *Materi Hari Ini: Prosiding*, 3(10), hal.3770-3778.
- Krithiga, T., Sathish, S., Renita, AA, Prabu, D., Lokesh, S., Geetha, R., Namasivayam, SKR dan Sillanpaa, M., 2022. Polutan organik yang persisten dalam sumber daya air: Nasib, kejadian , karakterisasi dan analisis risiko. *Ilmu Lingkungan Total*, 831, hal.154808.
- L.E.Scriven., 1998, *Physics and Applications of Dip-Coating and Spin Coating*, J. Materials Research Society, vol.121.
- Lakshmi, S., Renganathan, R. dan Fujita, S., 1995. Studi degradasi fotokatalitik metilen biru yang dimediasi TiO<sub>2</sub>. *Jurnal Fotokimia dan Fotobiologi A: Kimia*, 88(2-3), hlm.163-167.
- Lee, DY, Kim, JT, Park, JH, Kim, YH, Lee, IK, Lee, MH dan Kim, BY, 2013. Pengaruh doping Er pada energi celah pita optik film tipis TiO<sub>2</sub> yang dibuat dengan pelapisan spin. *Fisika terapan saat ini*, 13(7), hal.1301-1305.
- Lee, DY, Park, JH, Kim, YH, Lee, MH dan Cho, NI, 2014. Pengaruh doping Nb terhadap morfologi, struktur kristal, energi celah pita optik film tipis TiO<sub>2</sub>. *Fisika Terapan Saat Ini*, 14(3), hal.421-427.
- Li, N., Li, Y., Zhou, Y., Li, W., Ji, S., Yao, H., Cao, X. dan Jin, P., 2017. Fotokromisme yang diinduksi transfer muatan antar muka nanorod cangkang amorf inti kristal MoO<sub>3</sub>@ TiO<sub>2</sub>. *Bahan Energi Surya dan Sel Surya*, 160, hal.116-125.
- Luo, S., Wang, F., Shi, Z. dan Xin, F., 2009. Pembuatan fotokatalis anatase TiO<sub>2</sub> yang sangat aktif dengan metode templat campuran. *Jurnal ilmu pengetahuan dan teknologi sol-gel*, 52(1), hal.1-7.
- M. M. Karkare., 2014, Estimation of band gap and particle size of TiO<sub>2</sub> nanoparticle synthesized using sol gel technique, *Journal of Physical Science and engineering*, vol.3. page 8-15.
- Maddu, A., Palupi, E., dan Indro, M.N., 2009, Pengaruh Konsentrasi Awal Dan Penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Terhadap Efektivitas Degradasi Fotokatalisis Methylene Blue Pada Film TiO<sub>2</sub>, *Jurnal Purifikasi*, 10(01), 71–78.
- Makula, P., Pacia, M. dan Macyk, W., 2018. Cara menentukan dengan benar energi celah pita fotokatalis semikonduktor yang dimodifikasi berdasarkan spektrum UV – Vis. *Jurnal surat kimia fisika*, 9(23), hlm.6814-6817.
- Manickam, K., Muthusamy, V., Manickam, S., Senthil, TS, Periyasamy, G. and Shanmugam, S., 2020. Pengaruh suhu annealing terhadap sifat struktural,

morfologi dan optik film tipis nanokristalin TiO<sub>2</sub> hasil sintesis sol –metode pelapisan celup gel. Materi Hari Ini: Prosiding, 23, hal.68-72.

- Manurung, M., 2012, Aplikasi Kulit Buah Manggis (*Garcinia Mangostana* L.) Sebagai Pewarna Alami Pada Kain Katun Secara Pre-Mordanting, *Journal of Chemistry*, 6(2): 183-190.
- Naidu, R., Biswas, B., Willett, IR, Cribb, J., Singh, BK, Nathanail, CP, Coulon, F., Semple, KT, Jones, KC, Barclay, A. dan Aitken, RJ, 2021 Polusi kimia: Bahaya yang semakin besar dan potensi bencana besar bagi umat manusia. *Lingkungan Internasional*, 156, hal.106616.
- Neldawati, Ratnawulan., Gusnedi., 2013, Analisis Nilai Absorbansi Dalam Penentuan Kadar Flavanoid Untuk Berbagai Jenis Daun Tanaman Obat, *Phillar of Physics*, 2: 76-83.
- Nobuaki. Negishi., K. Takeuchi and T. Ibusuki, 1998, *Journal of So-Gel Science and Technology*, 13, 691-694.
- Putri, Maywontiana.D., 2018, Pengaruh Suhu Kalsinasi Terhadap Struktur dan Energi Celah Pita Pada Komposit ZSM-5-TiO<sub>2</sub> Yang Dibuat Dengan Metode Nanaqueous Sol Gel, Skripsi, Program Studi Kimia Fakultas Ilmu Alam, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Qodri, A.A., 2011, Fotodegradasi Zat Warna Remazol Yellow Fg dengan Fotokatalis Komposit TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>, Surakarta : FMIPA Universitas Sebelas Maret.
- Riyanto, 2009, *Kimia Analisis Instrumental I*, Diktat, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.
- Rizki, A., Syahputra, E., Pandia, S., dan Halimatuddahila, 2019, Pengaruh Waktu Kontak dan Massa Adsorben Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica*) dengan Aktivator H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> terhadap Kapasitas Adsorpsi Zat Warna Methylene Blue, *Jurnal Teknik Kimia USU*, 08(2), 54–60.
- S. Ma, S. Zhan, Y. Jia and Q. Zhou.,2015, Superior Antibacterial Activity of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-TiO<sub>2</sub> Nanosheets under Solar Light, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol.7, no.39,pp. 21875-32883.
- Sanjaya, H, Syukri Arief, Admin Alif, 2013, Pembuatan Lapisan Tipis TiO<sub>2</sub> Pada Plat Kaca dengan Metoda Dipcoating dan Uji Aktivitas Pada Air Gambut, Padang: Jurusan Kimia Universitas Negeri Padang dan Jurusan Kimia Universitas Andalas.
- Saraswati, I.G.A.A., Diantariani, N.P., dan Suarya, P., 2015, Fotodegradasi Metilen Biru dengan Sinar Ultraviolet dan Katalis ZnO, *Jurnal Kimia*, 9(2),175-192.
- Smallman, R.E., 1999, *Metalurgi Fisik Modern & rekayasa Material*. Edisi ke enam, Erlangga, Jakarta.

- Sreemany, M. dan Sen, S., 2004. Metode spektrofotometri sederhana untuk penentuan konstanta optik dan energi celah pita film tipis TiO<sub>2</sub> beberapa lapis. *Bahan Kimia dan Fisika*, 83(1), hal.169-177.
- Suharyana., 2012, *Dasar-Dasar dan Pemanfaatan Metode Difraksi Sinar-X*, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Sumari, Prakasa, Y.F., Asrori, M.R., dan Baharintasari, D.R., 2020, Analisis Kandungan Mineral Pasir Pantai Bajul Mati Kabupaten Malang Menggunakan XRF dan XRD, *Fullerene Journal of Chemistry*, 5(2), 58–62.
- Tanemura, S., Miao, L., Wunderlich, W., Tanemura, M., Mori, Y., Toh, S. dan Kaneko, K., 2005. Pembuatan dan karakterisasi film tipis anatase/rutile–TiO<sub>2</sub> dengan magnetron terdapat: ulasan. *Sains dan Teknologi Material Maju*, 6(1), hal.11-17.
- Tariq, MK, Riaz, A., Khan, R., Wajid, A., Haq, HU, Javed, S., ... & Islam, M. (2019). Studi banding film tipis TiO<sub>2</sub> yang didoping Ag, Sn atau Zn untuk degradasi fotokatalitik metilen biru dan metil jingga. *Penelitian Bahan Ekspres*, 6(10), 106435.
- Tariq, MK, Riaz, A., Khan, R., Wajid, A., Haq, HU, Javed, S., Akram, MA dan Islam, M., 2019. Studi Banding TiO<sub>2</sub> yang didoping Ag, Sn atau Zn tipis film untuk degradasi fotokatalitik metilen biru dan metil oranye. *Bahan Penelitian Ekspres*, 6(10), hal.106435.
- Tkaczyk, A., Mitrowska, K. dan Posyniak, A., 2020. Pewarna organik sintetik sebagai pencemar lingkungan perairan dan implikasinya terhadap ekosistem: Tinjauan. *Ilmu lingkungan total*, 717, hal.137222.
- Tran, NM, Ta, QTH, Sreedhar, A. dan Noh, JS, 2021. Ti<sub>3</sub>C<sub>2</sub>T<sub>x</sub> MXene berperan sebagai adsorben metilen biru yang kuat dalam air limbah. *Ilmu Permukaan Terapan*, 537, hal.148006.
- Widjajanti, E., Regina T.P., Utomo, M.P., 2011, Pola Adsorpsi Zeolit Terhadap Pewarna Azo Metil Merah dan Metil Jingga, *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*. hal K115-K122, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Widyandari, H., M.Budiman., 2004, *Berkala Fisika*, 7(1): 28-3.
- Widyawati, N., 2012, *Analisa Pengaruh Heating Rate terhadap tingkat Kristal dan Ukuran Butir Lapisan BZT yang Ditumbuhkan dengan Metode Sol Gel*, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Y. Takahashi dan Y. Matsuoka, *J. Mat. Sci.* 23, 2259 (1998).
- Y. W. Mynt, T.T. Moe, W. Y. Linn, A. Chang, and P.P. Win., 2017, The Effect of Heat Treatment on Phase Transformation and Morphology of Nano-Crystalline Titanium Dioxide (TiO<sub>2</sub>), *Int. J. Sci. Technol, Res.*, vol.6.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Perhitungan pembuatan larutan

1. Pembuatan Larutan Induk metilen biru 100 ppm dalam 100 mL

$$\begin{aligned}100 \frac{mg}{L} &= \frac{x}{0.1L} \\ &= 10 mg \\ &= 0,01 gram\end{aligned}$$

2. Pengenceran Larutan Induk metilen biru 100 ppm menjadi 10 ppm

$$\begin{aligned}M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\ 100 \text{ ppm} \times V_1 &= 10 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL} \\ V_1 &= 10 \text{ mL}\end{aligned}$$

3. Pengenceran Larutan induk metilen biru 100 ppm mejnadi 5 ppm

$$\begin{aligned}M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\ 100 \text{ ppm} \times V_1 &= 5 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL} \\ V_1 &= 5 \text{ mL}\end{aligned}$$

### Lampiran 2. Perhitungan % Degradasi Larutan metilen biru

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{C_o - C_e}{C_e} \times 100\%$$

#### A. Larutan metilen biru

10 ppm 300 °C

**1 Jam**

$$\begin{aligned}\% \text{ Degradasi} &= \frac{0,57 - 0,34}{0,34} \times 100\% \\ &= 40,3509\%\end{aligned}$$

**2 Jam**

$$\begin{aligned}\% \text{ Degradasi} &= \frac{0,57 - 0,19}{0,19} \times 100\% \\ &= 66,6667 \%\end{aligned}$$

**3 Jam**

$$\begin{aligned}\% \text{ Degradasi} &= \frac{0,57 - 0,17}{0,17} \times 100\% \\ &= 70,1754\%\end{aligned}$$

**4 Jam**

$$\begin{aligned}\% \text{ Degradasi} &= \frac{0,57 - 0,16}{0,16} \times 100\% \\ &= 71,9298 \%\end{aligned}$$

**5 Jam**

$$\begin{aligned}\% \text{ Degradasi} &= \frac{0,57 - 0,06}{0,06} \times 100\% \\ &= 89,4737 \%\end{aligned}$$

2) 400 °C

**1 Jam**

$$\begin{aligned}\% \text{ Degradasi} &= \frac{0,57 - 0,22}{0,22} \times 100\% \\ &= 61,4035 \%\end{aligned}$$

**2 Jam**

$$\begin{aligned}\% \text{ Degradasi} &= \frac{0,57 - 0,17}{0,17} \times 100\% \\ &= 70,1754 \%\end{aligned}$$

**3 Jam**

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{0,57 - 0,12}{0,12} \times 100\%$$



$$= 78,9474 \%$$

**4 Jam**

$$\begin{aligned} \% \text{ Degradasi} &= \frac{0,57 - 0,08}{0,08} \times 100\% \\ &= 85,9649 \% \end{aligned}$$

**5 Jam**

$$\begin{aligned} \% \text{ Degradasi} &= \frac{0,57 - 0,06}{0,06} \times 100\% \\ &= 89,4737 \% \end{aligned}$$

3) 500 °C

**1 Jam**

$$\begin{aligned} \% \text{ Degradasi} &= \frac{0,57 - 0,24}{0,24} \times 100\% \\ &= 57,5947 \% \end{aligned}$$

**2 Jam**

$$\begin{aligned} \% \text{ Degradasi} &= \frac{0,57 - 0,2}{0,2} \times 100\% \\ &= 64,9123 \% \end{aligned}$$

**3 Jam**

$$\begin{aligned} \% \text{ Degradasi} &= \frac{0,57 - 0,15}{0,15} \times 100\% \\ &= 73,6842 \% \end{aligned}$$

**4 Jam**

$$\begin{aligned} \% \text{ Degradasi} &= \frac{0,57 - 0,14}{0,14} \times 100\% \\ &= 75,4386 \% \end{aligned}$$

**5 Jam**

$$\begin{aligned} \% \text{ Degradasi} &= \frac{0,57 - 0,11}{0,11} \times 100\% \\ &= 80,7018 \% \end{aligned}$$

4) TiO<sub>2</sub> Murni 400 °C  
**1 Jam**

$$\begin{aligned} \% \text{ Degradasi} &= \frac{0,57 - 0,37}{0,37} \times 100\% \\ &= 35,0877 \% \end{aligned}$$

**2 Jam**

$$\begin{aligned} \% \text{ Degradasi} &= \frac{0,57 - 0,3}{0,3} \times 100\% \\ &= 47,3684 \% \end{aligned}$$

**3 Jam**

$$\begin{aligned} \% \text{ Degradasi} &= \frac{0,57 - 0,23}{0,23} \times 100\% \\ &= 59,6491 \% \end{aligned}$$

**4 Jam**

$$\begin{aligned} \% \text{ Degradasi} &= \frac{0,57 - 0,2}{0,2} \times 100\% \\ &= 64,9123\% \end{aligned}$$

**5 Jam**

$$\begin{aligned} \% \text{ Degradasi} &= \frac{0,57 - 0,17}{0,17} \times 100\% \\ &= 70,1754 \% \end{aligned}$$

B. Larutan MB 5 ppm

1) 300 °C

**1 Jam**

% Degradasi =

$$\frac{0,42 - 0,23}{0,23} \times 100\%$$

---

$$= 45,2381 \%$$

**2 Jam**

$$\begin{aligned} \% \text{ Degradasi} &= \frac{0,42 - 0,09}{0,09} \times 100\% \\ &= 78,5714 \% \end{aligned}$$

**3 Jam**

$$\begin{aligned} \% \text{ Degradasi} &= \frac{0,42 - 0,07}{0,07} \times 100\% \\ &= 83,3333 \% \end{aligned}$$

**4 Jam**

$$\begin{aligned} \% \text{ Degradasi} &= \frac{0,42 - 0,06}{0,06} \times 100\% \\ &= 85,7143 \% \end{aligned}$$

**5 Jam**

$$\begin{aligned} \% \text{ Degradasi} &= \frac{0,42 - 0,06}{0,06} \times 100\% \\ &= 85,7143 \% \end{aligned}$$

2) 400 °C

**1 Jam**

$$\begin{aligned} \% \text{ Degradasi} &= \frac{0,42 - 0,24}{0,24} \times 100\% \\ &= 45,8571 \% \end{aligned}$$

**2 Jam**

$$\begin{aligned} \% \text{ Degradasi} &= \frac{0,42 - 0,09}{0,09} \times 100\% \\ &= 78,5714 \% \end{aligned}$$

**3 Jam**

$$\begin{aligned}\% \text{ Degradasi} &= \frac{0,42 - 0,08}{0,08} \times 100\% \\ &= 80,9524 \%\end{aligned}$$

**4 Jam**

$$\begin{aligned}\% \text{ Degradasi} &= \frac{0,42 - 0,07}{0,07} \times 100\% \\ &= 83,3333 \%\end{aligned}$$

**5 Jam**

$$\begin{aligned}\% \text{ Degradasi} &= \frac{0,42 - 0,07}{0,07} \times 100\% \\ &= 83,3333 \%\end{aligned}$$

3) 500 °C

**1 Jam**

$$\begin{aligned}\% \text{ Degradasi} &= \frac{0,42 - 0,21}{0,21} \times 100\% \\ &= 50 \%\end{aligned}$$

**2 Jam**

$$\begin{aligned}\% \text{ Degradasi} &= \frac{0,42 - 0,1}{0,1} \times 100\% \\ &= 76,1905 \%\end{aligned}$$

**3 Jam**

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{0,42 - 0,07}{0,07} \times 100\%$$

$$= 83,3333 \%$$

**4 Jam**

$$\begin{aligned} \% \text{ Degradasi} &= \frac{0,42 - 0,07}{0,07} \times 100\% \\ &= 83,3333 \% \end{aligned}$$

**5 Jam**

$$\begin{aligned} \% \text{ Degradasi} &= \frac{0,42 - 0,07}{0,07} \times 100\% \\ &= 83,3333 \% \end{aligned}$$

4) **TiO<sub>2</sub> Murni 400 °C**

**1 Jam**

$$\begin{aligned} \% \text{ Degradasi} &= \frac{0,42 - 0,17}{0,17} \times 100\% \\ &= 59,5238 \% \end{aligned}$$

**2 Jam**

$$\begin{aligned} \% \text{ Degradasi} &= \frac{0,42 - 0,14}{0,14} \times 100\% \\ &= 66,6667 \% \end{aligned}$$

**3 Jam**

$$\begin{aligned} \% \text{ Degradasi} &= \frac{0,42 - 0,1}{0,1} \times 100\% \\ &= 76,1905 \% \end{aligned}$$

**4 Jam**

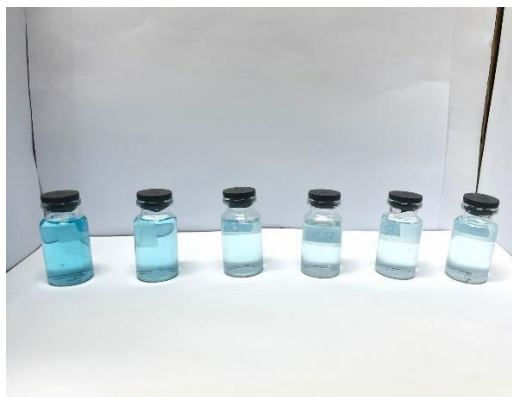
$$\% \text{ Degradasi} =$$

$$\frac{0,42 - 0,1}{0,1} \times 100\% \text{ —————}$$
$$= 76,1905 \%$$

**5 Jam**

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{0,42 - 0,07}{0,07} \times 100\%$$
$$= 83,3333 \%$$

## Lampiran 3 Gambar Fotokatalis

a). TiO<sub>2</sub> Murni Metilen Biru 5ppmb) TiO<sub>2</sub> Murni Metilen Biru 10ppma) TiO<sub>2</sub> doping Zn10% dengan suhu 300 oC Metilen Biru 5ppmb) TiO<sub>2</sub> doping Zn10% dengan suhu 300 oC Metilen Biru 10 ppma) TiO<sub>2</sub> doping Zn10% dengan suhu 400 °C Metilen Biru 5ppmb) TiO<sub>2</sub> doping Zn10% dengan suhu 400 °C Metilen Biru 10ppm





a) TiO<sub>2</sub> doping Zn10% dengan suhu 500 °C Metilen Biru 5ppm



b) TiO<sub>2</sub> doping Zn10% dengan suhu 450 °C Metilen Biru 10ppm

Lampiran 4. Tabel Absorbansi

		Metilen biru		Absorbansi					
Sampel	Suhu (°C)	5 ppm	10 ppm	0	1	2	3	4	5
TiO <sub>2</sub> Murni	400	V		0,42	0,17	0,14	0,1	0,1	0,07
TiO <sub>2</sub> Murni	400		V	0,57	0,37	0,3	0,23	0,2	0,17
TiO <sub>2</sub> doping Zn 10 ppm	300	V		0,42	0,23	0,09	0,07	0,06	0,06
TiO <sub>2</sub> doping Zn 10 ppm	300		V	0,57	0,34	0,19	0,17	0,16	0,06
TiO <sub>2</sub> doping Zn 10 ppm	400	V		0,42	0,24	0,09	0,08	0,07	0,07
TiO <sub>2</sub> doping Zn 10 ppm	400		V	0,57	0,22	0,17	0,12	0,08	0,06
TiO <sub>2</sub> doping Zn 10 ppm	500	V		0,42	0,21	0,1	0,07	0,07	0,7
TiO <sub>2</sub> doping Zn 10 ppm	500		V	0,57	0,24	0,2	0,15	0,14	0,11

Lampiran 5 Tabel % degradasi

Sampe l	Suh u	Fotokatali s			%Degradasi				
		5 ppm	10 ppm	1	2	3	4	5	
TiO <sub>2</sub>	400	V		59,523	66,666	76,190	76,190	83,333	

**Murni**

8

7

5

5

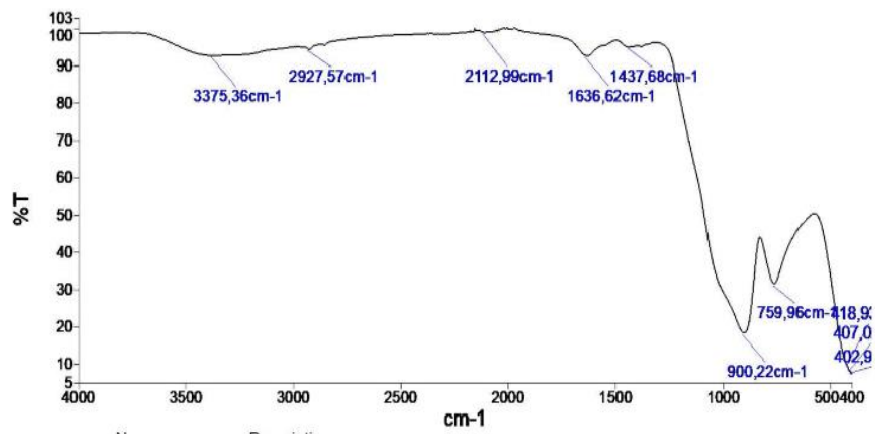
3

---

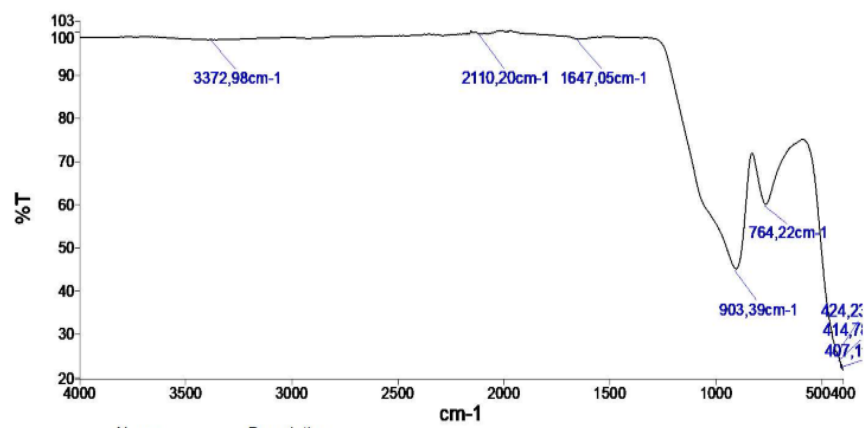
<b>TiO<sub>2</sub> Murni</b>	400		V	35,087 7	47,368 4	59,649 1	64,912 3	70,175 4
<b>TiO<sub>2</sub> doping Zn 10 ppm</b>	300	V		45,238 1	78,571 4	83,333 3	85,714 3	85,714 3
<b>TiO<sub>2</sub> doping Zn 10 ppm</b>	300		V	40,350 9	66,666 7	70,175 4	71,929 8	89,473 7
<b>TiO<sub>2</sub> doping Zn 10 ppm</b>	400	V		42,857 1	78,571 4	80,952 4	83,333 3	83,333 3
<b>TiO<sub>2</sub> doping Zn 10 ppm</b>	400		V	61,403 5	70,175 4	78,947 4	85,964 9	89,473 7
<b>TiO<sub>2</sub> doping Zn 10 ppm</b>	500	V		50	76,190 5	83,333 3	83,333 3	83,333 3
<b>TiO<sub>2</sub> doping Zn 10 ppm</b>	500		V	57,894 7	64,912 3	73,684 2	75,438 6	80,701 8

## Lampiran 6. Data Instrumen

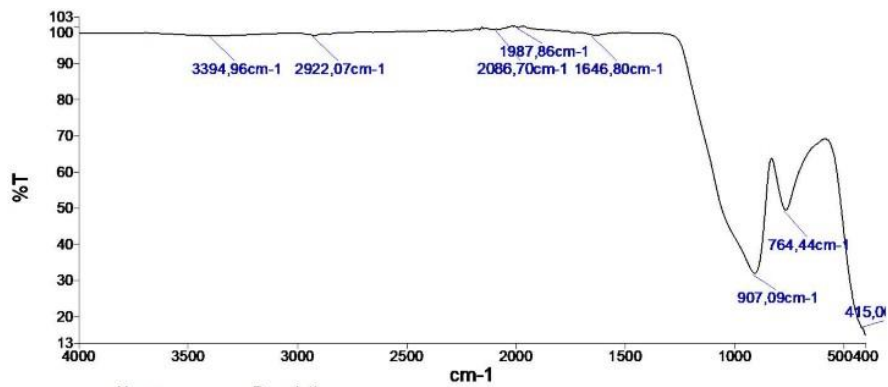
## FTIR



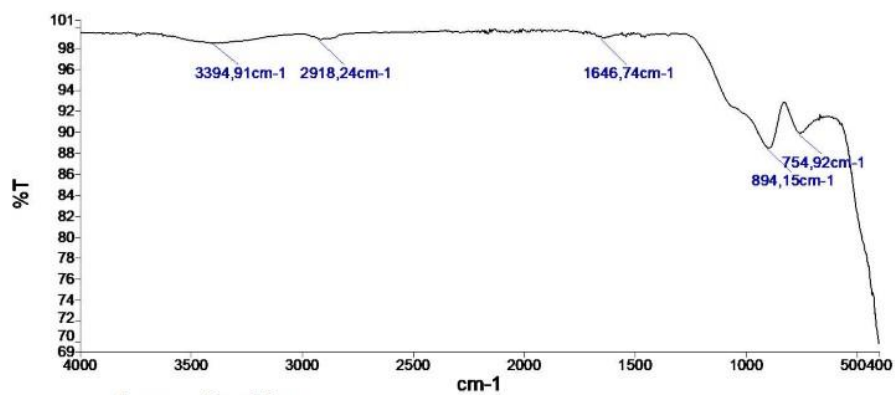
Name Description  
10490823-1 TiO2 Zn10% suhu 300 C



Name Description  
10490823-2 TiO2 Zn10% suhu 400 C



Name Description  
10490823-3 TiO<sub>2</sub> Zn10% suhu 500 C



Name Description  
10490823-7 TiO<sub>2</sub> Murni