

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT TiO<sub>2</sub>-KARBON AKTIF  
DARI JERAMI PADI DENGAN VARIASI KOMPOSISI MASSA UNTUK  
FOTODEGRADASI ZAT WARNA METIL JINGGA**

**SKRIPSI**

**Oleh:  
SELVIA INDRIANI  
NIM. 18630033**



**PROGRAM STUDI KIMIA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2022**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT TiO<sub>2</sub>-KARBON AKTIF  
DARI JERAMI PADI DENGAN VARIASI KOMPOSISI MASSA UNTUK  
FOTODEGRADASI ZAT WARNA METIL JINGGA**

**SKRIPSI**

**Oleh:  
SELVIA INDRIANI  
NIM. 18630033**

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

**PROGRAM STUDI KIMIA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2022**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT TiO<sub>2</sub>-KARBON AKTIF  
DARI JERAMI PADI DENGAN VARIASI KOMPOSISI MASSA UNTUK  
FOTODEGRADASI ZAT WARNA METIL JINGGA**

**SKRIPSI**

oleh:  
**SELVIA INDRIANI**  
NIM. 18630033

**Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji**  
Tanggal: 17 Oktober 2022

**Pembimbing I**



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

**Pembimbing II**



**Lilik Miftahul Khoiroh, M.Si**  
NIP. 19831226 201903 2 008

**Mengetahui,**  
**Ketua Program Studi**



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

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT TiO<sub>2</sub>-KARBON AKTIF  
DARI JERAMI PADI DENGAN VARIASI KOMPOSISI MASSA UNTUK  
FOTODEGRADASI ZAT WARNA METIL JINGGA**

**SKRIPSI**

oleh:  
**SELVIA INDRIANI**  
NIM. 18630033

**Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Tugas  
Akhir/Skripsi dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu  
Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Tanggal: 15 November 2022**

<b>Penguji Utama</b>	<b>:</b>	<b>A. Ghanaim Fasya, M.Si</b> NIP. 19820616 200604 1 002	 (.....)
<b>Ketua Penguji</b>	<b>:</b>	<b>Susi Nurul Kholifah, M.Si</b> NIP. 19851020 201903 2 012	 (.....)
<b>Sekretaris Penguji</b>	<b>:</b>	<b>Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc</b> NIDT. 19900906 20180201 2 239	 (.....)
<b>Anggota Penguji</b>	<b>:</b>	<b>Lilik Miftahul Khoiroh, M.Si</b> NIP. 19831226 201903 2 008	 (.....)

**Mengetahui,  
Ketua Program Studi**

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



## PERNYATAAN ORISINALITAS PENELITIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Selvia Indriani

NIM : 18630033

Program Studi : Kimia

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : “ Sintesis dan Karakterisasi Komposit TiO<sub>2</sub>-Karbon Aktif dari Jerami Padi dengan Variasi Komposisi Massa untuk Fotodegradasi Zat Warna Metil Jingga”

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

Malang,  
Yang membuat pernyataan,



Selvia Indriani  
NIM. 18630033

## MOTTO

*“Allah tidak memandang atribut kita; tapi memandang hati dan kelakuan kita”*

*-Ahmad Mustofa Bisri-*

*“Tuhan tidak menilai hasil akhirmu, yang Tuhan nilai adalah bagaimana usahamu dalam memperjuangkannya”*

*-Emha Ainun Nadjib-*

*“Do’akan yang dikerjakan,  
Kerjakan yang dido’akan,  
Sisanya serahkan pada Tuhan.”*

*-Rifqil Muslim Suyuthi-*

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Alhamdulillah..* segala puji dan syukur Saya panjatkan kepada Allah Swt. atas limpahan rahmat-Nya sehingga Saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Tulisan ini Saya persembahkan untuk:

1. Orang tua Saya, Bapak Dodot Sodikin dan Ibu Umayah yang selalu memberikan dukungan dan kepercayaannya kepada Saya, yang selalu mengusahakan yang terbaik untuk Saya, yang do'a-do'anya selalu mengalir untuk Saya.
2. Almh. Nenek dan Alm. Kakek Saya yang semasa hidupnya selalu mendo'akan Saya dan mencurahkan kasih sayangnya untuk Saya.
3. Keluarga besar Saya yang telah memberikan kehangatan setiap kali Saya pulang ke rumah, yang selalu menanyakan "kapan pulang?". Akhirnya setelah skripsi ini selesai, Saya bisa berkumpul kembali dengan mereka.
4. Semua Guru-guru Saya baik itu Guru-guru dari pendidikan formal maupun informal. Terima kasih atas ketulusannya dalam mengajarkan ilmu untuk Saya.
5. Sahabat-sahabat SMP dan SMA Saya yang selalu memberikan dukungan dan nasehat terbaiknya untuk Saya, yang selalu menjadi tempat untuk berbagi cerita.
6. Teman-teman Kamar 28 Fathimah Az-Zahra angkatan 2018 yang selalu memberikan dukungan dan do'a-do'a baiknya untuk Saya.
7. Teman-teman Keluarga Mahasiswa dan Pelajar (KAMAPA) Jawa Barat.
8. Teman-teman Kimia angkatan 2018 yang telah kebersamai penulis selama penulis menempuh studi di Kimia UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.

Terima kasih atas semua do'a dan dukungan yang telah kalian berikan untuk Saya. Semoga Allah Swt. selalu meridhoi setiap langkah kalian dan membalas semua kebaikan-kebaikan kalian.

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah*, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Swt. atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Sintesis dan Karakterisasi Komposit TiO<sub>2</sub>-Karbon Aktif dari Jerami Padi dengan Variasi Komposisi Massa untuk Fotodegradasi Zat Warna Metil Jingga”**. Semoga semua yang penulis upayakan dapat memberikan manfaat kepada pembaca. Selawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad saw. yang telah menjadi suri teladan untuk seluruh umat manusia. Semoga kita dapat memperoleh syafaatnya di hari akhir nanti. Selanjutnya penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu menyelesaikan skripsi ini, khususnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. M. Zainuddin, MA. selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Ibu Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Ibu Rachmawati Ningsih, M.Si selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Ibu Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan memotivasi penulis selama penyusunan dan penyelesaian skripsi.



5. Ibu Lilik Miftahul Khoiroh, M.Si selaku dosen pembimbing agama yang telah membimbing dan memotivasi penulis selama penyusunan dan penyelesaian skripsi.
6. Bapak Ahmad Ghanaim Fasya, M.Si dan Ibu Susi Nurul Khalifah, M.Si yang telah memberikan kritik dan sarannya demi terbentuknya karya tulis yang lebih baik.
7. Bapak Dr. Anton Prasetyo, M.Si selaku dosen wali yang telah memberikan motivasi dan dukungan kepada penulis selama menempuh pendidikan S-1 di Kimia UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
8. Seluruh dosen program studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan ilmu dan wawasannya kepada penulis.
9. Seluruh laboran program studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah membantu penulis selama penelitian di laboratorium.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, semua kritik dan saran akan penulis terima dengan lapang hati. Penulis juga memohon maaf kepada semua pihak apabila terdapat kesalahan selama penyusunan skripsi ini. Demikian skripsi ini penulis susun, semoga dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Malang, 21 Oktober 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN ORISINALITAS PENELITIAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>MOTTO</b> .....	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xv</b>
<b>مستخلص البحث</b> .....	<b>xvi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	7
1.3 Tujuan Penelitian .....	7
1.4 Batasan Masalah .....	8
1.5 Manfaat Penelitian .....	8
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Material Semikonduktor TiO <sub>2</sub> sebagai Fotokatalis .....	10
2.2 Karbon Aktif sebagai Material Penyangga TiO <sub>2</sub> .....	13
2.3 Jerami Padi sebagai Sumber Karbon Aktif .....	18
2.4 Metil Jingga.....	20
2.5 Sintesis TiO <sub>2</sub> -Karbon Aktif menggunakan Metode Sonikasi .....	22
2.6 Pemanfaatan Tumbuhan sebagai Sumber Material dalam Perspektif Islam .	25
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian .....	28
3.2 Alat Dan Bahan .....	28
3.2.1 Alat .....	28
3.2.2 Bahan .....	28
3.3 Tahapan Penelitian .....	29
3.4 Prosedur Kerja.....	29
3.4.1 Preparasi dan Aktivasi Karbon dari Jerami Padi.....	29
3.4.2 Sintesis TiO <sub>2</sub> -Karbon Aktif menggunakan Metode Sonikasi .....	30
3.4.3 Identifikasi Energi Celah Pita Fotokatalis TiO <sub>2</sub> -Karbon Aktif menggunakan Spektrofotometer UV-Vis DRS .....	30
3.4.4 Identifikasi Struktur Kristal Fotokatalis TiO <sub>2</sub> -Karbon Aktif menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	30
3.4.5 Identifikasi Gugus Fungsi menggunakan Spektroskopi FTIR .....	31
3.4.6 Uji Aktivitas Fotokatalis TiO <sub>2</sub> -Karbon Aktif terhadap Degradasi Metil Jingga.....	31

3.4.6.1 Pembuatan Larutan Induk Metil Jingga 100 ppm .....	31
3.4.6.2 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Metil Jingga ..	31
3.4.6.3 Pembuatan Kurva Standar Metil Jingga .....	32
3.4.6.4 Fotodegradasi Metil Jingga dengan Variasi Komposisi Massa TiO <sub>2</sub> -KAJP .....	32
3.4.6.5 Fotodegradasi Metil Jingga dengan Variasi Massa Katalis .	33
3.4.6.6 Uji Efektivitas Fotokatalis terhadap Fotodegradasi Metil Jingga .....	33
3.4.7 Analisis Data .....	34
 <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Hasil Preparasi dan Aktivasi Karbon Aktif Jerami Padi .....	37
4.2 Hasil Analisis Struktur Komposit TiO <sub>2</sub> -KAJP menggunakan Teknik Difraksi Sinar-X.....	38
4.3 Hasil Analisis Energi Celah Pita Komposit TiO <sub>2</sub> -KAJP menggunakan UV-Vis <i>Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (DRS).....	41
4.4 Hasil Analisis Gugus Fungsi Komposit TiO <sub>2</sub> -KAJP menggunakan Spektroskopi <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR) .....	44
4.5 Hasil Fotodegradasi Metil Jingga menggunakan Fotokatalis TiO <sub>2</sub> -KAJP ...	47
4.5.1 Panjang Gelombang Maksimum Metil Jingga .....	47
4.5.2 Kurva Standar Metil Jingga .....	47
4.5.3 Hasil Fotodegradasi Metil Jingga dengan Variasi Komposisi Massa TiO <sub>2</sub> -Karbon Aktif Jerami Padi .....	48
4.5.4 Hasil Fotodegradasi Metil Jingga dengan Variasi Massa Fotokatalis .....	52
4.5.5 Hasil Uji Efektivitas Fotokatalis terhadap Fotodegradasi Metil Jingga .....	54
4.6 Integrasi Hasil Penelitian dalam Perspektif Islam .....	57
 <b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan .....	60
5.2 Saran .....	61
 <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>62</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>68</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Beberapa penelitian terdahulu yang melakukan sintesis TiO <sub>2</sub> -karbon aktif .....	25
Tabel 3.1	Karakteristik vibrasi TiO <sub>2</sub> -karbon aktif .....	35
Tabel 4.1	Ukuran kristal TiO <sub>2</sub> anatas, TiO <sub>2</sub> -KAJP 5%, TiO <sub>2</sub> -KAJP 10%, dan TiO <sub>2</sub> -KAJP 15% .....	40
Tabel 4.2	Energi celah pita dan daerah serapan panjang gelombang.....	44
Tabel 4.3	Identifikasi gugus fungsi .....	46
Tabel 4.4	Hasil analisis menggunakan <i>One Way</i> ANOVA.....	51
Tabel 4.5	Hasil uji Tukey HSD .....	51
Tabel 4.6	Hasil analisis menggunakan <i>One Way</i> ANOVA.....	53
Tabel 4.7	Hasil uji Tukey HSD .....	54
Tabel 4.8	Hasil analisis menggunakan <i>One Way</i> ANOVA.....	57
Tabel 4.9	Hasil uji Tukey HSD .....	57

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur dari TiO <sub>2</sub> (a) fasa rutil, (b) fasa anatase, dan (c) fasa brookit .....	11
Gambar 2.2	Mekanisme fotokatalitik TiO <sub>2</sub> .....	12
Gambar 2.3	Diagram skematik mekanisme fotodegradasi metilen biru menggunakan komposit TiO <sub>2</sub> /Karbon Aktif .....	15
Gambar 2.4	Spektra UV-Vis DRS (a) dan plot Kubelka-Munk dari P25, TiO <sub>2</sub> murni, dan TiO <sub>2</sub> -karbon aktif .....	16
Gambar 2.5	Pola difraksi dari (a) TiO <sub>2</sub> , (b) Karbon aktif, (c) TiO <sub>2</sub> -KA 5%, (d) TiO <sub>2</sub> -KA 10%, (e) TiO <sub>2</sub> -KA 15% .....	17
Gambar 2.6	Spektra FTIR komposit TiO <sub>2</sub> -karbon aktif.....	18
Gambar 2.7	Struktur metil jingga.....	21
Gambar 2.8	Mekanisme efek kavitas akustik .....	23
Gambar 2.9	Hasil karakterisasi TEM GR-TiO <sub>2</sub> sebelum (a-c) dan setelah kalsinasi (GR-TiO <sub>2</sub> -T) (d-f) dalam resolusi yang berbeda .....	24
Gambar 4.1	Karbon aktif dari jerami padi .....	37
Gambar 4.2	Komposit TiO <sub>2</sub> -KAJP 5%, TiO <sub>2</sub> -KAJP 10%, dan TiO <sub>2</sub> -KAJP 15% .....	38
Gambar 4.3	Difraktogram XRD TiO <sub>2</sub> anatase JCPDS, TiO <sub>2</sub> anatase sampel, TiO <sub>2</sub> -KAJP 5%, TiO <sub>2</sub> -KAJP 10%, dan TiO <sub>2</sub> -KAJP 15% .....	39
Gambar 4.4	Perbesaran puncak XRD pada posisi 2θ = 25° .....	39
Gambar 4.5	Grafik hubungan antara %reflektansi dengan panjang gelombang .....	42
Gambar 4.6	Grafik hubungan antara F(R) dengan panjang gelombang.....	42
Gambar 4.7	Nilai energi celah pita TiO <sub>2</sub> anatase dan TiO <sub>2</sub> -KAJP .....	43
Gambar 4.8	Spektra FTIR (a) karbon aktif, (b) TiO <sub>2</sub> anatase, (c) TiO <sub>2</sub> -KAJP 5%, (d) TiO <sub>2</sub> -KAJP 10%, dan (e) TiO <sub>2</sub> -KAJP 15% .....	46
Gambar 4.9	Panjang gelombang maksimum metil jingga .....	47
Gambar 4.10	Kurva standar metil jingga .....	48
Gambar 4.11	Hasil fotodegradasi metil jingga dengan variasi komposisi massa TiO <sub>2</sub> -KAJP.....	49
Gambar 4.12	Mekanisme reaksi fotodegradasi metil jingga.....	50
Gambar 4.13	Hasil uji aktivitas fotokatalis TiO <sub>2</sub> -KAJP 5% terhadap fotodegradasi metil jingga dengan variasi massa fotokatalis .....	52
Gambar 4.14	Hasil uji efektivitas fotokatalis terhadap fotodegradasi metil jingga .....	54

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Rancangan penelitian .....	68
Lampiran 2 Diagram alir .....	69
Lampiran 3 Perhitungan .....	76
Lampiran 4 Dokumentasi .....	87
Lampiran 5 Hasil karakterisasi XRD .....	91
Lampiran 6 Hasil karakterisasi UV-Vis DRS .....	95
Lampiran 7 Hasil karakterisasi FTIR .....	96
Lampiran 8 Hasil pengukuran absorbansi dengan Spektrofotometer UV-Vis....	98

## ABSTRAK

**Indriani, S. 2022. Sintesis dan Karakterisasi Komposit TiO<sub>2</sub>-Karbon Aktif dari Jerami Padi dengan Variasi Komposisi Massa untuk Fotodegradasi Zat Warna Metil Jingga.** Skripsi. Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing I: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc. Pembimbing II: Lilik Miftahul Khoiroh, M.Si.

---

---

**Kata kunci:** Titanium dioksida, karbon aktif, sonikasi, metil jingga, jerami padi.

Metil jingga merupakan salah satu zat warna yang digunakan dalam industri tekstil yang bersifat karsinogenik, mutagenik, dan sulit didegradasi sehingga dapat berbahaya bagi lingkungan. Salah satu cara untuk menanggulangi permasalahan limbah tekstil berupa zat warna yaitu dengan fotodegradasi menggunakan fotokatalis. Senyawa TiO<sub>2</sub> sering digunakan sebagai fotokatalis dalam fotodegradasi karena memiliki stabilitas termal yang tinggi dan tidak toksik. Akan tetapi, senyawa TiO<sub>2</sub> memiliki daya adsorpsi yang lemah dan sulit untuk dipisahkan dari larutan. Penambahan karbon aktif pada TiO<sub>2</sub> mampu meningkatkan aktivitas fotokatalitik TiO<sub>2</sub> dengan adanya efek sinergisme antara kemampuan adsorpsi karbon aktif dengan fotokatalitik TiO<sub>2</sub>.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat katalitik TiO<sub>2</sub>-Karbon aktif yang disintesis menggunakan metode sonikasi dengan variasi komposisi massa dan dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis DRS, Difraksi Sinar-X, dan FTIR. Karbon aktif dalam penelitian ini diperoleh dari jerami padi yang diaktivasi menggunakan larutan asam fosfat (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>). Fotokatalis TiO<sub>2</sub> - Karbon Aktif Jerami Padi (TiO<sub>2</sub>-KAJP) diuji aktivitasnya terhadap degradasi zat warna metil jingga dengan variasi komposisi massa dan massa fotokatalis. Selain itu, dilakukan uji efektivitas dari beberapa fotokatalis dengan atau tanpa penyinaran UV. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit TiO<sub>2</sub>-KAJP yang disintesis memiliki struktur kristal dengan fase anatase dan energi celah pita TiO<sub>2</sub>-KAJP semakin berkurang seiring dengan bertambahnya jumlah karbon aktif yang ditambahkan. Hasil karakterisasi menggunakan FTIR menunjukkan munculnya serapan baru pada TiO<sub>2</sub>-KAJP di daerah bilangan gelombang 1100-1051 cm<sup>-1</sup> dan 668-650 cm<sup>-1</sup> yang mengindikasikan adanya serapan gugus Si-O-Si *asymmetry* dan Si-O *symmetry* yang berasal dari karbon aktif. Aktivitas fotokatalitik TiO<sub>2</sub>-KAJP 5% menunjukkan hasil terbaik yaitu mampu mendegradasi zat warna metil jingga sebanyak 68,03% dengan massa fotokatalis yang ditambahkan 50 mg dan penyinaran UV selama 100 menit.



## ABSTRACT

**Indriani, S. 2022. Synthesis and Characterization Composite of TiO<sub>2</sub>-Activated Carbon from Rice Straw with Variation of Composition Mass for Photo degradation of Methyl Orange Dyes.** Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University Malang. Supervisor I: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc. Supervisor II: Lilik Miftahul Khoiroh, M.Si.

---

---

**Keywords:** *Titanium dioxide, activated carbon, sonication, methyl orange, rice straw.*

Methyl orange is one of the dyes used in the textile industry which is carcinogenic, mutagenic, and difficult to degrade so it can be harmful to the environment. One way to overcome the problem of textile waste in the form of dyes is by photodegradation using a photocatalyst. TiO<sub>2</sub> compounds are often used as photocatalysts in photodegradation because they have high thermal stability and are non-toxic. However, the TiO<sub>2</sub> compound has a weak adsorption capacity and is difficult to separate from the solution. The addition of activated carbon to TiO<sub>2</sub> is able to increase the photocatalytic activity of TiO<sub>2</sub> with a synergistic effect between the adsorption ability of activated carbon and photocatalytic TiO<sub>2</sub>.

This study aims to determine the catalytic properties of TiO<sub>2</sub>-activated carbon synthesized using the sonication method with variations in mass composition and characterized using UV-Vis DRS spectrophotometer, X-Ray Diffraction, and FTIR. Activated carbon is obtained from rice straw which is activated using a solution of phosphoric acid (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>). Photocatalyst TiO<sub>2</sub> - Rice Straw Activated Carbon (TiO<sub>2</sub>-KAJP) was tested for its activity against the degradation of methyl orange dye with variations in the mass composition and mass of the photocatalyst. In addition, the effectiveness of several photocatalysts was tested with or without UV irradiation. The results showed that the synthesized TiO<sub>2</sub>-KAJP composite had a crystal structure with an anatase phase and the TiO<sub>2</sub>-KAJP band gap energy decreased with the addition of activated carbon. The results of characterization using FTIR showed the emergence of new absorptions on TiO<sub>2</sub>-KAJP in the wave number region of 1100-1051 cm<sup>-1</sup> and 668-650 cm<sup>-1</sup> which indicated the absorption of Si-O-Si asymmetry and Si-O symmetry groups originating from activated carbon. The photocatalytic activity of TiO<sub>2</sub>-KAJP 5% showed the best results, which was able to degrade methyl orange dye as much as 68.03% with a photocatalyst mass added of 50 mg and UV irradiation for 100 minutes.

## مستخلص البحث

إنديرياني، س. ٢٠٢٢. التصنيف والتوصيف لمركب الكربون المنشط  $TiO_2$  من قشّ الأرزّ مع تنوع التركيب الكتلي للتحلّل الضوئي لصبغة الميثيل الجوري. البحث العلمي. قسم الكيمياء. كَلِيّة العلوم والتكنولوجيا. جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرفة ١: لؤلؤة الحميدة العلي، ماجستير في العلوم. المشرفة ٢: ليلى مفتاح الخيرة، ماجستير في العلوم

الكلمة الأساسية:  $TiO_2$ ، الكربون المنشط، الصوتنة، الميثيل الجوري، قشّ الأرزّ.

الميثيل الجوري هو أحد المادّة اللّوني المستخدمة في صناعة النسيج وهي مادّة مسرطنة ومطفرة ويصعب متحلّلاً حتى ضارّة بالبيئة. تتمثّل إحدى طرق التغلب على مشكلة نفاية النسيج على شكل المادّة اللّوني في التحلّل الضوئي باستخدام محفز ضوئي. غالباً ما تستخدم مركب  $TiO_2$  كمحفزات ضوئية في التحلّل الضوئي لأنها تتمتع باستقرار حراري مرتفع وغير سامة. ومع ذلك، فإنّ مركب  $TiO_2$  له قدرة امتصاص ضعيفة ويصعب فصله عن المحلول. أمّا إضافة الكربون المنشط إلى  $TiO_2$  قادرة على زيادة نشاط التحفيز الضوئي  $TiO_2$  مع تأثير تازري بين قدرة امتصاص الكربون المنشط و التحفيز الضوئي  $TiO_2$ . يهدف هذا البحث إلى معرفة الخصائص التحفيزية للكربون المنشط  $TiO_2$  المُصنّع باستخدام طريقة الصوتنة مع تنوع تكوين الكتلة وتوصيف باستخدام مقياس الطيف الضوئي بالأشعة المرئية وفوق البنفسجية، وانحراف الأشعة السينية، و FTIR. يتمّ الحصول على الكربون المنشط من قشّ الأرزّ الذي يتمّ تنشيطه باستخدام محلول حمض الفوسفوريك ( $H_3PO_4$ ). تمّ اختبار محفز ضوئي  $TiO_2$  - الكربون المنشط لقشّ الأرزّ ( $TiO_2$ -KAJP) لنشاطه ضدّ تحلّل المادّة اللّوني الميثيل الجوريّ تنوع تكوين الكتلة المحفز الضوئي. بالإضافة إلى ذلك، تمّ تنفيذ فعالية العديد من المحفزات الضوئية مع أو بدون تشعيع فوق البنفسجي. أظهرت النتائج أنّ مركب  $TiO_2$ -KAJP المركب له بنية بلورية مع طور anatase و طاقة فجوة نطاق من  $TiO_2$ -KAJP ينخفض مع إضافة كمّيّة الكربون المنشط. أظهرت النتائج التوصيف باستخدام FTIR ظهور امتصاصات جديدة على  $TiO_2$ -KAJP في منطقة رقم الموجة ١٠٥١ - ١١٠٠ سنت مترا<sup>-1</sup> و ٦٥٠ - ٦٦٨ سنت مترا<sup>-1</sup> مما يشير إلى امتصاص تناظر Si-O-Si وعدم تناسق Si-O مجموعات منشؤها الكربون المنشط. أظهر نشاط محفز ضوئي لـ  $TiO_2$ -KAJP ٥٪ أفضل النتائج، والتي كانت قادرة على المادّة اللّوني الميثيل الجوريّ بقدر ٦٨,٠٣٪ مع إضافة كتلة محفز ضوئي بمقدار ٥٠ مجم وتشعيع بالأشعة فوق البنفسجية لمدة ١٠٠ دقيقة.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sebanyak  $7 \times 10^5$  ton dari 10.000 jenis zat warna dikonsumsi setiap tahun oleh beberapa industri seperti tekstil, kertas, penyamakan kulit, dan cat. Hal ini menyebabkan dihasilkannya limbah cair yang mengandung zat warna dalam jumlah yang cukup besar (Nasar & Maskhoor, 2019). Dalam banyak kasus, limbah tersebut langsung dibuang ke perairan tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu sehingga mengakibatkan terjadinya pencemaran pada air. Berdasarkan data yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS), pada tahun 2021 terdapat 10.683 desa di Indonesia yang mengalami pencemaran air. Zat warna yang digunakan oleh industri merupakan zat warna sintesis yang dibuat dari senyawa organik tidak jenuh dengan kromofor sebagai pembawa warna dan auksokrom sebagai pengikat warna dengan serat (Naimah *et al.*, 2014). Keuntungan dari penggunaan zat warna sintesis yaitu karena harganya yang murah, memiliki stabilitas yang tinggi terhadap cahaya, dan mudah digunakan sehingga zat warna sintesis banyak digunakan oleh industri. Akan tetapi, zat warna sintesis dianggap sebagai kelas polutan yang tidak ramah terhadap lingkungan karena bersifat toksik. Selain itu, limbah yang mengandung zat warna dapat memberikan warna pada air yang dapat diamati secara langsung dengan mata sehingga menghalangi transmisi cahaya dan mengganggu proses fotosintesis pada ekosistem perairan (Nasar & Maskhoor, 2019).

Salah satu zat warna yang dapat mencemari lingkungan adalah metil jingga. Metil jingga merupakan salah satu zat warna golongan azo yang digunakan pada industri tekstil, kulit, makanan, dan kertas (Mehra & Sharma, 2012). Zat warna dari golongan azo tergolong limbah yang sulit didegradasi, bersifat toksik dan karsinogenik. Oleh sebab itu, apabila zat warna metil jingga berada di perairan akan mengakibatkan terjadinya kerusakan pada lingkungan.

Kerusakan lingkungan di muka bumi dapat terjadi karena perbuatan manusia. Paradigma pemikiran manusia modern menganggap bahwa alam dan lingkungan hidup adalah harta berlimpah yang disediakan untuk kepentingan dan kemakmuran umat manusia sehingga alam dengan seluruh isinya dieksplorasi dan dieksploitasi melampaui batas dan mengabaikan aspek keterpeliharaan lingkungan (Nurhayati *et al.*, 2018). Hal ini sesuai dengan yang difirmankan oleh Allah Swt. dalam Al-Qur'an Surat Ar-Rum ayat 41:

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

Artinya: “Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia; Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar).”

Istilah *Fasaad* yang terdapat dalam ayat tersebut menurut Al-Raghib Al-Ashfahani dapat dimaknai sebagai sesuatu yang menyimpang dari keseimbangan sedangkan menurut ulama kontemporer istilah *Fasaad* dapat diartikan sebagai kerusakan lingkungan (Nurhayati *et al.*, 2018). Dalam ayat Al-Qur'an tersebut menyebutkan bahwa darat dan laut merupakan tempat terjadinya kerusakan. Salah satu kerusakan yang terjadi di laut adalah tercemarnya air laut akibat pembuangan limbah industri tekstil. Alhasil, keseimbangan lingkungan menjadi

kacau. Dalam ayat tersebut juga disebutkan bahwa terjadinya kerusakan di darat dan di laut disebabkan oleh perbuatan manusia. Ibnu 'Asyur telah menafsirkan Q.S. Ar-Rum:41 bahwa alam raya telah diciptakan Allah Swt. dalam satu sistem yang sangat serasi dan sesuai dengan kehidupan manusia. Tetapi manusia melakukan kegiatan buruk yang merusak sehingga terjadi ketidakseimbangan dalam sistem kerja alam (Shihab, 2002). Salah satu contoh perbuatan manusia yang merusak lingkungan adalah pembuangan limbah industri tekstil ke sungai. Pembuangan limbah industri tekstil ke sungai tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu dapat menyebabkan pencemaran pada air sungai dan membahayakan manusia.

Salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan terkait pencemaran lingkungan oleh zat warna adalah dengan melakukan fotodegradasi pada limbah zat warna yang dihasilkan oleh industri tekstil sebelum masuk ke dalam perairan. Fotodegradasi merupakan proses penguraian senyawa (umumnya senyawa organik) yang dibantu oleh energi foton. Prinsip dari fotodegradasi yaitu adanya perpindahan elektron dari pita valensi ke pita konduksi pada logam semikonduktor yang diberi energi foton. Perpindahan elektron ini menyebabkan terbentuknya *hole* (lubang elektron) pada pita valensi yang mampu berinteraksi dengan air membentuk senyawa radikal •OH. Senyawa radikal •OH yang dihasilkan bersifat aktif dan dapat berlanjut untuk menguraikan senyawa target (Maldotti *et al.*, 2001). Keuntungan utama dari metode fotodegradasi adalah mampu untuk mengubah zat warna yang berbahaya menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O yang tidak beracun dan ramah terhadap lingkungan (Sumarlan *et al.*, 2020).

Proses fotodegradasi zat warna membutuhkan suatu material fotokatalis yang bersifat semikonduktor. Fotokatalis merupakan material yang mampu mempercepat laju reaksi reduksi oksidasi melalui reaksi fotokimia (Wulandari *et al.*, 2014). Beberapa semikonduktor yang mampu bertindak sebagai fotokatalis adalah  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CdS}$ , dan  $\text{ZnS}$ , namun  $\text{TiO}_2$  merupakan semikonduktor yang paling sering dipelajari karena memiliki reaktivitas yang tinggi, toksisitas yang rendah, stabilitas kimia yang tinggi, dan biaya yang lebih murah (Dong *et al.*, 2015). Beberapa keunggulan tersebut menjadikan material  $\text{TiO}_2$  berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai material fotokatalis. Akan tetapi, material  $\text{TiO}_2$  juga memiliki kelemahan yang dapat menurunkan aktivitasnya sebagai fotokatalis, yaitu serbuk  $\text{TiO}_2$  mudah mengalami aglomerasi dan sulit dipisahkan atau didaur ulang dari larutan (Xing, *et al.*, 2016). Selain itu, senyawa  $\text{TiO}_2$  memiliki daya adsorpsi yang lemah yang dipengaruhi oleh luas permukaan  $\text{TiO}_2$  yang kecil yakni  $70 \text{ m}^2/\text{g}$  sehingga menyebabkan laju degradasinya menurun (Martins *et al.*, 2017).

Aktivitas fotokatalitik dari  $\text{TiO}_2$  dapat ditingkatkan melalui modifikasi struktur, luas permukaan, dan ukuran partikel. Untuk mengatasi kelemahan dari  $\text{TiO}_2$ , maka diperlukan suatu material pendukung yang dapat meningkatkan aktivitas fotokatalitik dari  $\text{TiO}_2$ , yaitu dengan membuat senyawa komposit  $\text{TiO}_2$ /karbon aktif. Karbon aktif dilaporkan mampu meningkatkan aktivitas katalitik  $\text{TiO}_2$  karena karbon aktif dapat meningkatkan adsorpsi polutan organik pada  $\text{TiO}_2$ -karbon aktif yang menyebabkan konsentrasi organik yang tinggi di sekitar  $\text{TiO}_2$ . Meskipun karbon aktif tidak memiliki kemampuan fotokatalitik, namun pada komposit  $\text{TiO}_2$ -karbon aktif menunjukkan adanya efek sinergisme di mana karbon aktif dengan kemampuan adsorpsinya akan mengadsorpsi molekul

organik yang kemudian ditransfer ke  $\text{TiO}_2$  sehingga dapat terdegradasi. Hal ini terbukti dari penelitian yang dilakukan oleh Chobchun *et al.* (2020) yang mensintesis komposit  $\text{TiO}_2$ -karbon aktif menggunakan metode sol-gel untuk mendegradasi zat warna *yellow acid*. Hasil menunjukkan persen degradasi komposit  $\text{TiO}_2$ -karbon aktif lebih besar dibandingkan dengan  $\text{TiO}_2$  saja, yaitu masing-masing sebesar 88% dan 26%. Penelitian Poluakan *et al.* (2015) menyebutkan bahwa  $\text{TiO}_2$  yang ditambahkan karbon aktif mendegradasi zat warna *remazol yellow* dalam jumlah yang lebih banyak dibandingkan  $\text{TiO}_2$  yang diimbangkan dengan zeolit. Persentase konsentrasi *remazol yellow* yang terdegradasi oleh  $\text{TiO}_2$ -karbon aktif (9,5:0,5 gram) dengan konsentrasi *remazol yellow* 30 ppm adalah 95% sedangkan untuk  $\text{TiO}_2$ -zeolit (2,4:3 gram) yang mendegradasi *remazol yellow* 20 ppm adalah sebesar 85%.

Karbon aktif dapat diperoleh dari bahan-bahan yang mengandung unsur karbon seperti jerami padi. Unsur penyusun jerami padi menurut Maelani (2015) yaitu karbon (C), oksigen (O), hidrogen (H), nitrogen (N), dan sulfur (S) sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku karbon aktif. Selain itu, jerami padi dapat dimanfaatkan sebagai karbon aktif karena mudah dan murah didapatkan (Utami *et al.*, 2020). Hasil penelitian Riyani dan Setyaningtyas (2011) menyatakan bahwa penyisipan karbon aktif yang dibuat dari jerami padi pada material  $\text{TiO}_2$  mampu meningkatkan aktivitas fotokatalis. Penambahan 1% karbon aktif jerami padi yang diaktivasi pada suhu  $300^\circ\text{C}$  ( $\text{KA}_{300}$ ) terhadap  $\text{TiO}_2$  mampu menurunkan konsentrasi limbah tekstil sebesar 83,8% dan penambahan 3% karbon aktif jerami padi yang diaktivasi pada suhu  $700^\circ\text{C}$  ( $\text{KA}_{700}$ ) terhadap  $\text{TiO}_2$  mampu menurunkan konsentrasi limbah tekstil sebesar 85,65%.



Sintesis semikonduktor TiO<sub>2</sub>-karbon aktif dapat dilakukan dengan berbagai metode, yaitu metode sonikasi (Riyani & Setyaningtyas, 2011), sol gel (Martins *et al.*, 2017), dan reaksi keadaan padatan (Septiani, 2015). Metode sonikasi merupakan metode sintesis material menggunakan gelombang ultrasonik sebagai sumber energi untuk dapat mendorong terjadinya perubahan sifat kimia dan fisika dalam medium cairan. Metode sonikasi mampu mempercepat proses pelarutan materi dengan prinsip pemecahan reaksi intermolekuler sehingga terbentuk partikel dengan ukuran nano. Sintesis material dengan metode sonikasi dapat menciptakan stabilitas termal yang lebih tinggi, memiliki luas permukaan tinggi, distribusi nanopartikel yang lebih seragam dan kemurnian fasa yang tinggi (Awati *et al.*, 2003).

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan, untuk meningkatkan aktivitas fotokatalis TiO<sub>2</sub>, maka ditambahkan material pendukung yaitu karbon aktif. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan sintesis komposit TiO<sub>2</sub>-Karbon Aktif Jerami Padi (TiO<sub>2</sub>-KAJP) dengan variasi komposisi menggunakan metode sonikasi dan dikarakterisasi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis DRS untuk mengetahui besarnya energi celah pita dari TiO<sub>2</sub>-KAJP, *X-Ray Diffraction* untuk mengkarakterisasi struktur dan ukuran kristal TiO<sub>2</sub>-KAJP, dan karakterisasi menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus-gugus fungsi dan interaksi antar gugus yang terdapat dalam material hasil sintesis. Selanjutnya dilakukan uji aktivitas fotokatalis TiO<sub>2</sub>-KAJP dengan variasi komposisi TiO<sub>2</sub>-KAJP terhadap degradasi zat warna metil jingga, variasi massa fotokatalis dan mengukur efektivitas dari fotokatalis TiO<sub>2</sub>-KAJP terhadap fotodegradasi zat warna metil jingga.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana struktur, ukuran kristal, energi celah pita, dan gugus fungsi dari fotokatalis  $\text{TiO}_2$ -KAJP yang disintesis menggunakan metode sonikasi?
2. Berapa komposisi massa optimum  $\text{TiO}_2$  dan karbon aktif yang dapat digunakan untuk mendegradasi zat warna metil jingga menggunakan fotokatalis  $\text{TiO}_2$ -KAJP?
3. Berapa massa optimum  $\text{TiO}_2$ -KAJP yang dapat digunakan untuk mendegradasi metil jingga?
4. Bagaimana pengaruh penambahan  $\text{TiO}_2$ -KAJP terhadap efektivitas fotodegradasi zat warna metil jingga?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui struktur, ukuran kristal, energi celah pita, dan gugus fungsi, material fotokatalis  $\text{TiO}_2$ -KAJP yang disintesis menggunakan metode sonikasi.
2. Untuk mengetahui komposisi  $\text{TiO}_2$  dan karbon aktif optimum yang dapat digunakan untuk mendegradasi zat warna metil jingga menggunakan fotokatalis  $\text{TiO}_2$ -KAJP.
3. Untuk mengetahui massa optimum fotokatalis yang digunakan untuk mendegradasi metil jingga.
4. Untuk mengetahui pengaruh penambahan  $\text{TiO}_2$ -KAJP terhadap efektivitas fotodegradasi zat warna metil jingga.

#### 1.4 Batasan Penelitian

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Fotokatalis  $\text{TiO}_2$ -KAJP disintesis menggunakan metode sonikasi.
2. Karbon aktif dibuat dari jerami padi.
3. Karbon aktif diaktivasi fisik pada suhu  $600^\circ\text{C}$  dan aktivasi kimia menggunakan  $\text{H}_3\text{PO}_4$ .
4. Variasi komposisi  $\text{TiO}_2$ :karbon aktif yang digunakan adalah 95%:5%, 90%:10%, dan 85%:15%.
5. Variasi massa fotokatalis yang digunakan adalah 25, 50, dan 75 mg.
6. Karakterisasi energi celah pita dipelajari menggunakan Spektrofotometer UV-Vis DRS.
7. Karakterisasi struktur dan ukuran kristal dipelajari menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD).
8. Karakterisasi gugus fungsi dan interaksi antar gugus dipelajari menggunakan Instrumen FTIR.
9. Pengukuran konsentrasi metil jingga dilakukan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah kepada masyarakat tentang hasil karakterisasi fotokatalis  $\text{TiO}_2$  yang diimbangkan karbon aktif yang diperoleh dari jerami padi. Selain itu, penelitian ini diharapkan mampu memberikan solusi untuk permasalahan limbah cair zat warna metil jingga

dari industri tekstil yaitu menggunakan metode fotodegradasi dengan fotokatakis TiO<sub>2</sub>-karbon aktif.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

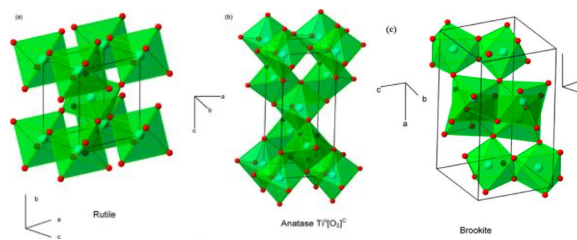
#### 2.1 Material Semikonduktor TiO<sub>2</sub> sebagai Fotokatalis

Semikonduktor merupakan zat padat yang memiliki struktur kristal dan sedikit elektron bebas pada suhu kamar. Material semikonduktor memiliki resistivitas dan energi celah pita yang terletak di antara material konduktor dan isolator, yaitu dalam rentang  $0 < E_g < 4$  eV. Energi celah pita merupakan energi yang dibutuhkan oleh suatu elektron pada pita valensi untuk melakukan eksitasi ke pita konduksi. Proses tersebut akan menghasilkan *hole* pada pita valensi dan elektron pada pita konduksi (Ningsih, 2012).

Semikonduktor dapat diklasifikasikan menjadi enam yaitu semikonduktor unsur, senyawa, magnetik, berlapis, organik, *miscellaneous*, dan logam oksida (Neamen, 2008). Semikonduktor logam oksida merupakan gabungan antara logam dengan atom oksigen. Beberapa contoh semikonduktor logam oksida adalah ZnO, SnO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, dan In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Bao *et al.*, 2012). Material semikonduktor dapat berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai katalis dalam reaksi fotokatalisis, yaitu reaksi untuk mempercepat degradasi polutan organik menjadi karbon dioksida, air, dan zat anorganik tidak beracun dengan bantuan foton (Dong, *et al.*, 2015). Semikonduktor yang umum digunakan sebagai fotokatalis adalah titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>). Hal ini dikarenakan TiO<sub>2</sub> memiliki stabilitas kimia yang tinggi, murah, dan aktivitas fotorespon yang sangat baik terhadap sinar UV (Bagheri, *et al.*, 2015). Selain itu, TiO<sub>2</sub> merupakan senyawa yang tidak beracun dan dapat diaplikasikan untuk pelapis biologis, perangkat optik, konversi fotoelektrokimia,

proses fotokatalitik lingkungan, sterilisasi, dan penghilangan polutan dari udara dan air (Dastan & Chaure, 2014).

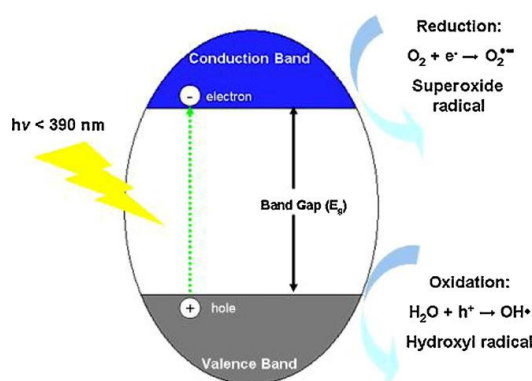
Kristal  $\text{TiO}_2$  memiliki 3 fasa yang berbeda yaitu rutil (tetragonal,  $a = 0,4594 \text{ nm}$ ,  $c = 0,2958 \text{ nm}$ ), anatase (tetragonal,  $a = 0,3785 \text{ nm}$ ,  $c = 0,9514 \text{ nm}$ ), dan brookit (orthorombik,  $a = 0,9184 \text{ nm}$ ,  $c = 0,5145 \text{ nm}$ ). Dalam semua bentuk kristal  $\text{TiO}_2$ , atom titanium dikelilingi enam atom oksigen membentuk  $\text{TiO}_6$  (Wang *et al.*, 2020). Perbedaan dari ketiga fasa berasal dari jumlah rusuk dan sudut, di mana fasa anatase memiliki 4 rusuk dan 4 sudut, fasa brookit memiliki 3 rusuk dan 5 sudut, dan fasa rutil memiliki 2 rusuk dan 6 sudut yang dibagi oleh oktahedral (Khatun *et al.*, 2018). Bentuk struktur dari  $\text{TiO}_2$  dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur dari  $\text{TiO}_2$  (a) fasa rutil, (b) fasa anatase, dan (c) fasa brookit (Wang *et al.*, 2020)

Umumnya, senyawa  $\text{TiO}_2$  fasa anatase memiliki aktivitas fotokatalitik yang lebih baik dibandingkan  $\text{TiO}_2$  fasa rutil dan brookit karena  $\text{TiO}_2$  anatase memiliki waktu hidup yang lebih lama dan laju rekombinasi elektron-hole yang rendah dibandingkan  $\text{TiO}_2$  fasa rutil (Luttrell *et al.*, 2015). Akan tetapi,  $\text{TiO}_2$  anatase bersifat metastabil dan dapat dengan mudah berubah menjadi fasa rutil pada suhu pemanasan tinggi. Menurut Byrne *et al.* (2016)  $\text{TiO}_2$  fasa anatase akan berubah

menjadi fasa rutil yang kurang fotoaktif pada suhu antara 600°C dan 700°C. Perubahan struktur anatase menjadi rutil bergantung pada metode preparasi, ukuran partikel, morfologi, tingkat aglomerasi, sifat pengotor, dan suasana reaksi (Periyat, *et al.*, 2016).

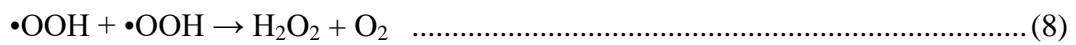
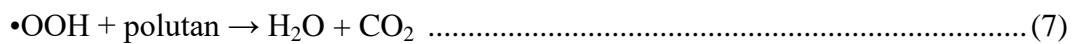
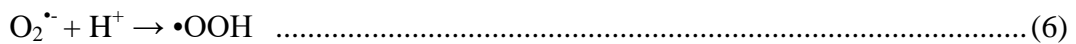
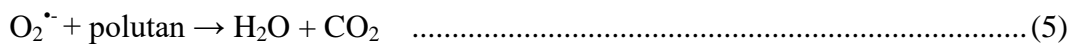
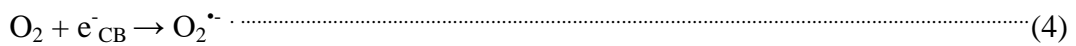
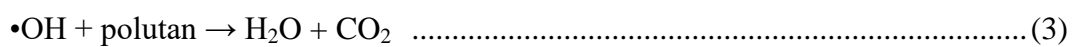
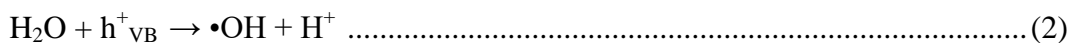
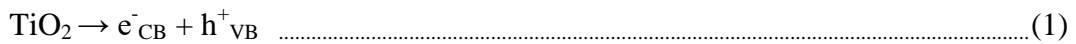


Gambar 2.2 Mekanisme fotokatalitik TiO<sub>2</sub> (Pelaez *et al.*, 2012)

Mekanisme fotodegradasi polutan organik menggunakan fotokatalis TiO<sub>2</sub> dapat dilihat pada Gambar 2.2. Dalam reaksi fotokatalisis, TiO<sub>2</sub> dapat tereksitasi oleh foton dengan energi yang sama atau lebih tinggi dari energi celah pitanya. Oleh karena itu, dibutuhkan sinar UV dengan  $\lambda \leq 390$  nm sehingga elektron pada permukaan TiO<sub>2</sub> tereksitasi ke pita konduksi ( $e_{CB^-}$ , CB) menghasilkan *hole* positif pada pita valensi ( $h_{VB^+}$ , VB) (Persamaan 1) (Pelaez *et al.*, 2012). Akan tetapi, elektron pada pita konduksi (CB) dapat berekombinasi dengan *hole* pada pita valensi (VB) (Park *et al.*, 2013). Apabila rekombinasi tidak terjadi, CB dan VB dapat lebih lanjut bereaksi dengan air dan molekul oksigen masing-masing menghasilkan pembentukan radikal hidroksil ( $\bullet\text{OH}$ ) (Persamaan 2) dan anion radikal superoksida ( $\text{O}_2^-$ ) (Persamaan 4). Selanjutnya  $\text{O}_2^-$  bereaksi dengan  $\text{H}^+$  untuk menghasilkan radikal hidroperoksil ( $\bullet\text{OOH}$ ). Kemudian  $\bullet\text{OOH}$  bereaksi



dengan  $\bullet\text{OOH}$  menghasilkan hidrogen peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) (Persamaan 8). Radikal yang dihasilkan dalam reaksi fotokatalisis merupakan oksidan kuat yang dapat secara efisien mengoksidasi polutan organik menghasilkan  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  (Persamaan 3,5, dan 7). Berikut adalah persamaan reaksi yang terjadi pada proses fotokatalisis polutan organik (Wang *et al.*, 2020):



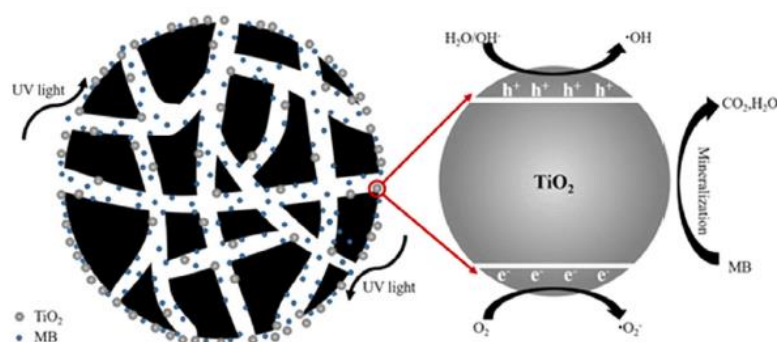
## 2.2 Karbon Aktif sebagai Material Pendukung Fotokatalis

Karbon aktif merupakan senyawa karbon berstruktur amorf yang ditingkatkan dayanya melalui aktivasi (Puma, *et al.*, 2008). Karbon aktif memiliki pori dan luas permukaan yang besar sehingga banyak digunakan untuk pemisahan gas, pemulihan pelarut, penghapusan polutan organik dari air minum, dan sebagai material pendukung katalis (Adinata *et al.*, 2007). Karbon aktif dapat diperoleh dari berbagai macam bahan yang mengandung karbon seperti kayu, jerami padi, kulit kemiri, tongkol jagung, tempurung kelapa, daun rumput alang-alang, dan batang teratai. Secara umum, proses pembuatan karbon aktif terdiri dari dua tahap, yaitu karbonisasi atau pirolisis dan aktivasi. Proses karbonisasi meliputi

pengeringan dan pemanasan bahan baku pada suhu antara 500 – 1000°C (Mistar, *et al.*, 2020). Hal ini bertujuan untuk menghilangkan produk samping seperti tar dan hidrokarbon lainnya (termasuk senyawa organik volatil) serta untuk menghilangkan gas yang dihasilkan selama tahap pertama (Puma, *et al.*, 2008). Dalam karbonisasi, sebagian besar unsur non-karbon seperti hidrogen dan oksigen dikeluarkan ke bentuk gas melalui dekomposisi pirolitik yang menghasilkan karbon dengan massa tetap dan struktur pori yang belum sempurna (Ismail, *et al.*, 2010). Setelah itu, bahan yang terkarbonisasi diaktivasi dengan metode fisika atau metode kimia atau kombinasi dari kedua metode tersebut. Dalam aktivasi menggunakan metode fisika, prekursor ditempatkan di bawah perlakuan panas pada suhu yang sama dengan suhu pirolisis atau lebih tinggi yaitu sekitar 700 – 1100°C dengan adanya zat pengoksidasi seperti CO<sub>2</sub>, uap air, udara, atau campurannya. Dalam aktivasi metode kimia, prekursor dicampur dengan sejumlah agen aktif seperti KOH, NaOH, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, dan ZnCl<sub>2</sub> yang mengarah pada pengembangan struktur berpori pada material. Metode aktivasi kimia dilakukan pada suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan aktivasi fisik (Kumar & Jena, 2016). Langkah aktivasi digunakan untuk memperbesar diameter pori-pori halus dan juga membuat pori-pori baru sehingga daya serap produk karbonisasi ditingkatkan (Ismail, *et al.*, 2010).

Penambahan karbon aktif sebagai material pendukung katalis TiO<sub>2</sub> dapat meningkatkan aktivitas katalitik untuk fotodegradasi polutan organik karena terdapat efek sinergis antara kinerja adsorpsi karbon aktif dan kinerja fotokatalitik TiO<sub>2</sub>. Karbon aktif memiliki luas permukaan dan kapasitas adsorpsi yang besar, serta dapat menyediakan situs adsorpsi aktif yang cukup sehingga efisiensi

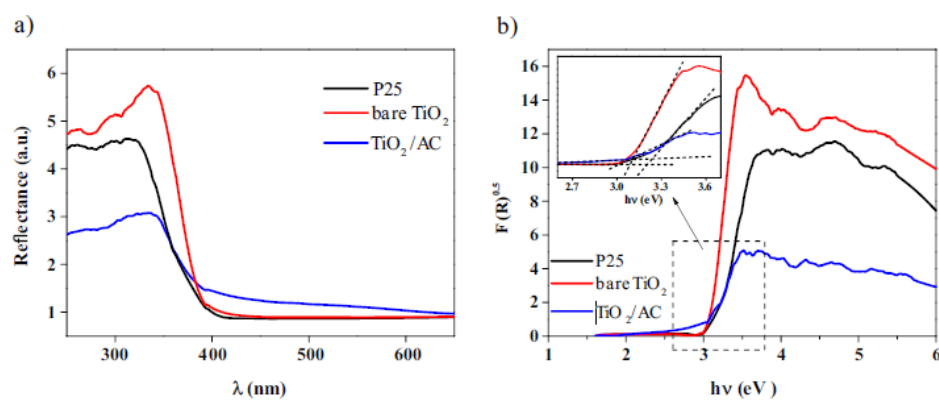
adsorpsi polutan pada permukaan material komposit di dekat katalis  $\text{TiO}_2$  akan lebih tinggi. Kemudian  $\text{TiO}_2$  dengan kemampuan fotokatalitiknya dapat mendegradasi polutan organik yang teradsorpsi oleh material  $\text{TiO}_2$ -karbon aktif membuat situs adsorpsi aktif terbarukan pada karbon aktif sehingga dapat menyerap polutan organik lebih banyak. Selain itu, penambahan karbon aktif juga dapat mengurangi tingkat rekombinasi *electron-hole* pada  $\text{TiO}_2$  sehingga meningkatkan pembentukan  $\bullet\text{OH}$  dan  $\bullet\text{O}_2^-$  (Xu et al., 2021). Hal ini seperti yang dapat dilihat pada diagram skematik untuk mekanisme fotodegradasi metilen biru menggunakan material komposit  $\text{TiO}_2$ /Karbon Aktif pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Diagram skematik mekanisme fotodegradasi metilen biru menggunakan komposit  $\text{TiO}_2$ /Karbon Aktif (Xu, *et al.*, 2021)

Penambahan karbon aktif pada material  $\text{TiO}_2$  mampu membuat luas permukaan  $\text{TiO}_2$  meningkat sehingga aktivitas fotokatalitiknya juga meningkat. Hal ini seperti yang dilaporkan oleh Chobchun *et al.* (2020) yang telah mensintesis komposit  $\text{TiO}_2$ -karbon aktif menggunakan metode sol-gel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa senyawa  $\text{TiO}_2$ -karbon aktif memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan  $\text{TiO}_2$  saja. Luas permukaan  $\text{TiO}_2$ -karbon aktif dan  $\text{TiO}_2$  berturut-turut adalah  $151,02 \text{ m}^2/\text{g}$  dan  $56,09 \text{ m}^2/\text{g}$ .

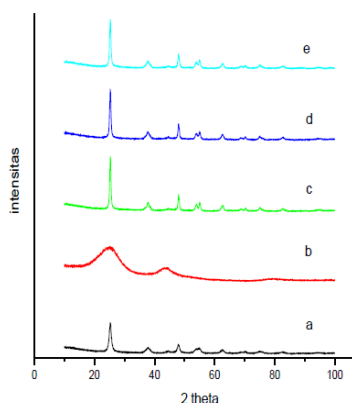
Selain itu, menurut Martins *et al.* (2016) hasil karakterisasi TiO<sub>2</sub>-karbon aktif menggunakan Spektrofotometer UV-Vis DRS (Gambar 2.4) menunjukkan nilai energi celah pita TiO<sub>2</sub>-karbon aktif yaitu 3,04 eV lebih kecil dibandingkan nilai energi celah pita TiO<sub>2</sub> murni dan TiO<sub>2</sub> P25 yaitu 3,07 eV dan 3,21 eV. Nilai energi celah pita adalah parameter penting untuk mengevaluasi aktivitas fotokatalis, di mana material dengan aktivitas fotokatalis yang baik sering ditunjukkan dengan nilai energi celah pita yang rendah (Martins *et al.*, 2016).



Gambar 2.4 Spektra UV-Vis DRS (a) dan plot Kubelka-Munk dari P25, TiO<sub>2</sub> murni, dan TiO<sub>2</sub>-karbon aktif (Martins *et al.*, 2016)

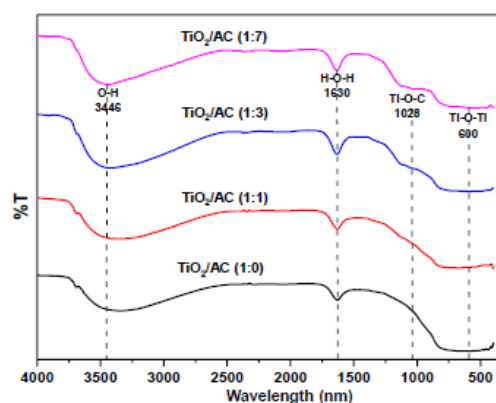
Septiani *et al.* (2015) telah menyintesis komposit TiO<sub>2</sub>-karbon aktif dengan variasi komposisi TiO<sub>2</sub>:karbon aktif adalah 95:5, 90:10, dan 85:15 menggunakan metode *solid state*. Berdasarkan difraktogram yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 diperoleh bahwa pola difraksi dari senyawa TiO<sub>2</sub>-karbon aktif (Gambar 2.5c,d,e) memiliki kemiripan dengan pola difraksi senyawa TiO<sub>2</sub> (Gambar 2.5a) yang merupakan data standar TiO<sub>2</sub> anatas dari JCPDS no. 01-071-7058. Hal ini menunjukkan bahwa TiO<sub>2</sub>-karbon aktif yang disintesis memiliki struktur kristal fasa anatas. Puncak-puncak difraksi TiO<sub>2</sub> anatas berdasarkan data dari JCPDS muncul pada sudut  $2\theta = 25, 37, 48, 53, 55, 62, 68, 70, 75, \text{ dan } 82$ .

Gambar (2.5b) menunjukkan pola difraksi karbon aktif yang tidak menunjukkan puncak-puncak tajam. Maka berdasarkan pola difraksi tersebut, dapat diketahui bahwa karbon aktif memiliki struktur amorf.



Gambar 2.5 Pola difraksi dari (a) TiO<sub>2</sub>, (b) Karbon aktif, (c) TiO<sub>2</sub>/KA 5%, (d) TiO<sub>2</sub>/KA 10%, (e) TiO<sub>2</sub>/KA 15% (Septiani *et al.*, 2015)

Kartikowati *et al.* (2020) telah menyintesis TiO<sub>2</sub>-karbon aktif menggunakan metode sol-gel. Hasil karakterisasi menggunakan FTIR (Gambar 2.6) menunjukkan bahwa puncak serapan yang muncul dari TiO<sub>2</sub> (TiO<sub>2</sub>/AC 1:0) yaitu pada bilangan gelombang 3369 cm<sup>-1</sup> dan 1630 cm<sup>-1</sup> yang merepresentasikan serapan dari gugus O-H *stretching* dan H-O-H dari molekul H<sub>2</sub>O yang terserap pada permukaan TiO<sub>2</sub>. Selain itu juga terdapat puncak serapan pada bilangan gelombang 600 cm<sup>-1</sup> yang merepresentasikan gugus Ti-O-Ti. Namun, setelah penambahan karbon aktif pada TiO<sub>2</sub> muncul puncak baru yaitu pada bilangan gelombang 1028 cm<sup>-1</sup> yang merepresentasikan adanya gugus Ti-O-C.



Gambar 2.6 Spektra FTIR komposit  $\text{TiO}_2$ -karbon aktif (Kartikowati *et al.*, 2020)

### 2.3 Jerami Padi sebagai Sumber Karbon Aktif

Jerami padi merupakan hasil samping dari tanaman padi berupa batang dan daun (Utami *et al.*, 2020). Oleh karena itu, keberadaan jerami padi juga berkaitan dengan produksi padi (Nandiyanto *et al.*, 2017). Berdasarkan data Litbang Pertanian, untuk setiap 1 ton Gabah Kering Giling (GKG) mampu menghasilkan 1,5 ton jerami (Utami *et al.*, 2020). Jumlah produksi padi pada tahun 2021 di Indonesia diperkirakan sebesar 55,27 juta ton GKG maka potensi jerami padi yang tersedia yaitu diperkirakan 82,540 juta ton. Jerami padi memiliki banyak manfaat yaitu sebagai pakan ternak, alas kandang, pengemas bahan pertanian seperti telur, bahan bangunan, kerajinan tangan dan material penyusun karbon aktif. Jerami padi dapat dimanfaatkan sebagai karbon aktif karena salah satu unsur penyusunnya adalah karbon. Menurut Saad *et al.* (2019) jerami padi mengandung sebanyak 37,93% karbon, 6,19% hidrogen, 0,99% nitrogen, dan 2,07% sulfur. Komponen penyusun jerami padi adalah selulosa (32-47%), hemiselulosa (19-27%), lignin (5-24%), dan komponen lainnya (13-20%). Salah satu komponen lain yang terdapat dalam jerami padi adalah silika (Nandiyanto *et*

*al.*, 2016). Pada tahap pirolisis, selulosa dan hemiselulosa akan membentuk fraksi volatil sedangkan lignin akan membentuk arang (Pattananandecha *et al.*, 2019). Komponen silika yang terdapat di dalam jerami padi dapat dihilangkan melalui aktivasi menggunakan asam fosfat ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) dengan membentuk silika-fosfat yang larut air, seperti  $\text{SiP}_2\text{O}_7$ ,  $\text{Si}_5\text{O}(\text{PO}_4)_6$ , atau  $\text{Si}(\text{HPO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (Fierro *et al.*, 2010). Penghilangan komponen silika pada karbon aktif dapat memperluas luas permukaan karbon aktif (Nandiyanto *et al.*, 2017).

Saad *et al.* (2019) telah membuat karbon aktif dari jerami padi dengan suhu yang digunakan untuk proses aktivasi fisik adalah  $650^\circ\text{C}$ ,  $750^\circ\text{C}$ , dan  $850^\circ\text{C}$  serta menggunakan agen pengaktivasi kalium hidroksida (KOH) 13 M. Hasil dari proses aktivasi pada karbon aktif yang terbuat dari jerami padi (KAJP) diperoleh komposisi karbon yang lebih tinggi dibandingkan dengan jerami padi (JP) dan arang jerami padi (AJP). Komposisi awal karbon pada jerami padi adalah sebesar 37,93%. Kemudian setelah karbon diaktivasi pada suhu  $650^\circ\text{C}$ ,  $750^\circ\text{C}$  dan  $850^\circ\text{C}$  komposisi karbon meningkat menjadi 66,18%, 70,92%, dan 80,46%. Selain itu, pembuatan karbon aktif dari jerami padi yang dilakukan oleh Saad, *et al.* (2019) juga menghasilkan material karbon aktif berstruktur amorf dengan luas permukaan yang tinggi, yaitu  $520,29 \text{ m}^2/\text{g}$ ,  $928,07 \text{ m}^2/\text{g}$ , dan  $1048,30 \text{ m}^2/\text{g}$  untuk KAJP650, KAJP750, dan KAJP850.

Maelani (2015) juga telah membuat karbon aktif dari jerami padi dengan variasi suhu aktivasi fisik  $500^\circ\text{C}$ ,  $600^\circ\text{C}$ ,  $700^\circ\text{C}$ , dan  $800^\circ\text{C}$  serta agen pengaktivasi larutan asam fosfat ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) 0,1 N. Jerami padi, arang jerami padi, dan karbon aktif yang diperoleh kemudian dianalisis sifat fisiknya yang meliputi rendemen, kadar abu, dan kadar air. Hasil pengujian rendemen menunjukkan

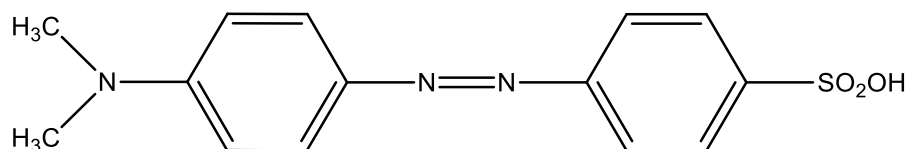
bahwa karbon aktif jerami padi yang diaktivasi pada suhu 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C berturut-turut adalah 74%, 76%, 73,33%, dan 65%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sampel yang diaktivasi pada suhu 600°C menghasilkan rendemen tertinggi sedangkan rendemen terendah adalah sampel yang diaktivasi pada suhu 800°C. Hasil yang diperoleh tidak sesuai dengan ketentuan yang berlaku bahwa semakin tinggi suhu maka semakin kecil rendemen yang dihasilkan. Hal ini dipengaruhi oleh kadar abu dan reaksi antara arang dengan uap air. Pengujian kadar abu karbon aktif jerami padi yang diaktivasi pada suhu 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C diperoleh hasil masing-masing adalah 2,84%, 3,36%, 2,09%, dan 4,15%. Kadar air karbon aktif jerami padi yang diaktivasi pada suhu 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C masing-masing adalah 3,38%, 2,80%, 4%, dan 3,50%. Berdasarkan penelitian tersebut, kadar abu dan kadar air yang diperoleh telah memenuhi Standar SNI yaitu untuk kadar abu maksimal 10% dan untuk kadar air maksimal adalah 15%.

#### **2.4 Metil Jingga**

Metil jingga merupakan zat warna asam atau yang banyak digunakan oleh industri tekstil sebagai pewarna dasar kulit, kain katun, dan tanin. Metil jingga memiliki ukuran molekul  $1,58 \times 0,65 \times 0,26$  nm yang mengandung gugus azo (Teng *et al.*, 2012). Metil jingga memiliki rumus kimia  $C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$ , massa molekul relatif 327,33 g/mol, dan panjang gelombang maksimum 465 nm. Zat warna metil jingga dibuat dari asam sulfaniat dan N,N-dimethilanilin. Metil jingga mengandung gugus azo yang menjadikannya sebagai zat warna sintesis paling reaktif dalam proses pencelupan (Widjajanti *et al.*, 2011). Senyawa azo dapat



berupa aromatik atau alifatik yang stabil yang memiliki warna menyala. Senyawa azo bersifat karsinogenik, toksik, dan mutagenik sehingga berbahaya bagi lingkungan (Amalina *et al.*, 2016). Metil jingga dapat berubah dari struktur azo (warna kuning) menjadi struktur quinoid (warna merah) ketika pH berubah dari 4,5 menjadi 3,1. Sementara itu, puncak serapan maksimumnya bergeser dari 463 nm pada kondisi hampir netral menjadi 507 nm pada pH 2 yang disebabkan oleh delokalisasi elektron padangan bebas pada gugus azo (Niu, 2013). Struktur senyawa metil jingga dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut:



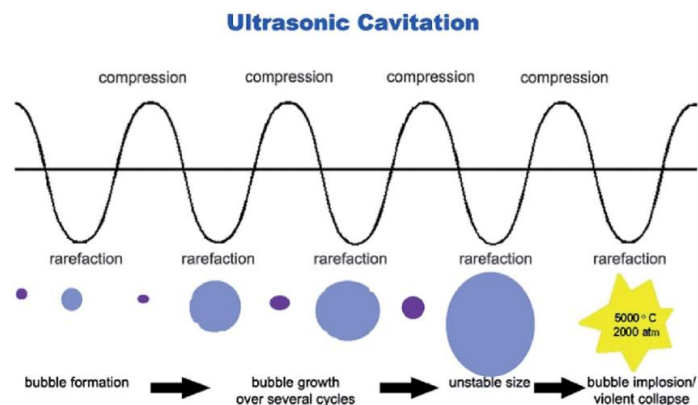
Gambar 2.7 Struktur metil jingga (Ilmi, 2020)

Niu (2013) telah melakukan uji degradasi zat warna metil jingga 20 ppm menggunakan fotokatalis  $\text{TiO}_2$  dengan variasi konsentrasi 0,2 g/L; 0,5 g/L; 1,0 g/L; 2,0 g/L; 3,0 g/L; dan 4,0 g/L. Degradasi metil jingga tanpa menggunakan fotokatalis di bawah radiasi UV selama 40 menit menghasilkan persen degradasi sebesar 1,40% sedangkan persen degradasi meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi fotokatalis 0,2 – 2,0 g/L, yaitu dari 71,41% hingga 97,91%. Namun, pada saat penambahan konsentrasi fotokatalis lebih dari 2,0 g/L persen degradasi yang dihasilkan tidak mengalami peningkatan. Oleh karena itu, berdasarkan penelitian tersebut diperoleh konsentrasi optimum  $\text{TiO}_2$  untuk degradasi metil jingga 20 ppm adalah 2,0 g/L. Selain itu, Niu (2013) juga melaporkan bahwa aktivitas fotokatalitik nanopartikel sangat bergantung pada pH larutan, di mana

dalam degradasi metil jingga nilai pH rendah menghasilkan persen degradasi yang lebih tinggi dibandingkan pH tinggi. Dalam penelitian ini, persen degradasi metil jingga pada variasi pH 2,5, 8, dan 10 masing-masing adalah 98,31%, 97,91%, dan 63,22%. Hadi & Wahab. (2015) juga telah melakukan degradasi metil jingga menggunakan fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N. Hasil yang diperoleh adalah efisiensi degradasi metil jingga meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi TiO<sub>2</sub>-N hingga 50 mg kemudian efisiensi degradasi berkurang ketika konsentrasi TiO<sub>2</sub>-N di atas 50 mg karena adanya efek hamburan cahaya. Pada kondisi fotodegradasi yang optimal yaitu pada pH 2,5, konsentrasi metil jingga 10 ppm, konsentrasi katalis TiO<sub>2</sub>-N, waktu penyinaran 60 menit, dan lampu halogen 500 W mampu menghasilkan efisiensi degradasi mencapai 98%.

## **2.5 Sintesis TiO<sub>2</sub>-Karbon Aktif dengan Metode Sonikasi**

Metode sonikasi merupakan metode yang memanfaatkan iradiasi ultrasonik dengan kisaran frekuensi 20 kHz hingga 500 MHz yang digunakan untuk pemecahan partikel hingga diperoleh ukuran nanopartikel dalam waktu yang lebih singkat. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan stabilitas dari nanofluida (Leena & Srinivasan, 2015). Sintesis nanomaterial menggunakan metode sonikasi menunjukkan banyak keuntungan seperti frekuensi tinggi, konsentrasi energi tinggi, dan reflektivitas kuat. Metode sonikasi telah banyak digunakan untuk sintesis berbagai jenis nanomaterial dan komposisinya, termasuk nanopartikel logam, sol koloid, bahan katalitik, dan protein (Yang *et al.*, 2021).

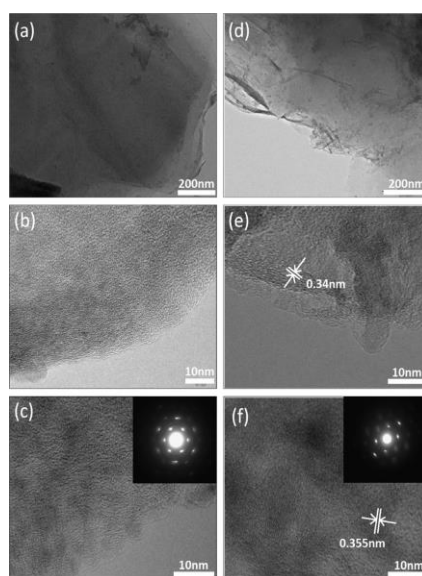


Gambar 2.8 Mekanisme efek kavitasi akustik (Ashiri, 2015)

Gelombang ultrasonik dalam metode sonikasi dapat menyebabkan terjadinya fenomena kavitasi akustik yaitu suatu proses pembentukan, pertumbuhan, dan meletusnya gelembung gas dalam larutan yang disonikasi pada intensitas gelombang ultrasonik yang tinggi. Gelombang ultrasonik yang tinggi menyebabkan terjadinya kenaikan temperatur dan tekanan di atmosfer sehingga terjadi tumbukan antar partikel yang dapat menyebabkan perubahan morfologi, komposisi, reaktivitas, dan gelembung yang terbentuk menjadi pecah sehingga diperoleh material fotokatalis yang memiliki luas permukaan besar (Waluyo *et al.*, 2013). Selain itu, efek kavitasi akustik di dalam metode sonikasi dapat menghasilkan material fotokatalis dengan ukuran partikel yang kecil dan seragam, serta memiliki kemurnian yang tinggi (Cota, 2016).

Guo *et al.* (2011) telah melakukan sintesis  $\text{TiO}_2$  yang diimbangkan pada lembaran grafen menggunakan metode sonikasi. Hasil karakterisasi menggunakan TEM menunjukkan bahwa metode sonikasi terbukti mampu membuat material  $\text{TiO}_2$  terdispersi secara merata pada lembaran grafen (Gambar 2.9). Selain itu, penggunaan metode sonikasi dalam pengembangan material  $\text{TiO}_2$  pada lembaran

grafen menghasilkan rata-rata ukuran material  $\text{TiO}_2$  yang sangat kecil, yaitu antara 4-5 nm sehingga diperoleh laju degradasi metilen biru pada GR- $\text{TiO}_2$  lebih besar dibandingkan laju degradasi metilen biru pada  $\text{TiO}_2$  murni. Laju degradasi GR- $\text{TiO}_2$  dan  $\text{TiO}_2$  murni adalah 0,0139 dan 0,0054. Hal ini menunjukkan bahwa metode sonikasi mampu menghasilkan material fotokatalis dengan ukuran partikel yang kecil sehingga luas permukaannya besar dan aktivitas fotokatalitiknya meningkat.



Gambar 2.9 Hasil karakterisasi TEM GR- $\text{TiO}_2$  sebelum (a-c) dan setelah kalsinasi (GR- $\text{TiO}_2$ -T) (d-f) dalam resolusi yang berbeda (Guo *et al.*, 2011)

Choi *et al.* (2011) melakukan sintesis  $\text{TiO}_2$  menggunakan metode sonikasi dan sol-gel. Hasil karakterisasi menggunakan TEM diperoleh ukuran partikel  $\text{TiO}_2$  yang disintesis menggunakan metode sonikasi sebesar 10 ~ 22 nm lebih kecil dari ukuran partikel  $\text{TiO}_2$  yang disintesis menggunakan sol-gel yakni sebesar 20 nm. Selain itu, sintesis  $\text{TiO}_2$  menggunakan metode sonikasi juga menghasilkan luas permukaan partikel 12,2% lebih besar dari luas permukaan  $\text{TiO}_2$  yang

disintesis dengan metode sol-gel dan menunjukkan aktivitas fotokatalitik 28,7% lebih efisien dibandingkan dengan metode sol-gel.

Berikut ini adalah beberapa penelitian yang telah melakukan sintesis komposit TiO<sub>2</sub>-karbon aktif:

Tabel 2.1 Beberapa penelitian terdahulu yang melakukan sintesis TiO<sub>2</sub>/karbon aktif

No.	Tahun	Penulis	Komposisi TiO <sub>2</sub> :Karbon Aktif	Metode	Polutan	%Degr adasi
1.	2011	Riyani dan Setyaningstyas	97%:3%	Sonikasi	Limbah Tekstil	85,65%
2.	2015	Septiani <i>et al.</i>	95%:5%, 90%:10%, 85%:15%	<i>Solid state</i>	-	-
3.	2015	Poluakan <i>et al.</i>	9,5 gram: 0,5 gram	Sonikasi	<i>Remazol Yellow</i>	95%
4.	2019	Pang <i>et al.</i>	3:1	Sol-Gel	<i>Malachite Green</i>	94,55%
5.	2020	Chobchun <i>et al.</i>	90%:10%	Sol-Gel	<i>Yellow Acid</i>	88%

## 2.6 Pemanfaatan Tumbuhan sebagai Sumber Material dalam Perspektif Islam

Karbon menjadi unsur yang paling melimpah keempat setelah hidrogen, helium, dan oksigen di alam semesta. Karbon dapat ditemukan dengan mudah di sekitar kita, salah satunya dalam jerami padi. Kandungan karbon dalam jerami padi dapat diperoleh dengan melakukan karbonisasi pada jerami padi. Karbon yang diperoleh dari hasil karbonisasi kemudian dilakukan aktivasi secara fisika dan atau kimia untuk memperoleh karbon aktif yang memiliki banyak manfaat. Jerami padi merupakan limbah yang dihasilkan dari tanaman padi. Meskipun jerami padi merupakan limbah dari hasil pertanian, namun jerami padi masih

dapat digunakan sebagai material yang bermanfaat. Hal ini sesuai dengan yang difirmankan oleh Allah Swt. dalam Q.S. Thaha: 53.

الَّذِي جَعَلَ لَكُمُ الْأَرْضَ مَهْدًا وَوَسَّلَ لَكُمْ فِيهَا سُبُلًا وَأَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ أَزْوَاجًا مِّنْ نَّبَاتٍ شَتَّى

Artinya: "(Tuhan) yang telah menjadikan bumi sebagai hamparan bagimu dan Yang telah menjadikan bagi kamu di bumi itu jalan-jalan, dan yang menurunkan dari langit air (hujan), maka Kami tumbuhkan dengannya berjenis-jenis tumbuh-tumbuhan yang bermacam-macam."

Shihab (2002) dalam bukunya Tafsir Al-Mishbah menyebutkan bahwa Thabathaba'i menafsirkan ayat *Dia menurunkan dari langit air, maka Kami tumbuhkan dengannya berjenis-jenis tumbuh-tumbuhan yang bermacam-macam* merupakan bagian dari hidayah yang Allah Swt. berikan kepada manusia dan binatang guna memanfaatkan buah-buahan dan tumbuh-tumbuhan itu untuk keberlangsungan hidup manusia dan hewan. Oleh karena itu, pembuatan karbon aktif dari jerami padi merupakan salah satu cara dalam memanfaatkan tumbuh-tumbuhan yang telah Allah Swt. ciptakan untuk manusia. Karbon aktif yang telah dibuat selanjutnya digunakan sebagai material pendukung TiO<sub>2</sub> yang bertujuan untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitik TiO<sub>2</sub> sehingga dapat mempercepat reaksi fotodegradasi limbah cair zat warna metil jingga. Hal ini sesuai dengan firman Allah Swt. dalam Q.S. Asy-Syuara:7.

أَوَلَمْ يَرَوْا إِلَى الْأَرْضِ كَمْ أَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ

Artinya: "Dan apakah mereka tidak memperhatikan bumi, berapa banyak Kami tumbuhkan di bumi berbagai macam pasangan (tumbuh-tumbuhan) yang baik?"

Kata (إلى) *ila* di awal ayat tersebut memiliki makna batas akhir, maka ayat tersebut bertujuan untuk mengundang manusia agar mengarahkan pandangannya

hingga batas kemampuannya memandang sampai mencakup seantero bumi, dengan aneka tanah dan tumbuhannya dan aneka keajaiban yang terhampar pada tumbuhannya. Dan Kata (زوج) *zauj* berarti pasangan. Pasangan yang dimaksud dalam ayat tersebut adalah pasangan tumbuh-tumbuhan. Dalam ayat tersebut juga terdapat kata (كريم) *kariim* yang digunakan untuk menggambarkan sesuatu yang baik bagi setiap objek yang disiatinya. Maka dalam ayat tersebut menunjukkan tumbuh-tumbuhan adalah baik. Tumbuhan yang baik, paling tidak adalah yang subur dan bermanfaat (Shihab, 2002). Oleh karena itu, manusia diperintahkan untuk memperhatikan bumi bahwa Allah Swt. telah menciptakan bumi yang di dalamnya terdapat tumbuh-tumbuhan yang bermanfaat untuk keberlangsungan hidup manusia.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

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

Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei-Agustus 2022 di Laboratorium Kimia Anorganik Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.

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

##### **3.2.1 Alat**

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah mortar *agate*, ayakan mikron ukuran 100 mesh, spatula, gelas arloji, neraca analitik, Erlenmeyer 250 mL, *beaker glass* 100 mL, labu ukur 100 mL, *furnace*, oven (*Thermo Scientific*), sonikator, *magnetic stirrer*, desikator, *sentrifuge*, Spektrofotometer UV-Vis varian tipe Cary 50, Spektrofotometer UV-Vis DRS Evolution 220, Spektrofotometer FTIR VARIAN tipe FT 1000, Benchtop Powder XRD Rigaku, dan UV reaktor.

##### **3.2.2 Bahan**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah jerami padi yang diperoleh dari Kelurahan Dinoyo, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang, aquades, air demineralisasi, serbuk KBr, padatan TiO<sub>2</sub> anatas, larutan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 0,1 N, dan metil jingga.



### 3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan dalam penelitian ini adalah:

1. Preparasi sampel dan aktivasi karbon.
2. Sintesis TiO<sub>2</sub>-karbon aktif menggunakan metode sonikasi menggunakan variasi komposisi massa TiO<sub>2</sub> : karbon aktif.
3. Identifikasi energi celah pita fotokatalis TiO<sub>2</sub>-karbon aktif menggunakan Spektrofotometer UV-Vis DRS.
4. Identifikasi struktur dan ukuran kristal fotokatalis TiO<sub>2</sub>-karbon aktif menggunakan X-Ray Diffraction (XRD).
5. Identifikasi gugus-gugus fungsi fotokatalis TiO<sub>2</sub>-karbon aktif menggunakan instrument FTIR.
6. Pembuatan larutan metil jingga.
7. Uji aktivitas fotokatalis terhadap degradasi metil jingga.

### 3.4 Prosedur Kerja

#### 3.4.1 Preparasi dan Aktivasi Karbon dari Jerami Padi

Jerami padi yang telah dipotong kecil-kecil ditimbang sebanyak 50 gram dan dikeringkan pada suhu 105°C selama 24 jam menggunakan oven. Setelah itu sampel jerami padi diaktivasi pada *furnace* dengan suhu 600°C selama 30 menit. Kemudian sampel ditumbuk dan diayak dengan ukuran partikel 100 mesh (Riyani dan Setyaningtyas, 2011). Setelah itu sampel diaktivasi kimia dengan cara menambahkan karbon aktif ke dalam 25 mL larutan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 0,1 N, lalu sampel diaduk serta ditutup menggunakan aluminium foil selama 24 jam. Setelah itu, karbon aktif disaring dan dicuci dengan aquades. Kemudian karbon aktif

dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C dan didinginkan sampai suhu kamar dan disimpan dalam wadah tertutup (Maelani, 2015).

#### **3.4.2 Sintesis TiO<sub>2</sub>-karbon Aktif Jerami Padi menggunakan Metode Sonikasi**

Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-karbon aktif jerami padi (TiO<sub>2</sub>-KAJP) dibuat dengan perbandingan komposisi massa TiO<sub>2</sub>:karbon aktif 95%:5%, 90%:10%, dan 85%:15%. Selanjutnya TiO<sub>2</sub> dan karbon aktif disuspensikan ke dalam 10 mL air demineralisasi, kemudian larutan tersebut diletakkan dalam sonikator 20 kHz selama 30 menit dan disaring. Setelah itu TiO<sub>2</sub>-KAJP dikeringkan dalam oven dengan suhu 105°C selama 24 jam dan dikalsinasi pada suhu 500°C selama 2 jam (Riyani dan Setyaningtyas, 2011).

#### **3.4.3 Identifikasi Energi Celah Pita Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-Karbon Aktif Jerami Padi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis DRS**

Identifikasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis DRS bertujuan untuk mengetahui daerah serapan sinar dan energi celah pita dari material fotokatalis TiO<sub>2</sub>-KAJP. Sampel yang akan dikarakterisasi dalam bentuk serbuk halus ditempatkan pada *sample holder* kemudian diukur persentase reflektansinya pada panjang gelombang 200-800 nm (Ilmi, 2020).

#### **3.4.4 Identifikasi Struktur Kristal Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-karbon Aktif Jerami Padi menggunakan X-Ray Diffraction (XRD)**

Identifikasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) bertujuan untuk mengetahui keberhasilan dari sintesis dan struktur kristal yang terbentuk.

Instrumen XRD menggunakan radiasi monokromator Cu ( $\lambda=1,5405 \text{ \AA}$ ) dengan  $2\theta$  5-90°C. Sampel yang akan dikarakterisasi dihaluskan hingga menjadi serbuk halus, kemudian ditempatkan pada preparat. Selanjutnya sampel ditempatkan pada *sample holder* dan disinari dengan sinar X. Hasil difraktogram yang diperoleh dibandingkan dengan standar untuk TiO<sub>2</sub> (Ilmi, 2020).

#### **3.4.5. Identifikasi Gugus Fungsi menggunakan FTIR**

Identifikasi menggunakan FTIR bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi dalam fotokatalis TiO<sub>2</sub>-KAJP hasil sintesis. Sampel dihaluskan menggunakan mortar agate dengan dicampurkan padatan KBr hingga menjadi serbuk halus. Selanjutnya sampel diletakkan pada preparat dan ditekan alat *pressing* untuk membentuk pelet. Kemudian sampel ditempatkan pada *sample holder* dan dianalisis menggunakan spektrofotometer FTIR (Ilmi, 2020).

#### **3.4.6 Uji Aktivitas Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-Karbon Aktif terhadap Degradasi Metil Jingga**

##### **3.4.6.1 Pembuatan Larutan Induk Metil Jingga 100 ppm**

Serbuk metil jingga murni sebanyak 10 mg dilarutkan dalam akuades sampai tepat pada tanda batas labu ukur 100 mL. Selanjutnya larutan dikocok hingga homogen dan diperoleh larutan induk metil jingga 100 ppm (Ilmi, 2020).

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

Larutan induk metil jingga 100 ppm dipipet 10 mL dan dilarutkan dalam akuades sampai tepat pada tanda batas labu ukur 100 mL. Selanjutnya larutan

dikocok hingga homogen dan diperoleh larutan metil jingga 10 ppm. Penentuan panjang gelombang maksimum dilakukan pada rentang panjang gelombang UV-Vis mulai 400-800 nm. Panjang gelombang maksimum ditentukan dengan melihat absorbansi terbesar yang diserap metil jingga. Selanjutnya data panjang gelombang maksimum digunakan untuk membentuk kurva standar (Ilmi, 2020).

#### **3.4.6.3 Pembuatan Kurva Standar Metil Jingga**

Larutan metil jingga dibuat dengan variasi konsentrasi 1, 2, 4, 6, 8, dan 10 ppm. Mula-mula larutan induk metil jingga 100 ppm dipipet sebanyak 1, 2, 4, 6, 8, dan 10 mL, kemudian dimasukkan ke dalam 5 buah labu ukur 100 mL. Masing-masing larutan selanjutnya dilarutkan dalam akuades sampai tepat pada tanda batas lalu dikocok hingga homogen. Larutan yang telah dibuat diukur absorbansinya menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimumnya. Hasil pengukuran absorbansi larutan dibuat kurva hubungan konsentrasi (C) dengan absorbansi (A) (Ilmi, 2020).

#### **3.4.6.4 Fotodegradasi Metil Jingga dengan Variasi Komposisi Massa TiO<sub>2</sub>-**

##### **KAJP**

Sebanyak 3 buah *beaker glass* 100 mL ditambahkan 25 mL larutan metil jingga 10 ppm. Setelah itu, larutan metil jingga ditambahkan fotokatalis TiO<sub>2</sub>-KAJP variasi komposisi massa 95%:5%, 90%:10%, dan 85%:15% sebanyak 50 mg. Selanjutnya semua *beaker glass* dimasukkan ke dalam fotoreaktor dan disinari dengan sinar UV selama 100 menit. Setelah itu larutan hasil degradasi disaring dan disentrifugasi selama 30 menit lalu diukur absorbansi supernatan

menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum metil jingga. Proses fotodegradasi dilakukan secara triplo (Ilmi, 2020).

#### **3.4.6.5 Fotodegradasi Metil Jingga dengan Variasi Massa Katalis**

Sebanyak 25 mL larutan metil jingga 10 ppm ditambahkan ke dalam 3 buah *beaker glass* 100 mL. Kemudian masing-masing *beaker glass* ditambahkan fotokatalis TiO<sub>2</sub>-KAJP komposisi massa optimum sebanyak 25, 50, dan 75 mg. Setelah itu, semua sampel dimasukkan dalam fotoreaktor dan disinari dengan sinar UV selama 100 menit. Larutan hasil degradasi selanjutnya disaring dan disentrifugasi selama 30 menit dan diukur absorbansi supernatan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum metil jingga. Proses fotodegradasi dilakukan secara triplo (Ilmi, 2020).

#### **3.4.6.6 Uji Efektivitas Fotokatalis terhadap Fotodegradasi Metil Jingga**

Sebanyak 25 mL larutan metil jingga 10 ppm ditambahkan ke dalam 5 *beaker glass* 100 mL. Kemudian masing-masing sampel tersebut dilakukan fotodegradasi dengan kondisi reaksi sebagai berikut:

- i. Metil jingga 10 ppm + TiO<sub>2</sub> 50 mg
- ii. Metil jingga 10 ppm + karbon aktif 50 mg
- iii. Metil jingga 10 ppm + TiO<sub>2</sub> 50 mg + penyinaran UV selama 100 menit
- iv. Metil jingga 10 ppm + karbon aktif 50 mg + penyinaran UV selama 100 menit
- v. Metil jingga 10 ppm + TiO<sub>2</sub>-KAJP optimum 50 mg + penyinaran UV selama 100 menit.

Setelah itu, larutan hasil degradasi disaring dan disentrifugasi selama 30 menit dan diukur absorbansi supernatan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum metil jingga. Proses fotodegradasi dilakukan secara triplo.

### 3.4.7 Analisis Data

1. Analisa data DRS menggunakan teori Kubelka Munk seperti pada persamaan berikut:

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

F(R): faktor Kubelka-Munk      R: nilai reflektan yang diukur terhadap standar

K: koefisien absorpsi molar      S: koefisien *scattering*

Data persen reflektansi (%R) diubah menjadi reflektansi (R). Energi celah pita sampel ditentukan dengan membuat spektra hubungan antara  $(F(R)hv)^{0.5}$  sebagai sumbu Y dan energi foton sebagai sumbu X. Kemudian ditentukan dengan menarik garis linear yang melewati daerah tersebut dan ditentukan persamaan linear dengan nilai x sebagai energi celah pita ketika  $y=0$  (Jannah, 2019).

2. Difraktogram hasil karakterisasi dengan XRD dibandingkan dengan  $TiO_2$  fasa anatas dan standar  $TiO_2$  fasa anatas (JCPDS no. 21-1272) untuk mengetahui perubahan fasa kristal dari  $TiO_2$  hasil sintesis. Selanjutnya ukuran kristal dihitung berdasarkan data difraktogram yang diperoleh menggunakan persamaan Debye-Scherrer:

$$D = \frac{K \lambda}{dW \cdot \cos \theta}$$

Di mana D merupakan rata-rata dari ukuran kristal (nm),  $dW$  adalah lebar puncak pada setengah intensitas,  $\theta$  adalah sudut Bragg, K adalah konstanta yang

besarnya bergantung pada bentuk kristal ( $\sim 10$ ), dan  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-X ( $1,54 \text{ \AA}$ ).

3. Data yang diperoleh dari spektroskopi IR dibandingkan dengan data karakteristik vibrasi  $\text{TiO}_2$  dan karbon aktif. Karakteristik vibrasi  $\text{TiO}_2$  dan karbon aktif ditampilkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Karakteristik vibrasi  $\text{TiO}_2$ -karbon aktif (Septiani *et al.*, 2015, Chobchun, *et al.* 2020)

Jenis Vibrasi	Bilangan Gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )
OH <i>stretching</i>	3700-3400
C=C <i>stretching</i>	1600
Ti-O-C <i>stretching</i>	1060-1038
Ti-O <i>stretching</i>	1000-400

4. Analisis data aktivitas fotokatalitik dilakukan dengan menghitung absorbansi larutan standar menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Setelah didapatkan nilai absorbansi, dibuat kurva standar dengan sumbu x adalah konsentrasi larutan standar dan sumbu y adalah absorbansi. Melalui kurva, akan diperoleh persamaan regresi linear  $y = ax + b$  dengan y sebagai absorbansi dan x konsentrasi. Dari persamaan regresi linear tersebut dilakukan perhitungan untuk mengetahui konsentrasi akhir dari larutan metil jingga setelah degradasi.

Persen degradasi metil jingga diketahui dengan memasukkan nilai konsentrasi awal dan konsentrasi akhir metil jingga ke dalam persamaan berikut:

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

Konsentrasi awal metil jingga didefinisikan sebagai  $C_0$  sedangkan konsentrasi akhir metil jingga setelah dilakukan proses fotokatalis dilambangkan dengan  $C_t$  (Ilmi, 2020).

5. Selanjutnya, data hasil optimasi aktivitas fotokatalitik TiO<sub>2</sub>-KAJP dengan variasi komposisi massa, massa penambahan fotokatalis, dan efektivitas fotokatalis dianalisis menggunakan Rancangan Acak Lengkap (*one ways ANOVA*) untuk mengetahui ada beda nyata dan beda terkecil atau tidak antara variabel terikat (% Degradasi) dan variabel kontrol (komposisi massa, massa fotokatalis, perlakuan fotokatalis). Adapun hipotesis yang digunakan adalah:

1. H<sub>0</sub> :  $\mu\alpha_1 = \mu\alpha_2 = \mu\alpha_3 = 0$  artinya tidak ada perbedaan pengaruh yang signifikan antara perlakuan satu dengan perlakuan yang lain.
2. H<sub>1</sub> :  $\mu\alpha_1 \neq \mu\alpha_2 \neq \mu\alpha_3 \neq 0$  artinya minimal terdapat satu perlakuan yang memberikan pengaruh yang berbeda.

Kriteria pengujian hipotesis dilakukan dengan Nilai Probabilitas (*p-value/sig.*) yang diketahui berdasarkan hasil pengujian statistika Rancangan Acak Lengkap (RAL). Adapun ketentuannya sebagai berikut:

1. Jika Nilai Probabilitas < *alpha* ( $\alpha = 5\%$  (0.05)) maka H<sub>0</sub> ditolak atau H<sub>1</sub> diterima. Artinya terdapat minimal satu perlakuan yang memberikan pengaruh yang berbeda.
2. Jika Nilai Probabilitas > *alpha* ( $\alpha = 5\%$  (0.05)) maka H<sub>0</sub> diterima atau H<sub>1</sub> ditolak. Artinya tidak terdapat perbedaan pengaruh antar perlakuan.

Selanjutnya dilakukan uji lanjut menggunakan Uji Perbandingan Berganda apabila hasil analisis ANOVA menunjukkan H<sub>0</sub> ditolak atau H<sub>1</sub> diterima. Hal ini bertujuan untuk mengetahui perlakuan mana yang memiliki pengaruh berbeda nyata.

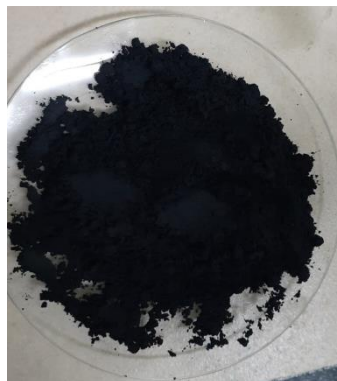


## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Preparasi dan Aktivasi Karbon Aktif Jerami Padi

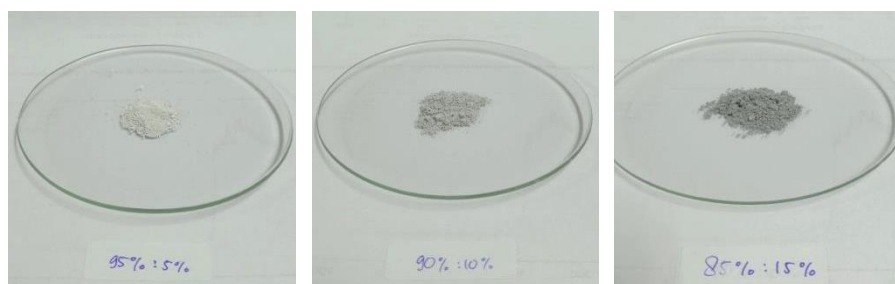
Preparasi karbon aktif jerami padi dilakukan dengan pencucian dan pengeringan jerami padi untuk menghilangkan pengotor dan kandungan air yang terdapat pada jerami padi. Setelah itu karbon aktif dibuat melalui proses karbonisasi bahan baku yang bertujuan untuk menguraikan senyawa-senyawa organik yang menyusun struktur bahan sehingga diperoleh padatan karbon dalam bentuk arang (Miranti, 2012). Jumlah arang yang diperoleh dari proses karbonisasi adalah 10,89 gram dari bahan baku jerami padi sebanyak 50 gram sehingga diperoleh rendemen sebesar 21,78%. Jumlah arang yang diperoleh dalam penelitian ini tidak cukup besar dikarenakan suhu pemanasan karbonisasi yang terlalu tinggi sehingga produk yang dihasilkan adalah arang dan abu. Arang jerami padi diaktivasi menggunakan asam fosfat ( $H_3PO_4$ ) agar pengotor yang menutupi pori-pori pada permukaan arang dapat hilang. Hasil karbon aktif dari jerami padi yang diperoleh dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Karbon aktif dari jerami padi

#### 4.2 Hasil Analisis Struktur Komposit TiO<sub>2</sub>-KAJP menggunakan Teknik Difraksi Sinar-X

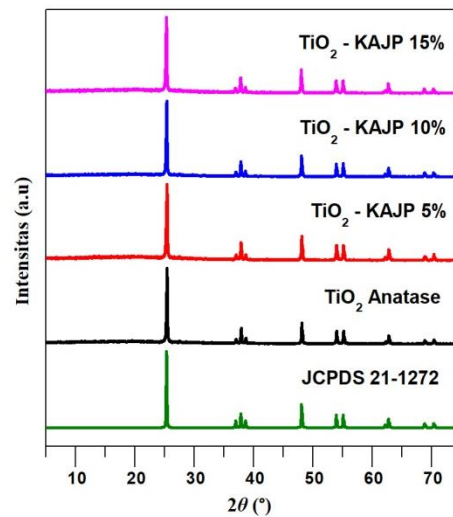
Hasil sintesis TiO<sub>2</sub>-KAJP dalam penelitian ini ditampilkan pada Gambar 4.2. Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa semakin banyak jumlah massa karbon aktif yang ditambahkan, maka warna dari material sintesis semakin mendekati keabu-abuan.



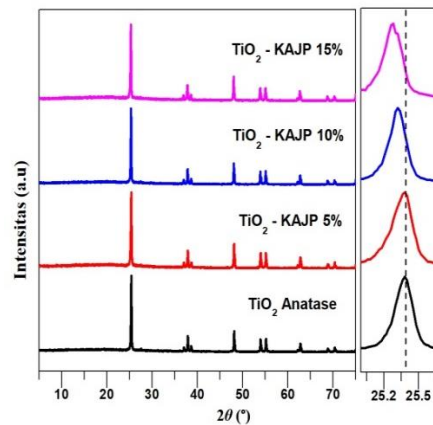
Gambar 4.2 Komposit TiO<sub>2</sub>-KAJP 5%, TiO<sub>2</sub>-KAJP 10%, dan TiO<sub>2</sub>-KAJP 15%

Karakterisasi senyawa hasil sintesis menggunakan metode difraksi sinar-X bertujuan untuk mengetahui fasa kristal dan ukuran kristal. Gambar 4.3 merupakan difraktogram dari TiO<sub>2</sub> anatas dan TiO<sub>2</sub>-KAJP. Pola difraksi yang terbentuk dari TiO<sub>2</sub>-KAJP dibandingkan dengan pola difraksi TiO<sub>2</sub> anatas sampel dan TiO<sub>2</sub> anatas dari data JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standard*) no. 21-1272. Hasil menunjukkan bahwa senyawa TiO<sub>2</sub>-KAJP yang disintesis dalam penelitian ini memiliki struktur kristal dengan fasa anatas menghasilkan puncak khas dengan intensitas tertinggi yaitu pada posisi  $2\theta = 25,38^\circ$  untuk TiO<sub>2</sub>-KAJP 5%,  $2\theta = 25,32^\circ$  untuk TiO<sub>2</sub>-KAJP 10%,  $2\theta = 25,27^\circ$  untuk TiO<sub>2</sub>-KAJP 15%, dan  $2\theta = 25,37^\circ$  untuk TiO<sub>2</sub> anatas sampel. Terbentuknya fasa anatas pada TiO<sub>2</sub>-KAJP menunjukkan bahwa penambahan karbon aktif pada TiO<sub>2</sub> tidak mengubah fasa kristal dari TiO<sub>2</sub> anatas yang digunakan sebagai sampel. Hal ini disebabkan karena suhu kalsinasi dalam proses sintesis yang

digunakan adalah  $500^{\circ}\text{C}$  yang diketahui dapat menghasilkan kristal  $\text{TiO}_2$  dengan fasa anatas yang tinggi (Chobchun *et al.*, 2020). Hasil dalam penelitian ini telah sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Chobchun, *et al.* (2020) yang mensintesis  $\text{TiO}_2$ -karbon aktif dan menghasilkan kristal dengan fasa anatas.



Gambar 4.3 Difraktogram XRD  $\text{TiO}_2$  anatas JCPDS,  $\text{TiO}_2$  anatas sampel,  $\text{TiO}_2$ -KAJP 5%,  $\text{TiO}_2$ -KAJP 10%, dan  $\text{TiO}_2$ -KAJP 15%



Gambar 4.4 Perbesaran puncak XRD pada posisi  $2\theta = 25^{\circ}$

Berdasarkan perbesaran puncak difraktogram pada posisi  $2\theta = 25^{\circ}$  pada Gambar 4.4 dapat diketahui bahwa terdapat pergeseran puncak difraktogram

TiO<sub>2</sub>-KAJP ke sudut  $2\theta$  yang lebih kecil seiring dengan jumlah KAJP yang ditambahkan. Hal ini menunjukkan semakin tingginya nilai *d spacing* dan parameter kisi kristal dari TiO<sub>2</sub>-KAJP dibandingkan dengan TiO<sub>2</sub> anatas (Prasetya *et al.*, 2020). Selain itu, juga terdapat perbedaan lebar puncak dari senyawa TiO<sub>2</sub> anatas, TiO<sub>2</sub>-KAJP 5%, TiO<sub>2</sub>-KAJP 10%, dan TiO<sub>2</sub>-KAJP 15%. Hal ini mengindikasikan adanya perubahan ukuran kristal dari senyawa yang disintesis (Nasiri-Tabrizi, 2014). Perhitungan ukuran kristal dapat dilihat pada Lampiran 3.5 dan hasil perhitungan ukuran kristal menggunakan persamaan Debye-Scherrer ditampilkan pada Tabel 4.1.

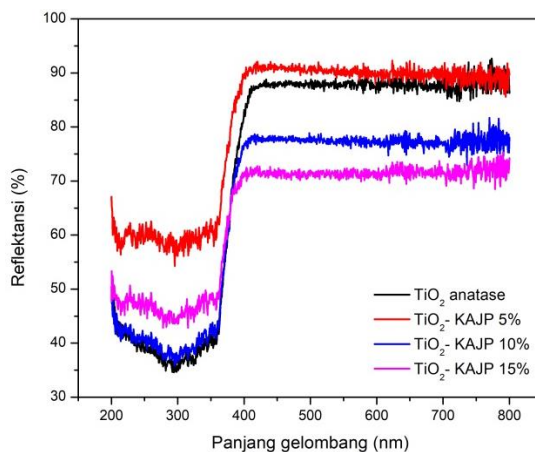
Tabel 4.1 Ukuran kristal TiO<sub>2</sub> anatas, TiO<sub>2</sub>-KAJP 5%, TiO<sub>2</sub>-KAJP 10%, dan TiO<sub>2</sub>-KAJP 15%

<b>Fotokatalis</b>	<b>Ukuran Kristal (nm)</b>
TiO <sub>2</sub> Anatas	51,93
TiO <sub>2</sub> -KAJP 5%	41,51
TiO <sub>2</sub> -KAJP 10%	55,02
TiO <sub>2</sub> -KAJP 15%	47,98

Berdasarkan Gambar 4.4, sampel yang mengalami pelebaran puncak difraktogram setelah dibandingkan dengan TiO<sub>2</sub> anatas yakni sampel TiO<sub>2</sub>-KAJP 5% dan TiO<sub>2</sub>-KAJP 15% sedangkan puncak dari TiO<sub>2</sub>-KAJP 10% cenderung sedikit lebih kecil puncaknya dibandingkan dengan TiO<sub>2</sub> anatas. Hal ini sesuai dengan hasil perhitungan ukuran kristal dari masing-masing sampel yakni TiO<sub>2</sub>-KAJP 5% dan TiO<sub>2</sub>-KAJP 15% memiliki ukuran kristal yang lebih kecil dibandingkan ukuran kristal TiO<sub>2</sub> anatas sedangkan TiO<sub>2</sub>-KAJP 10% memiliki ukuran kristal yang lebih besar dibandingkan TiO<sub>2</sub> anatas. Berdasarkan hasil uji aktivitasnya, TiO<sub>2</sub>-KAJP 5% dengan ukuran kristal paling kecil memiliki aktivitas fotokatalitik yang paling baik dalam mendegradasi metil jingga.

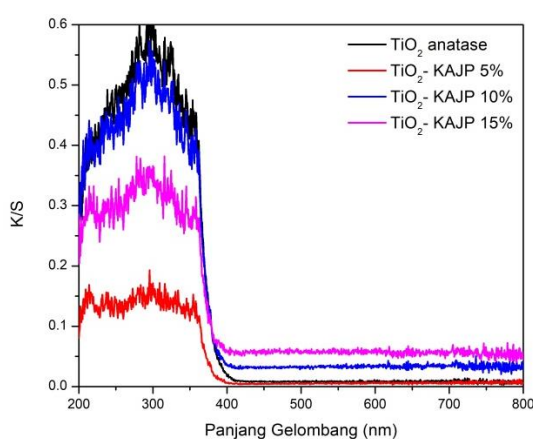
### 4.3 Hasil Analisis Energi Celah Pita Komposit TiO<sub>2</sub>-KAJP menggunakan UV-Vis *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (DRS)

Karakterisasi menggunakan UV-Vis DRS bertujuan untuk mengetahui daerah serapan sinar dan energi celah pita material hasil sintesis. Karakterisasi juga dilakukan pada TiO<sub>2</sub> anatas sebagai pembanding dengan TiO<sub>2</sub>-KAJP yang telah disintesis. Pada penelitian ini terdapat tiga plot grafik hasil karakterisasi UV-Vis DRS. Grafik yang menunjukkan hubungan antara panjang gelombang dan persentase (%) reflektansi disajikan dalam Gambar 4.5. Berdasarkan Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa TiO<sub>2</sub> anatas dan TiO<sub>2</sub>-KAJP memiliki nilai reflektansi paling rendah di daerah sinar UV (panjang gelombang 200-380 nm) dan mengalami kenaikan nilai reflektansi pada daerah sinar tampak (panjang gelombang 380 – 800 nm). Pada daerah sinar UV, TiO<sub>2</sub> anatas memiliki nilai reflektansi yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai reflektansi TiO<sub>2</sub>-KAJP 5%, TiO<sub>2</sub>-KAJP 10%, dan TiO<sub>2</sub>-KAJP 15% sedangkan pada daerah sinar tampak, nilai reflektansi TiO<sub>2</sub> anatas lebih tinggi dari nilai reflektansi TiO<sub>2</sub>-KAJP 10% dan TiO<sub>2</sub>-KAJP 15%. Adapun TiO<sub>2</sub>-KAJP 5% memiliki nilai reflektansi yang lebih tinggi dari TiO<sub>2</sub> anatas pada daerah sinar tampak. Nilai reflektansi memiliki hubungan berbanding terbalik dengan nilai absorbansi sehingga hal tersebut juga menunjukkan bahwa TiO<sub>2</sub>-KAJP 5% memiliki nilai absorbansi paling rendah di daerah sinar tampak dibandingkan dengan TiO<sub>2</sub> anatas, TiO<sub>2</sub>-KAJP 10%, dan TiO<sub>2</sub>-KAJP 15%. Nilai reflektansi TiO<sub>2</sub>-KAJP semakin menurun seiring dengan bertambahnya jumlah karbon aktif yang ditambahkan pada daerah sinar tampak sehingga kemampuan absorpsi sinar semakin meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah karbon aktif yang ditambahkan.



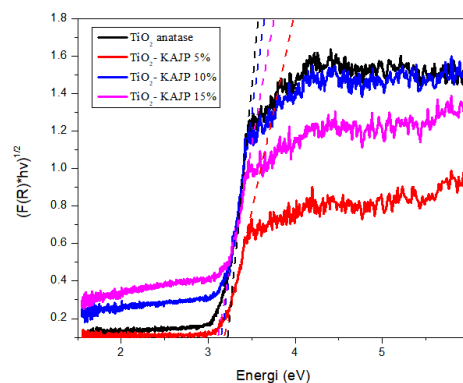
Gambar 4.5 Grafik hubungan antara % reflektansi dengan panjang gelombang

Analisis lebih lanjut dilakukan dengan menggunakan teori Kubelka-Munk yaitu persamaan yang menyatakan nilai  $F(R)$  sebanding dengan nilai koefisien absorpsi per faktor *scattering* ( $K/S$ ). Berdasarkan Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa  $\text{TiO}_2$  anatas memiliki kemampuan menyerap sinar yang cukup baik pada daerah sinar UV, akan tetapi mengalami penurunan yang cukup signifikan pada daerah sinar tampak. Adanya penambahan karbon aktif pada  $\text{TiO}_2$  mampu meningkatkan kemampuan menyerap sinar pada daerah sinar tampak.



Gambar 4.6 Grafik hubungan antara  $F(R)$  dengan panjang gelombang

Nilai energi celah pita atau *band gap* diperoleh dengan memplotkan garis lurus yang memotong sumbu x pada grafik hubungan antara energi (eV) dengan  $(F(R) \cdot hv)^{1/2}$ . Berdasarkan Gambar 4.7 diperoleh energi celah pita  $TiO_2$  anatas sebesar 3,20 eV sedangkan  $TiO_2$ -KAJP memiliki energi celah pita yang lebih kecil yaitu 3,19 eV ( $TiO_2$ -KAJP 5%), 3,18 eV ( $TiO_2$ -KAJP 10%), dan 3,16 eV ( $TiO_2$ -KAJP 15%). Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar komposisi KAJP yang diberikan maka energi celah pita yang dihasilkan juga semakin rendah. Penurunan energi celah pita pada  $TiO_2$ -KAJP menurut Asilturk dan Sener (2012) disebabkan oleh ukuran partikel  $TiO_2$  yang semakin kecil yang mendukung densitas cacat permukaan yang lebih besar pada  $TiO_2$ . Cacat ini pada gilirannya, membuat jebakan di dekat tepi pita keadaan elektronik semikonduktor sehingga mengurangi celah pita dan mengarah ke pergeseran merah spektrum. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini telah sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Martins, *et al.* (2017) bahwa energi celah pita dari fotokatalis  $TiO_2$ -karbon aktif lebih kecil dibandingkan dengan energi celah pita  $TiO_2$  murni yaitu masing-masing sebesar 3,04 eV dan 3,07 eV.



Gambar 4.7 Nilai energi celah pita  $TiO_2$  anatas dan  $TiO_2$ -KAJP

Tabel 4.2 Energi celah pita dan daerah serapan panjang gelombang

Fotokatalis	Energi celah pita (eV)	Panjang gelombang (nm)
TiO <sub>2</sub> anatas	3,20	387,75
TiO <sub>2</sub> -KAJP 5%	3,19	388,97
TiO <sub>2</sub> -KAJP 10%	3,18	390,19
TiO <sub>2</sub> -KAJP 15%	3,16	392,66

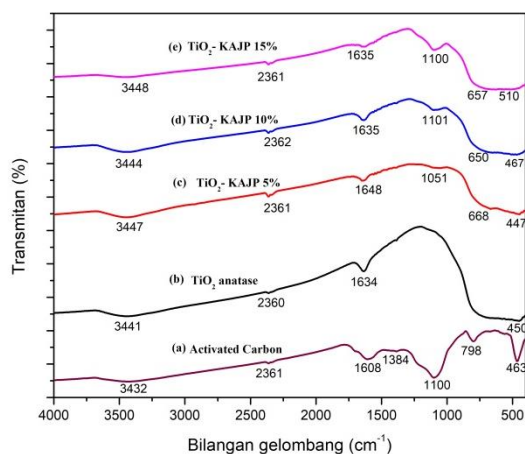
Selanjutnya dari nilai energi celah pita dapat diketahui juga nilai panjang gelombang senyawa. Hasil penentuan energi celah pita dan panjang gelombang TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub>-KAJP ditampilkan pada Tabel 4.2. Fotokatalis TiO<sub>2</sub> anatas, TiO<sub>2</sub>-KAJP 5%, TiO<sub>2</sub>-KAJP 10%, dan TiO<sub>2</sub>-KAJP 15% memiliki panjang gelombang masing-masing sebesar 387,75 nm, 388,97 nm, 390,19 nm, dan 392,66 nm. Hal ini menunjukkan bahwa keempat senyawa tersebut dapat bekerja di daerah UV. Namun seiring dengan jumlah karbon aktif yang ditambahkan pada TiO<sub>2</sub> menyebabkan panjang gelombang dari TiO<sub>2</sub>-KAJP semakin besar dan mendekati daerah sinar tampak. Hal ini juga dibuktikan dari Gambar 4.6 di mana penambahan karbon aktif mampu meningkatkan kemampuan absorpsi TiO<sub>2</sub>-KAJP pada daerah sinar tampak.

#### 4.4 Hasil Analisis Gugus Fungsi Komposit TiO<sub>2</sub>-KAJP menggunakan Spektroskopi *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

Karakterisasi senyawa menggunakan spektrofotometer FTIR dilakukan untuk mengetahui serapan dari gugus fungsi material hasil sintesis secara kualitatif. Spektra FTIR sampel karbon aktif, TiO<sub>2</sub>, dan TiO<sub>2</sub>-KAJP ditampilkan pada Gambar 4.8 dan identifikasi vibrasi gugus fungsi FTIR dirangkum pada Tabel 4.3. Berdasarkan spektra FTIR karbon aktif jerami padi pada Gambar 4.8(a)



dapat diketahui bahwa spektra karbon aktif menghasilkan serapan dari karbon dan silika. Spektra FTIR karbon aktif (Gambar 4.8 (a)) memiliki serapan pada bilangan gelombang  $3432\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan serapan dari gugus  $\text{-OH}$  *stretching vibration*. Hal ini menunjukkan bahwa pada struktur karbon aktif terdapat gugus  $\text{-OH}$  yang terikat pada cincin aromatik karbon aktif. Adanya serapan pada bilangan gelombang  $1608\text{ cm}^{-1}$  merupakan serapan dari gugus  $\text{C=C}$  *stretching* dari cincin aromatik karbon aktif. Selain itu, adanya serapan pada bilangan gelombang  $1100\text{ cm}^{-1}$ ,  $798\text{ cm}^{-1}$ , dan  $463\text{ cm}^{-1}$  pada karbon aktif mengindikasikan serapan dari gugus  $\text{Si-O-Si}$  *asymmetric stretching* dan  $\text{Si-O}$  *symmetric stretching* sehingga dalam penelitian ini diketahui bahwa karbon aktif yang diperoleh masih mengandung pengotor berupa silika yang berasal dari jerami padi. Spektra FTIR  $\text{TiO}_2$  anatas pada Gambar 4.8(b) menunjukkan adanya serapan khas dari  $\text{TiO}_2$  yakni pada bilangan gelombang  $450\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan serapan dari  $\text{Ti-O}$  *stretching*. Kemudian pada spektra FTIR  $\text{TiO}_2$ -KAJP pada Gambar 4.8(c,d,e) menunjukkan adanya perbedaan dari spektra  $\text{TiO}_2$  anatas dengan  $\text{TiO}_2$ -KAJP yakni pada bilangan gelombang  $1101\text{-}1051\text{ cm}^{-1}$  dan  $668\text{-}650\text{ cm}^{-1}$ . Adanya serapan di daerah bilangan gelombang  $1101\text{-}1051\text{ cm}^{-1}$  dan  $668\text{-}650\text{ cm}^{-1}$  pada spektra  $\text{TiO}_2$ -KAJP 5%,  $\text{TiO}_2$ -KAJP 10%, dan  $\text{TiO}_2$ -KAJP 15% merupakan serapan dari  $\text{Si-O-Si}$  *asymmetric stretching* dan  $\text{Si-O}$  *symmetric stretching* yang berasal dari karbon aktif.



Gambar 4.8 Spektra FTIR (a) karbon aktif, (b) TiO<sub>2</sub> anatase, (c) TiO<sub>2</sub>-KAJP 5%, (d) TiO<sub>2</sub>-KAJP 10%, dan (e) TiO<sub>2</sub>-KAJP 15%

Tabel 4.3 Identifikasi gugus fungsi

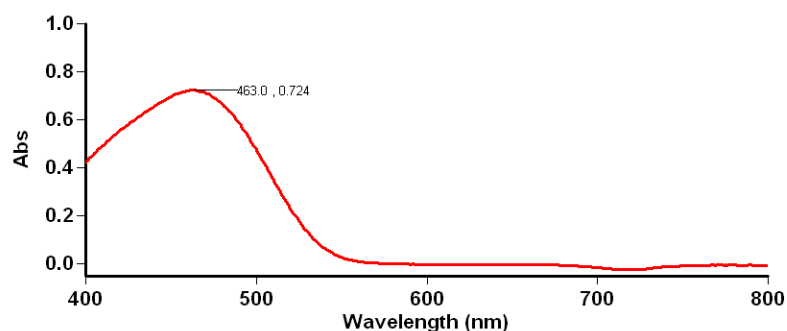
Bilangan Gelombang (cm <sup>-1</sup> )					Interpretasi
TiO <sub>2</sub> Anatase	Karbon Aktif (KAJP)	TiO <sub>2</sub> -KAJP 5%	TiO <sub>2</sub> -KAJP 10%	TiO <sub>2</sub> -KAJP 15%	
3441	3432	3447	3444	3448	O-H stretching <sup>a</sup>
2360	2361	2361	2362	2361	O=C=O stretching <sup>b</sup>
1634	-	1648	1635	1635	O-H bending <sup>a</sup>
-	1608	-	-	-	C=C stretching <sup>c</sup>
-	1384	-	-	-	-CH <sub>2</sub> atau -CH <sub>3</sub> bending <sup>c</sup>
-	1100	1051	1101	1100	Si-O-Si asymmetric stretching <sup>d</sup>
-	798	668	650	657	Si-O symmetric stretching <sup>d</sup>
450	-	447	467	510	Ti-O stretching <sup>e</sup>
-	463	-	-	-	Si-O symmetric stretching <sup>d</sup>

<sup>a</sup>Pang *et al.*, 2020, <sup>b</sup>Samsudin *et al.*, 2015, <sup>c</sup>Saad *et al.*, 2019, <sup>d</sup>Mopoung *et al.*, 2015, <sup>e</sup>Septiani *et al.*, 2015.

## 4.5 Hasil Fotodegradasi Metil Jingga menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-KAJP

### 4.5.1 Panjang Gelombang Maksimum Metil Jingga

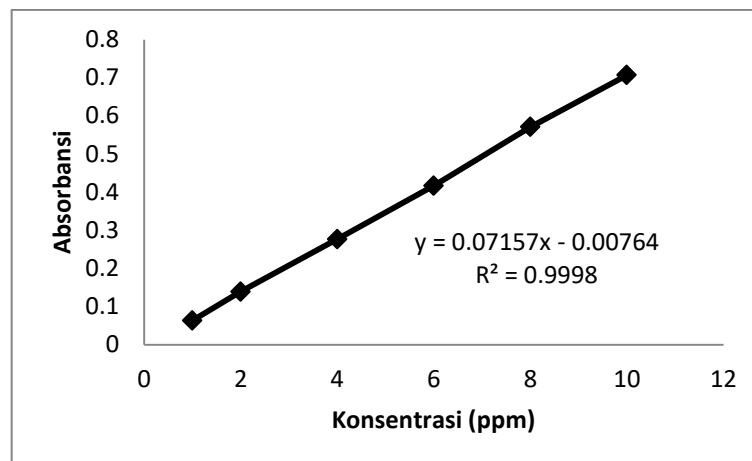
Penentuan panjang gelombang maksimum metil jingga dilakukan untuk mendapatkan nilai absorpsivitas yang dapat memberikan sensitivitas pengukuran yang paling tinggi (Kusumawardhani *et al.*, 2016). Pengukuran panjang gelombang metil jingga dilakukan pada kondisi pH 7 dan konsentrasi larutan 10 ppm. Hasil pengukuran ditampilkan pada Gambar 4.9, di mana berdasarkan hasil pengukuran diperoleh panjang gelombang maksimum metil jingga adalah 463 nm. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Huszank, *et al.* (2021) di mana absorbansi maksimum metil jingga dicapai pada panjang gelombang 463 nm. Nilai panjang gelombang maksimum 463 nm ini kemudian digunakan untuk pengukuran absorbansi larutan metil jingga selanjutnya.



Gambar 4.9 Panjang gelombang maksimum metil jingga

### 4.5.2 Kurva Standar Metil Jingga

Pembuatan kurva standar larutan metil jingga dilakukan dengan mengukur absorbansi larutan metil jingga dalam konsentrasi 1, 2, 4, 6, 8, dan 10 mg/L pada panjang gelombang 463 nm. Hasil pengukuran kurva standar metil jingga ditampilkan pada Gambar 4.10.



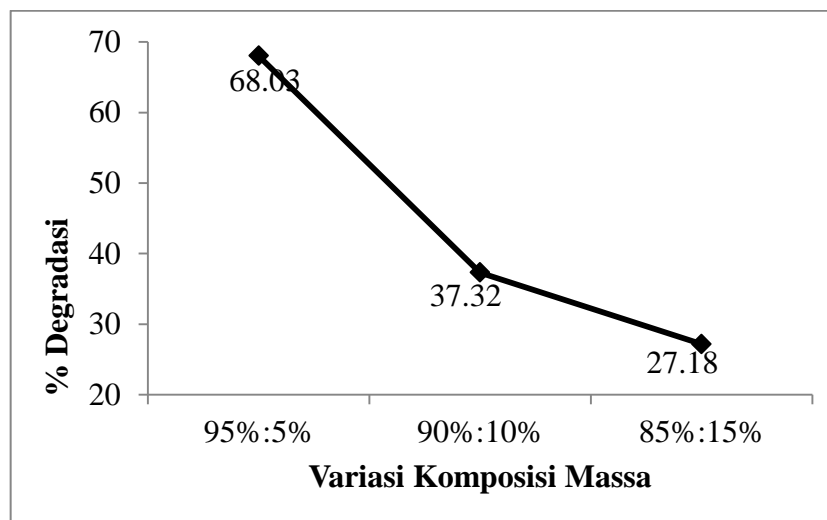
Gambar 4.10 Kurva standar metil jingga

Berdasarkan Gambar 4.10 dapat diketahui bahwa semakin besar konsentrasi larutan metil jingga maka nilai absorbansinya juga akan semakin meningkat. Persamaan regresi yang diperoleh dari kurva standar metil jingga tersebut adalah  $y = 0,07157x - 0,00764$  dengan nilai koefisien regresi  $R^2 = 0,99976$ . Nilai  $R^2$  yang mendekati 1 ini menunjukkan hubungan antara konsentrasi dengan absorbansi larutan metil jingga sangat linear.

#### 4.5.3 Hasil Fotodegradasi Metil Jingga dengan Variasi Komposisi Massa $TiO_2$ -Karbon Aktif Jerami Padi

Fotodegradasi metil jingga dengan variasi komposisi massa dilakukan untuk mengetahui komposisi optimum dari  $TiO_2$  dan karbon aktif yang disintesis dalam mendegradasi larutan metil jingga. Fotodegradasi dilakukan menggunakan 4 buah lampu UV 10w 365 nm selama 100 menit dengan massa katalis yang ditambahkan adalah 50 mg. Lampu UV dalam fotodegradasi ini berperan untuk mengaktifkan kinerja dari fotokatalis. Fotokatalis dan larutan hasil fotodegradasi selanjutnya dipisahkan dengan metode filtrasi dan dilanjutkan dengan sentrifugasi. Hal ini dilakukan agar fotokatalis dapat terpisah secara sempurna

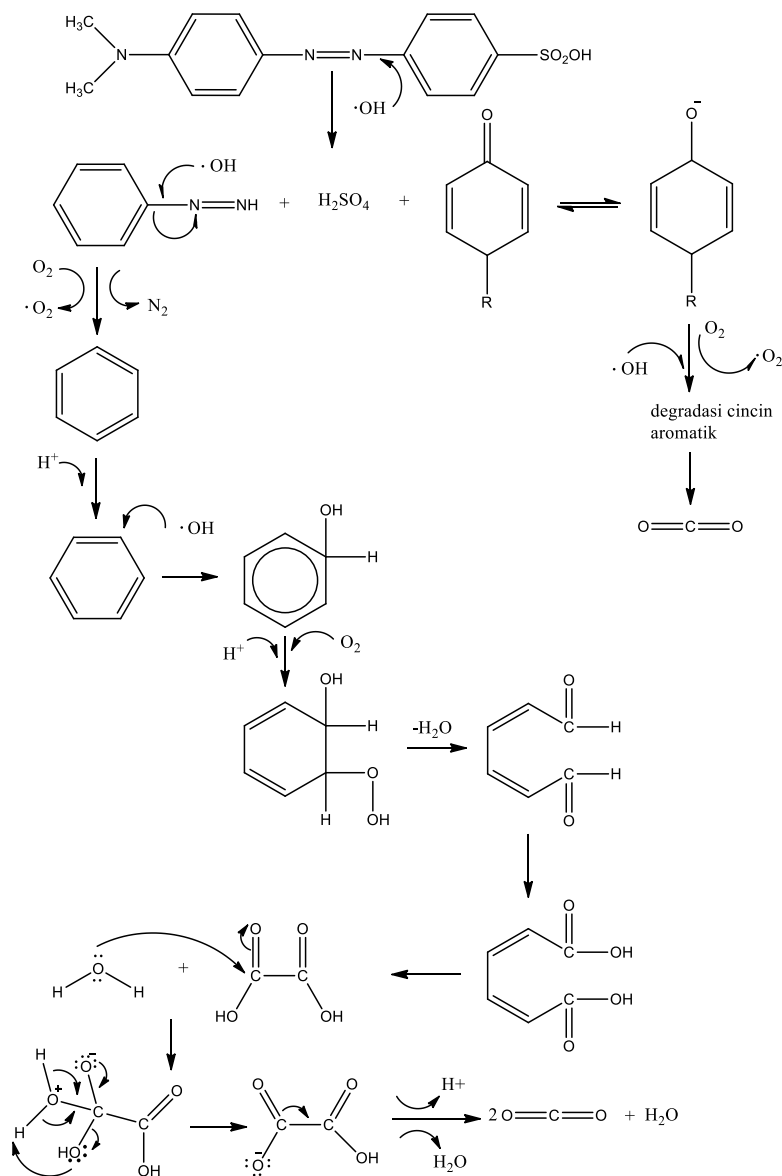
sehingga tidak menyebabkan hasil absorbansi yang semakin tinggi. Grafik hasil fotodegradasi metil jingga menggunakan fotokatalis  $\text{TiO}_2$ -KAJP pada variasi komposisi ditampilkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Hasil fotodegradasi metil jingga dengan variasi komposisi massa  $\text{TiO}_2$ -KAJP

Berdasarkan Gambar 4.11 dapat diketahui bahwa pada fotodegradasi metil jingga menggunakan fotokatalis  $\text{TiO}_2$ -KAJP dengan variasi komposisi massa 95%:5%, 90%:10%, dan 85%:15% masing-masing memberikan persen degradasi 68,02%, 37,32%, dan 27,18%. Berdasarkan hasil analisis energi celah pita pada Gambar 4.7 menunjukkan bahwa nilai  $E_g$  dari  $\text{TiO}_2$ -KAJP semakin kecil seiring dengan bertambahnya komposisi massa karbon aktif yang ditambahkan. Akan tetapi, hasil uji aktivitasnya menurun seiring dengan jumlah massa karbon aktif yang ditambahkan. Hal ini dikarenakan berdasarkan hasil perhitungan panjang gelombang pada Tabel 4.2, panjang gelombang dari  $\text{TiO}_2$ -KAJP 10% dan  $\text{TiO}_2$ -KAJP 15% semakin besar mendekati daerah sinar tampak sehingga kemampuan fotokatalitiknya di daerah UV semakin menurun. Maka berdasarkan hasil tersebut

dapat diketahui bahwa keadaan optimum untuk mendegradasi metil jingga dengan menggunakan lampu UV 365 nm diperoleh pada komposisi TiO<sub>2</sub>-KAJP 5%. Hal ini dikarenakan panjang gelombang yang dimiliki oleh fotokatalis TiO<sub>2</sub>-KAJP 5% lebih sesuai atau mendekati dengan panjang gelombang lampu UV yang digunakan. Adapun mekanisme reaksi fotodegradasi gugus azo metil jingga dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Mekanisme reaksi fotodegradasi metil jingga (Ilmi, 2020)

Berdasarkan hasil analisis menggunakan ANOVA pada Tabel 4.4, diperoleh nilai probabilitas (Sig.) sebesar  $0.000 < 0.05$ . Maka dapat disimpulkan bahwa  $H_0$  ditolak atau  $H_1$  diterima yang artinya minimal terdapat satu perlakuan atau satu komposisi massa yang memiliki perbedaan signifikan atau berbeda nyata. Selanjutnya, berdasarkan hasil Uji Tukey pada Tabel 4.5 dapat diketahui bahwa persentase degradasi dari masing-masing komposisi massa 85%:15%, 90%:10%, dan 95%:5% memiliki perbedaan yang signifikan atau saling berbeda nyata.

Tabel 4.4 Hasil analisis menggunakan *One Way ANOVA*

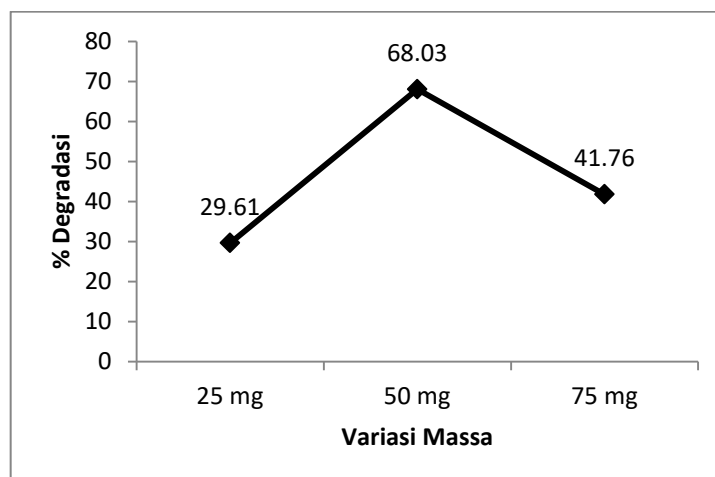
ANOVA					
Degradasi					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2714.509	2	1357.255	87.354	.000
Within Groups	93.224	6	15.537		
Total	2807.733	8			

Tabel 4.5 Hasil uji Tukey HSD

% Degradasi					
Tukey HSD <sup>a</sup>					
Komposisi	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	Notasi
TiO <sub>2</sub> -KAJP 15%	3	27.1767			A
TiO <sub>2</sub> -KAJP 10%	3		37.3200		B
TiO <sub>2</sub> -KAJP 5%	3			68.0267	C
Sig.		1.000	1.000	1.000	
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.					

#### 4.5.4 Hasil Fotodegradasi Metil Jingga dengan Variasi Massa Fotokatalis

Fotodegradasi metil jingga dengan variasi massa fotokatalis dilakukan untuk mengetahui jumlah massa fotokatalis optimum yang ditambahkan dalam mendegradasi metil jingga. Fotokatalis yang digunakan adalah  $\text{TiO}_2$ -KAJP 5% dengan variasi massa yang ditambahkan yaitu 25 mg, 50 mg, dan 100 mg. Umumnya, semakin banyak jumlah fotokatalis yang ditambahkan ke dalam media target maka jumlah sisi aktif fotokatalis juga akan semakin meningkat sehingga jumlah  $\bullet\text{OH}$  yang terbentuk semakin banyak (Ilmi, 2020). Grafik hasil fotodegradasi metil jingga dengan variasi massa fotokatalis ditampilkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Hasil uji aktivitas fotokatalis  $\text{TiO}_2$ -KAJP 5% terhadap fotodegradasi metil jingga dengan variasi massa fotokatalis

Berdasarkan Gambar 4.13, dapat diketahui bahwa kondisi optimum untuk mendegradasi metil jingga diperoleh ketika penambahan massa fotokatalis sebanyak 50 mg sedangkan pada saat penambahan fotokatalis 75 mg persen degradasi metil jingga mengalami penurunan. Penurunan persen degradasi dapat terjadi karena pada saat massa fotokatalis yang ditambahkan melebihi massa



optimumnya maka fotokatalis akan menyebabkan turbiditas (kekeruhan) larutan meningkat sehingga mengurangi penetrasi sinar UV yang akan diserap oleh fotokatalis (Niu, 2013). Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini telah sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Ilmi (2020) yang telah melakukan uji variasi massa fotokatalis  $\text{TiO}_2\text{-N}/\text{Zeolit}$  terhadap fotodegradasi metil jingga dengan massa optimum yang ditambahkan adalah 50 mg.

Berdasarkan hasil analisis menggunakan ANOVA pada Tabel 4.6, diperoleh nilai probabilitas (Sig.) sebesar  $0.000 < 0.05$ . Maka dapat disimpulkan bahwa  $H_0$  ditolak atau  $H_1$  diterima yang artinya minimal terdapat satu perlakuan atau satu massa yang memiliki perbedaan signifikan atau berbeda nyata. Selanjutnya, berdasarkan hasil Uji Tukey pada Tabel 4.7 dapat diketahui bahwa persentase degradasi dari masing-masing variasi massa 25 mg, 50 mg, dan 75 mg memiliki perbedaan yang signifikan atau saling berbeda nyata.

Tabel 4.6 Hasil analisis menggunakan *One Way* ANOVA

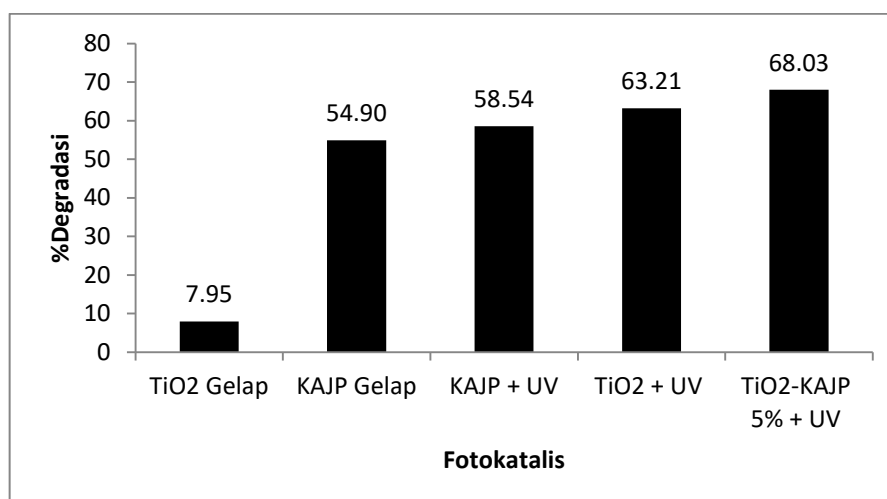
<b>ANOVA</b>					
Degradasi					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2313.644	2	1156.822	53.588	.000
Within Groups	129.525	6	21.587		
Total	2443.168	8			

Tabel 4.7 Hasil uji Tukey HSD

% Degradasi					
Tukey HSD <sup>a</sup>					
Massa	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	Notasi
25 mg	3	29.6067			A
75 mg	3		41.7633		B
50 mg	3			68.0267	C
Sig.		1.000	1.000	1.000	
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.					

#### 4.5.5 Hasil Uji Efektivitas Fotokatalis terhadap Fotodegradasi Metil Jingga

Uji efektivitas fotokatalis dilakukan untuk mengetahui efektivitas dari beberapa variasi kondisi fotodegradasi. Larutan metil jingga yang digunakan dalam penelitian ini adalah metil jingga konsentrasi 10 ppm pada pH 7 dan massa fotokatalis yang ditambahkan adalah 50 mg dengan waktu penyinaran UV selama 100 menit. Hasil persen degradasi ditampilkan pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Hasil uji efektivitas fotokatalis terhadap fotodegradasi metil jingga

Berdasarkan Gambar 4.14 dapat dilihat bahwa karbon aktif yang ditambahkan ke dalam larutan metil jingga lalu didiamkan selama 100 menit dalam kondisi gelap mampu mendegradasi metil jingga hingga 54,90%. Hal ini dikarenakan terjadinya proses absorpsi metil jingga oleh karbon aktif yang memiliki struktur berpori. Pada kondisi penambahan karbon aktif ke dalam larutan metil jingga dan disinari UV selama 100 menit persen degradasi meningkat menjadi 58,54%. Hal ini dikarenakan terjadinya proses absorpsi metil jingga oleh karbon aktif dan reaksi fotolisis H<sub>2</sub>O oleh sinar UV. Dalam reaksi fotolisis, molekul air akan terurai oleh sinar UV menjadi hidrogen dan radikal hidroksida ( $\bullet\text{OH}$ ) yang dapat mendegradasi molekul organik (Peter *et al.*, 2017).

Penambahan fotokatalis TiO<sub>2</sub> anatas ke dalam larutan metil jingga yang didiamkan dalam kondisi gelap selama 100 menit hanya mampu mendegradasi metil jingga sebesar 7,95%. Menurut Razali, *et al.* (2009) hal tersebut menunjukkan bahwa TiO<sub>2</sub> tidak mengkatalisis degradasi zat warna. Menurunnya absorpsi zat warna disebabkan oleh adsorpsi zat warna metil jingga pada permukaan fotokatalis TiO<sub>2</sub>. Adapun ketika penambahan fotokatalis TiO<sub>2</sub> anatas yang disinari UV persen degradasi metil jingga meningkat menjadi 63,21%. Hal ini menunjukkan bahwa sinar UV berperan untuk mengaktifkan kinerja dari fotokatalis. Ketika fotokatalis dikenai cahaya, maka elektron dalam pita valensi akan tereksitasi ke pita konduksi. Eksitasi elektron ini akan menyebabkan terbentuknya  $e^-/h^+$  yang dapat berinteraksi dengan pelarut (H<sub>2</sub>O) dan udara (O<sub>2</sub>) sehingga membentuk radikal  $\bullet\text{OH}$  dan O<sub>2</sub><sup>•-</sup> yang dapat mendegradasi zat warna metil jingga (Wang *et al.*, 2020). Selain itu, besarnya persen degradasi metil jingga pada keadaan TiO<sub>2</sub> yang disinari UV dikarenakan oleh panjang gelombang

dari TiO<sub>2</sub> anatase yang mendekati panjang gelombang lampu UV yang digunakan yakni 365 nm sehingga fotokatalis dapat bekerja dengan baik pada daerah panjang gelombangnya sedangkan meningkatnya persen degradasi metil jingga pada kondisi penambahan fotokatalis TiO<sub>2</sub>-KAJP 5% dengan disinari UV disebabkan karena adanya kemampuan adsorpsi karbon aktif. Menurut Xu, *et al.* (2022) dalam penelitiannya, terdapat efek sinergis antara kinerja adsorpsi karbon aktif dan kinerja fotokatalitik TiO<sub>2</sub> yang mampu meningkatkan kemampuan fotokatalitik komposit TiO<sub>2</sub>-karbon aktif. Hal ini dikarenakan karbon aktif memiliki luas permukaan dan kapasitas adsorpsi yang besar, serta dapat menyediakan situs adsorpsi aktif yang cukup sehingga efisiensi adsorpsi polutan pada permukaan material komposit yang mana terdapat katalis TiO<sub>2</sub> semakin meningkat. Selain itu, penambahan karbon aktif pada fotokatalis TiO<sub>2</sub> dapat mengurangi laju rekombinasi e<sup>-</sup>/h<sup>+</sup> dan meningkatkan pembentukan radikal •OH dan O<sub>2</sub><sup>•-</sup>. Oleh karena itu, berdasarkan hasil uji efektivitas dapat diketahui bahwa TiO<sub>2</sub>-KAJP 5% memiliki kemampuan fotokatalitik yang lebih baik dibandingkan dengan kondisi lain.

Berdasarkan hasil analisis menggunakan ANOVA pada Tabel 4.8, diperoleh nilai probabilitas (Sig.) sebesar  $0.000 < 0.05$ . Maka dapat disimpulkan bahwa H<sub>0</sub> ditolak atau H<sub>1</sub> diterima yang artinya minimal terdapat satu perlakuan yang memiliki perbedaan signifikan atau berbeda nyata. Selanjutnya, berdasarkan hasil Uji Tukey pada Tabel 4.9 dapat diketahui bahwa perlakuan TiO<sub>2</sub> dalam kondisi gelap memiliki perbedaan signifikan atau berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Perlakuan KAJP Gelap, TiO<sub>2</sub> Gelap, dan TiO<sub>2</sub> UV tidak memiliki perbedaan yang signifikan atau tidak berbeda nyata. Perlakuan TiO<sub>2</sub> UV dan

TiO<sub>2</sub>-KAJP 5% juga tidak memiliki perbedaan signifikan atau tidak berbeda nyata karena berada dalam satu tabel yang sama.

Tabel 4.8 Hasil analisis menggunakan *One Way* ANOVA

ANOVA					
Degradasi					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7089.847	4	1772.462	184.707	.000
Within Groups	95.961	10	9.596		
Total	7185.808	14			

Tabel 4.9 Hasil uji Tukey HSD

% Degradasi					
Tukey HSD <sup>a</sup>					
Fotokatalis	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	Notasi
TiO <sub>2</sub> Gelap	3	7.9500			A
KAJP Gelap	3		54.9000		B
KAJP UV	3		58.5433		B
TiO <sub>2</sub> UV	3		63.2100	63.2100	BC
TiO <sub>2</sub> -KAJP 5%	3			68.0267	C
Sig.		1.000	.050	.374	
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.					

#### 4.6 Integrasi Hasil Penelitian dalam Perspektif Islam

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat diketahui bahwa adanya penambahan karbon aktif dari jerami padi pada material TiO<sub>2</sub> mampu meningkatkan aktivitas fotokatalitik TiO<sub>2</sub> dalam mendegradasi zat warna metil jingga. TiO<sub>2</sub>-KAJP mampu mendegradasi metil jingga hingga 68,03% sedangkan

TiO<sub>2</sub> anatas mendegradasi metil jingga sebesar 63,21%. Hal tersebut menunjukkan bahwa segala sesuatu yang Allah Swt. ciptakan pasti memiliki manfaat, sebagaimana yang Allah Swt. firmankan dalam Q.S. Shaad ayat 27 sebagai berikut:

وَمَا خَلَقْنَا السَّمَاءَ وَالْأَرْضَ وَمَا بَيْنَهُمَا بَاطِلًا ۗ ذَٰلِكَ ظَنُّ الَّذِينَ كَفَرُوا فَوَيْلٌ لِلَّذِينَ  
كَفَرُوا مِنَ النَّارِ

Artinya: “Dan Kami tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada di antara keduanya tanpa hikmah. Yang demikian itu adalah anggapan orang-orang kafir, maka celakalah orang-orang kafir itu karena mereka akan masuk neraka”

Menurut Shihab (2002) dalam Tafsir Al-Misbah bahwa Allah Swt. menciptakan langit dan bumi juga segala yang ada di antara keduanya dengan tata aturan yang demikian rapi, indah serta harmonis. Hal ini menunjukkan bahwa Allah Swt. tidak bermain-main yakni tidak menciptakannya secara sia-sia tanpa arah dan tujuan yang benar. Segala sesuatu yang Allah Swt. ciptakan pasti memiliki manfaat yang dapat diambil oleh manusia, seperti jerami padi yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku karbon aktif yang dapat digunakan dalam penelitian ini sebagai material pendukung TiO<sub>2</sub> dalam mendegradasi zat warna metil jingga.

Dalam penelitian ini dilakukan sintesis TiO<sub>2</sub>-Karbon Aktif Jerami Padi (TiO<sub>2</sub>-KAJP) dengan variasi komposisi massa 95%:5%, 90%:10%, dan 85%:15%. Berdasarkan hasil uji aktivitasnya diperoleh hasil bahwa TiO<sub>2</sub>-KAJP dapat bekerja optimum pada komposisi massa 95%:5%. Namun, aktivitas fotokatalitiknya menurun ketika karbon aktif yang ditambahkan melebihi komposisi massa optimumnya. Karbon aktif yang ditambahkan melebihi massa optimumnya akan menyebabkan TiO<sub>2</sub> yang berada dalam larutan ikut diserap

sehingga jumlah fotokatalis TiO<sub>2</sub> dalam larutan menjadi berkurang dan aktivitas fotokatalitiknya juga menurun. Hal ini menunjukkan bahwa sesuatu yang berlebihan itu justru dapat memberikan dampak yang kurang baik. Sebagaimana Allah Swt. perintahkan kepada umat manusia untuk tidak berlebih-lebihan dalam Q.S. Al-An'am ayat 141:

وَهُوَ الَّذِي أَنْشَأَ جَنَّاتٍ مَّعْرُوشَاتٍ وَغَيْرَ مَعْرُوشَاتٍ وَالنَّخْلَ وَالزَّرْعَ مُخْتَلِفًا أُكْلُهُ  
وَالزَّيْتُونَ وَالرُّمَّانَ مُتَشَابِهًا وَغَيْرَ مُتَشَابِهٍ كُلُوا مِنْ ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَآتُوا حَقَّهُ يَوْمَ  
حَصَادِهِ وَلَا تُسْرِفُوا إِنَّهُ لَا يُحِبُّ الْمُسْرِفِينَ

Artinya: “ Dan Dialah yang menjadikan tanaman-tanaman yang merambat dan yang tidak merambat, pohon kurma, tanaman yang beraneka ragam rasanya, zaitun dan delima yang serupa (bentuk dan warnanya) dan tidak serupa (rasanya). Makanlah buahnya apabila ia berbuah dan berikanlah haknya (zakatnya) pada waktu memetik hasilnya, tapi janganlah berlebih-lebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berlebih-lebihan”

Dalam ayat tersebut terdapat larangan untuk tidak berlebih-lebihan dalam segala hal dan Allah Swt. tidak menyukai perbuatan tersebut karena di dalamnya tidak terdapat kebajikan (Shihab, 2002). Oleh karena itu, dalam penelitian ini disimpulkan bahwa komposisi optimum karbon yang ditambahkan ke dalam TiO<sub>2</sub> dalam mendegradasi zat warna metil jingga adalah 5%.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. TiO<sub>2</sub>-Karbon Aktif Jerami Padi (TiO<sub>2</sub>-KAJP) berhasil disintesis menggunakan metode sonikasi. Berdasarkan karakterisasi menggunakan XRD diperoleh bahwa senyawa TiO<sub>2</sub>-KAJP memiliki struktur kristal anatas dengan ukuran kristal TiO<sub>2</sub>-KAJP 5%, 10%, dan 15% masing-masing sebesar 41,51 nm, 55,02 nm, dan 47,98 nm. Berdasarkan data dari UV-Vis DRS diketahui bahwa energi celah pita TiO<sub>2</sub> anatas, TiO<sub>2</sub>-KAJP 5%, 10%, dan 15% adalah 3,20 eV, 3,19 eV, 3,18 eV, dan 3,16 eV. Hasil karakterisasi menggunakan FTIR menunjukkan adanya serapan baru pada bilangan gelombang 1101-1051 cm<sup>-1</sup> dan 668-650 cm<sup>-1</sup> pada spektra TiO<sub>2</sub>-KAJP merupakan serapan dari vibrasi Si-O-Si *asymmetry stretching* dan Si-O *symmetry stretching* yang berasal dari karbon aktif.
2. Berdasarkan uji variasi komposisi massa diperoleh bahwa komposisi optimum untuk mendegradasi metil jingga adalah TiO<sub>2</sub>-KAJP 95%:5%.
3. Berdasarkan uji variasi massa TiO<sub>2</sub>-KAJP diperoleh bahwa massa optimum yang dapat digunakan untuk mendegradasi metil jingga adalah 50 mg.
4. Hasil uji efektivitas menunjukkan nilai persen degradasi paling tinggi dihasilkan oleh TiO<sub>2</sub>-KAJP 95%:5% dengan massa katalis yang ditambahkan 50 mg mampu mendegradasi metil jingga 10 ppm selama 100 menit sebanyak 68,03%.



## 5.2 Saran

1. Perlu dilakukan karakterisasi lanjut menggunakan BET *Surface Area* untuk mengetahui luas permukaan dari TiO<sub>2</sub>-KAJP.
2. Metode yang digunakan untuk membuat komposit TiO<sub>2</sub>-karbon aktif sebaiknya adalah metode yang tidak menggunakan teknik penyaringan.
3. Panjang gelombang lampu UV yang digunakan untuk fotodegradasi sebaiknya disesuaikan dengan panjang gelombang dari fotokatalis agar aktivitas fotokatalis lebih efektif.
4. Perlu dilakukan penambahan basa pada arang karbon jerami padi untuk menghilangkan pengotor silika.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adinata, D., Wan Daud, W. M. A., & Aroua, M. K. 2007. Preparation and characterization of activated carbon from palm shell by chemical activation with  $K_2CO_3$ . *Bioresource Technology*, 98(1), 145–149.
- Ahmad, A *et al.* 2020. A novel study on synthesis of egg shell based activated carbon for degradation of methylene blue via photocatalysis. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(12), 8717–8722.
- Amalina, E. S., Harjito, & Priatmoko, S. 2016. Pengaruh doping-N pada aktivitas fotokatalis  $TiO_2$  untuk degradasi Methyl Orange. *Indo. J. Chem. Sci.*, 5(2252), 3–6.
- Arneli *et al.* 2016. The influence of activating agents on the performance of rice husk-based carbon for sodium lauryl sulfate and chrome (Cr) metal adsorptions. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 172.
- Ashiri, R. 2015. Obtaining a novel crystalline/amorphous core/shell structure in barium titanate nanocrystals by an innovative one-step approach. *RSC Advances*, 5(60), 48281–48289.
- Asiltürk, M., & Şener, Ş. 2012.  $TiO_2$ -activated carbon photocatalysts: Preparation, characterization and photocatalytic activities. *Chemical Engineering Journal*, 180, 354–363.
- Awati, P. S., Awate, S. V., Shah, P. P., & Ramaswamy, V. 2003. Photocatalytic decomposition of methylene blue using nanocrystalline anatase titania prepared by ultrasonic technique. *Catalysis Communications*, 4(8), 393–400.
- Bao, N. N. *et al.* 2012. Vacancy-induced room-temperature ferromagnetism in Ga- $TiO_2$ . *Scripta Materialia*, 66(10), 821–824.
- Chobchun, M. *et al.* 2020. Characterization of  $TiO_2$ -activated carbon onto adsorption and photocatalytic properties and its application. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 30(4), 30–38.
- Choi, J., Cho, S. H., Kim, T. H., & Lee, S. W. 2011. Comparison of Sonochemistry method and Sol-Gel method for the fabrication of  $TiO_2$  powder. *Materials Science Forum*, 695, 109–112.
- Dastan, D., & Chaure, N. B. 2014. Influence of Surfactants on  $TiO_2$  Nanoparticles Grown by Sol-Gel Technique. *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing*, 2(1), 21–24.
- Dong, H. *et al.* 2015. An overview on limitations of  $TiO_2$ -based particles for

photocatalytic degradation of organic pollutants and the corresponding countermeasures. *Water Research*, 79, 128–146.

- Guo, J. *et al.* 2011. Sonochemical synthesis of TiO<sub>2</sub> nanoparticles on graphene for use as photocatalyst. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(5), 1082–1090.
- Hadi, H. M., & Wahab, H. S. 2015. Visible Light Photocatalytic Decolourization of Methyl Orange Using N-Doped TiO<sub>2</sub> Nanoparticles. *Journal of Al-Nahrain University-Science*, 18(3), 1–9.
- Hijrah, N. N., & Anas, M. 2020. Analisis Variasi Temperatur Aktivasi terhadap Gugus Fungsi Arang Aktif Tandan Aren ( Arenga Pinnata Merr . ) dengan Agen Aktivasi Potassium Silicate (K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>). *JIPFi*. 5(4), 295–299.
- Huszánk, R., Nagy, G., Rajta, I., & Czeglédi, A. M. 2021. In-air proton beam irradiation induced radiolysis of methyl orange in aqueous solution. *Radiation Physics and Chemistry*, 180.
- Ilmi, D. R. 2020. *Fotodegradasi zat warna Metil Jingga menggunakan fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N/Zeolit yang disintesis dengan metode sonikasi* [Skripsi]. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Ismail, A., Sudrajat, H., & Jumbianti, D. 2010. Activated Carbon From Durian Seed By H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> Activation: Preparation And Pore Structure Characterization. *Indonesian Journal of Chemistry*, 10(1), 36–40.
- Jannah, Siti Nur. 2019. *Sintesis dan Karakterisasi TiO<sub>2</sub>/Karbon Aktif Menggunakan Metode Sol-Gel* [Skripsi]. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Khatun, N. *et al.* 2018. Role of oxygen vacancies and interstitials on structural phase transition, grain growth, and optical properties of Ga doped TiO<sub>2</sub>. *Journal of Applied Physics*, 123(24).
- Kumar, A., & Jena, H. M. 2016. Preparation and characterization of high surface area activated carbon from Fox nut (*Euryale ferox*) shell by chemical activation with H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. *Results in Physics*, 6(September), 651–658.
- Kusumawardhani, N., Sulistyarti, H., & Atikah. 2016. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum dan pH Optimum dalam Pembuatan Tes Kit Sianida Berdasarkan Pembentukan Hidrindantin. *Kimia Student Journal*, 1(1), 711–717.
- Lee, H. *et al.* 2016. Rapid degradation of methyl orange using hybrid advanced oxidation process and its synergistic effect. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 35, 205–210.
- Leena, M., & Srinivasan, S. 2015. Synthesis and ultrasonic investigations of

- titanium oxide nanofluids. *Journal of Molecular Liquids*, 206, 103–109.
- Luttrell, T. *et al.* 2015. Why is anatase a better photocatalyst than rutile? - Model studies on epitaxial TiO<sub>2</sub> films. *Scientific Reports*, 4, 1–8.
- Maelani, A. I. 2015. Pembuatan Karbon Aktif Dari Jerami Padi Menggunakan Activating Agent H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Maldotti, A. *et al.* 2001. Photocatalytic properties of iron porphyrins revisited in aqueous micellar environment: Oxygenation of alkenes and reductive degradation of carbon tetrachloride. *Green Chemistry*, 3(1), 42–46.
- Martins, A. C. *et al.* 2017. Sol-gel synthesis of new TiO<sub>2</sub>/activated carbon photocatalyst and its application for degradation of tetracycline. *Ceramics International*, 43(5), 4411–4418.
- Mehra, M., & Sharma, T. R. 2012. Photo catalytic degradation of two commercial dyes in aqueous phase using photo catalyst TiO<sub>2</sub>. *Advances in Applied Science Research*, 3(2), 849–853.
- Naimah, S., Ardhanie, S. A., Jati, B. N., Aidha, N. N., & Arianita, A. C. 2014. Degradasi zat warna pada limbah cair industri tekstil dengan metode fotokatalitik menggunakan nanokomposit TiO<sub>2</sub>-Zeolit. *Jurnal Kimia Kemasan*, 36(2), 225–236.
- Nandiyanto, A. B. D. *et al.* 2017. Porous activated carbon particles from rice straw waste and their adsorption properties. *Journal of Engineering Science and Technology*, 12 (Special Issue 10), 1–11.
- Nasar, A., & Maskhoor, F. 2019. Application of polyaniline-based adsorbents for dye removal from water and wastewater — a review. *Environ. Sci. Pollut. Res*, 26, 5333-5356.
- Nasiri-Tabrizi, B. 2014. Thermal treatment effect on structural features of mechano-synthesized fluorapatite-titania nanocomposite: A comparative study. *Journal of Advanced Ceramics*, 3(1), 31–42.
- Neamen, D. A. 2008. Semiconductor Physics and Devices. In *The McGraw-Hill Companies*.
- Ningsih, T. S. 2012. *Sintesis dan karakterisasi Ni<sup>2+</sup> - ZnO berbasis zeolit alam*. Universitas Indonesia.
- Niu, P. 2013. Photocatalytic degradation of methyl orange in aqueous TiO<sub>2</sub> suspensions. *Asian Journal of Chemistry*, 25(2), 1103–1106.
- Nurhayati, A., Ummah, Z. I., & Shobron, S. 2018. Kerusakan Lingkungan dalam Al-Qur'an. *Suhuf*, 30(2), 194–220.

- Pang, Y. L., Lim, S., & Lee, R. K. L. 2020. Enhancement of sonocatalytic degradation of organic dye by using titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>)/activated carbon (AC) derived from oil palm empty fruit bunch. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(28), 34638–34652.
- Park, H., Park, Y., Kim, W., & Choi, W. 2013. Surface modification of TiO<sub>2</sub> photocatalyst for environmental applications. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 15(1), 1–20.
- Pattananandecha, T., Ramangkoon, S., Sirithunyalug, B., Tinoi, J., & Saenjurn, C. 2019. Preparation of high performance activated charcoal from rice straw for cosmetic and pharmaceutical applications. *International Journal of Applied Pharmaceutics*, 11(1), 255–260.
- Pelaez, M., *et al.* 2012. A review on the visible light active titanium dioxide photocatalysts for environmental applications. *Applied Catalysis B: Environmental*, 125, 331–349.
- Periyat, P., Naufal, B., & Ullattil, S. G. 2016. A review on high temperature stable anatase TiO<sub>2</sub> photocatalysts. *Materials Science Forum*, 855(March), 78–93.
- Peter, A., *et al.* 2017. UV Light-Assisted Degradation of Methyl Orange, Methylene Blue, Phenol, Salicylic Acid, and Rhodamine B: Photolysis Versus Photocatalysis. *Water, Air, and Soil Pollution*, 228(1).
- Poluakan, M., Wuntu, A., & Sangi, M. S. 2015. Aktivitas Fotokatalitik TiO<sub>2</sub> – Karbon Aktif dan TiO<sub>2</sub> – Zeolit pada Fotodegradasi Zat Warna Remazol Yellow. *Jurnal MIPA*, 4(2), 137.
- Prasetya, A. D., Rifai, M., Mujamilah, & Miyamoto, H. 2020. X-ray diffraction (XRD) profile analysis of pure ECAP-annealing Nickel samples. *Journal of Physics: Conference Series*, 1436(1), 012113.
- Razali, M. H., Dris, M. R. M., & Rudin, N. N. S. M. 2009. Photodegradation of methyl orange dye using titanium dioxide photocatalyst. *Journal of Sustainability Science and Management*, 4(1), 49–55.
- Riyani, K., & Setyaningtyas, T. 2011. Pengaruh Karbon Aktif Terhadap Aktivitas Fotodegradasi Zat Warna pada Limbah Cair Industri Tekstil menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>. *Molekul*, 6(2), 113–122.
- Saad, M. J. *et al.* 2019. Physical and chemical properties of the rice straw activated carbon produced from carbonization and KOH activation processes. *Sains Malaysiana*, 48(2), 385–391.
- Saggiaro, E. M., Oliveira, A. S., Pavesi, T., & Moreira, J. C. 2014. Effect of activated carbon and titanium dioxide on the remediation of an indigoid dye

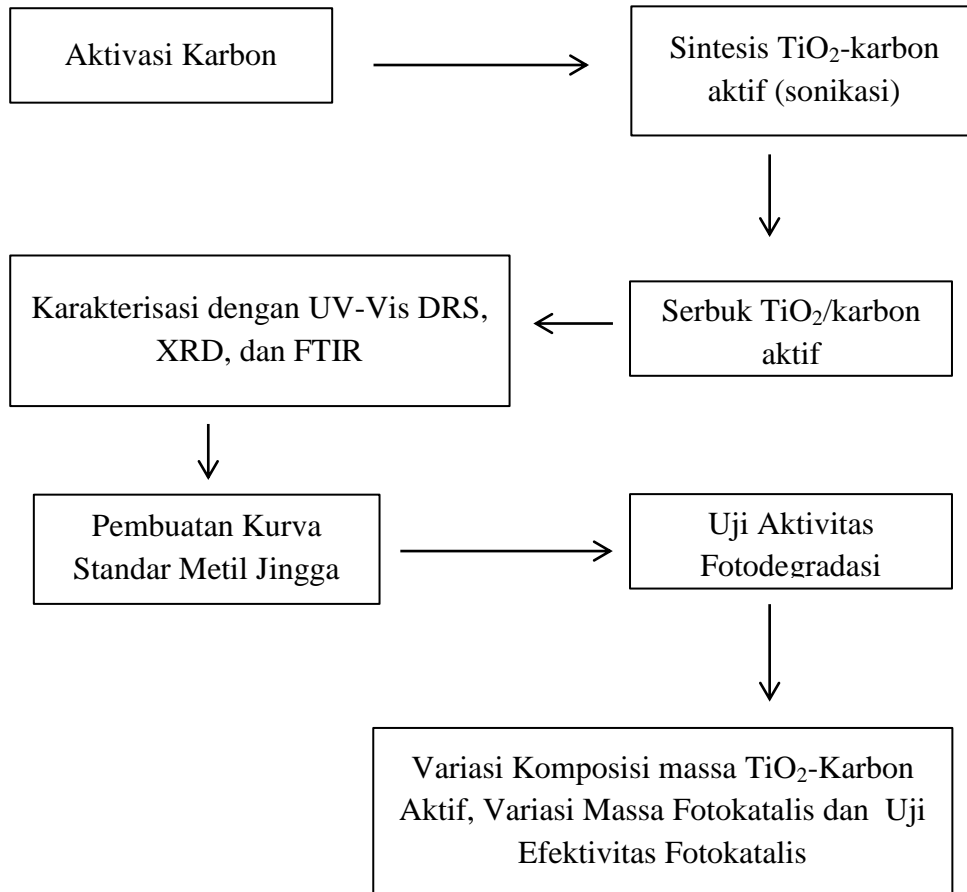
- in model waters. *Revista de Chimie*, 65(2), 237–241.
- Samsudin, E. M. *et al.* 2015. Controlled nitrogen insertion in titanium dioxide for optimal photocatalytic degradation of atrazine. *RSC Advances*, 5(55), 44041–44052.
- Septiani, U., Gustiana, M., & Safni. 2015. Pembuatan Dan Karakterisasi Katalis TiO<sub>2</sub>/Karbon Aktif Dengan Metode Solid State. *Jurnal Riset Kimia*, 9(1), 34.
- Shihab, M. Quraish. 2002. *Tafsir Al-Misbah: Pesan, Kesan, dan Keserasian Al-Qur-an*. Jakarta: Lentera Hati.
- Siregar, M. Z., & Ansari, A. 2020. Penggunaan Katalis Fe Terhadap Karbon Aktif Cangkang Kelapa Sawit Dan Karbon Aktif Sekam Padi Pada Proses Impregnasi. *Jurnal VORTEKS*, 1(1), 13–19.
- Sumarlan, I., Fatimah, I., & Wijaya, K. 2020. Indonesian Modified Clay for Dye Waste Treatment. *Acta Chimica Asiana*, 3(1), 122–126.
- Teng, M., Qiao, J., Li, F., & Bera, P. K. 2012. Electrospun mesoporous carbon nanofibers produced from phenolic resin and their use in the adsorption of large dye molecules. *Carbon*, 50(8), 2877–2886.
- Utami, S. P., Nurmayanti, D., & . M. 2020. Efektivitas Karbon Aktif Jerami Sebagai Adsorben Untuk Menurunkan Kadar Mangan (Mn) Air Sumur Gali (Studi di Puskesmas Krian pada Ruang UGD Kabupaten Sidoarjo 2019). *Gema Lingkungan Kesehatan*, 18(1), 45–52.
- Waluyo, T. B., Suryadi, & Rochman, N. T. 2013. Pembuatan Partikel Nano Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan Kombinasi Ball-Milling dan Ultrasonic-Milling. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVII HFI Jateng & DIY*, 1, 48–51.
- Wang, Y. H., Rahman, K. H., Wu, C. C., & Chen, K. C. 2020. A review on the pathways of the improved structural characteristics and photocatalytic performance of titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) thin films fabricated by the magnetron-sputtering technique. *Catalysts*, 10(6).
- Widjajanti, E., P, R. T., & Utomo, M. P. 2011. Pola adsorpsi zeolit terhadap pewarna Azo Metil Merah dan Metil Jingga. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan Dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta*, 115–122.
- Wulandari, I. O., Wardhani, S., & Purwonugroho, D. 2014. Sintesis dan Karakterisasi Fotokatalis ZnO pada Zeolit. *Kimia Student Journal*, 1(2), 241–247.
- Xu, W., *et al.* 2022. Synergy mechanism for TiO<sub>2</sub>/activated carbon composite material: Photocatalytic degradation of methylene blue solution. *Canadian*

*Journal of Chemical Engineering*, 100(2), 276–290.

Yang, G., *et al.* 2021. Understanding the relationship between particle size and ultrasonic treatment during the synthesis of metal nanoparticles. *Ultrasonics Sonochemistry*, 73, 105497.

## LAMPIRAN

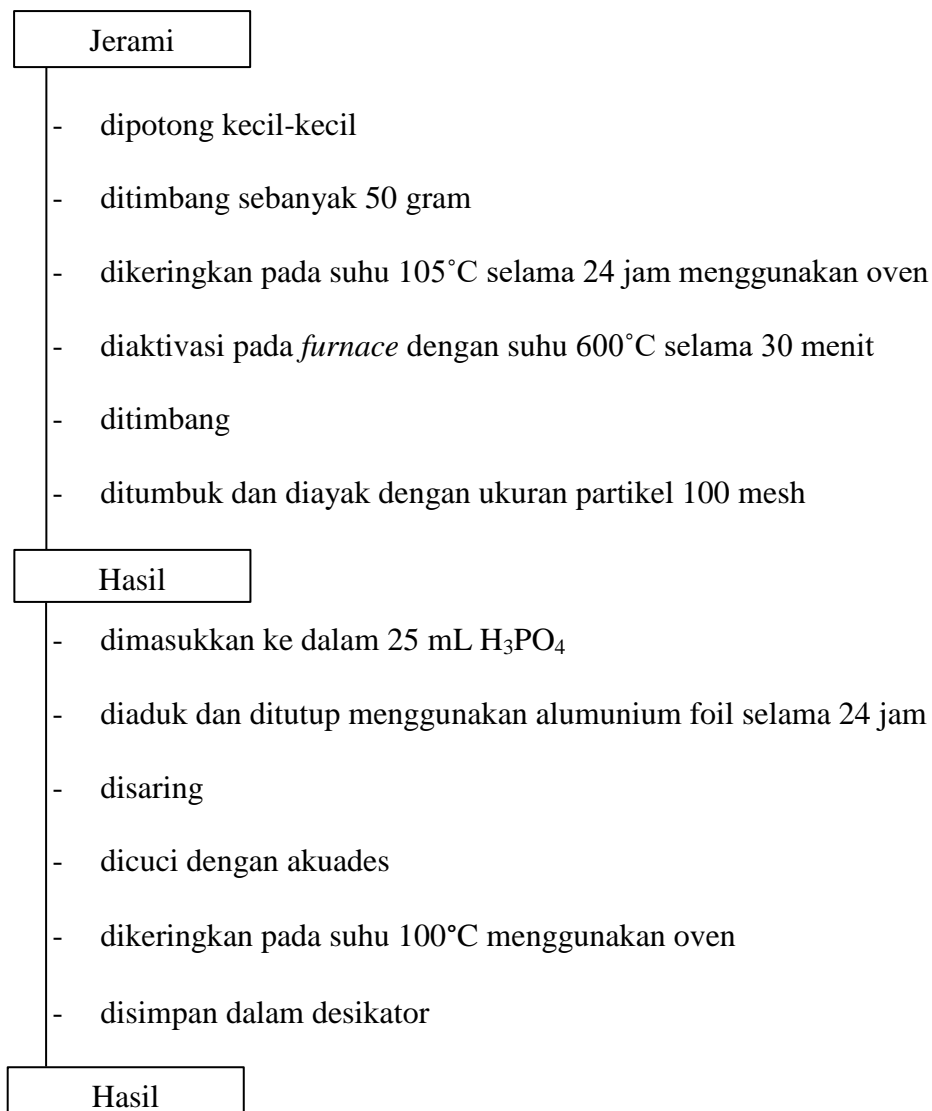
### Lampiran 1. Rancangan Penelitian



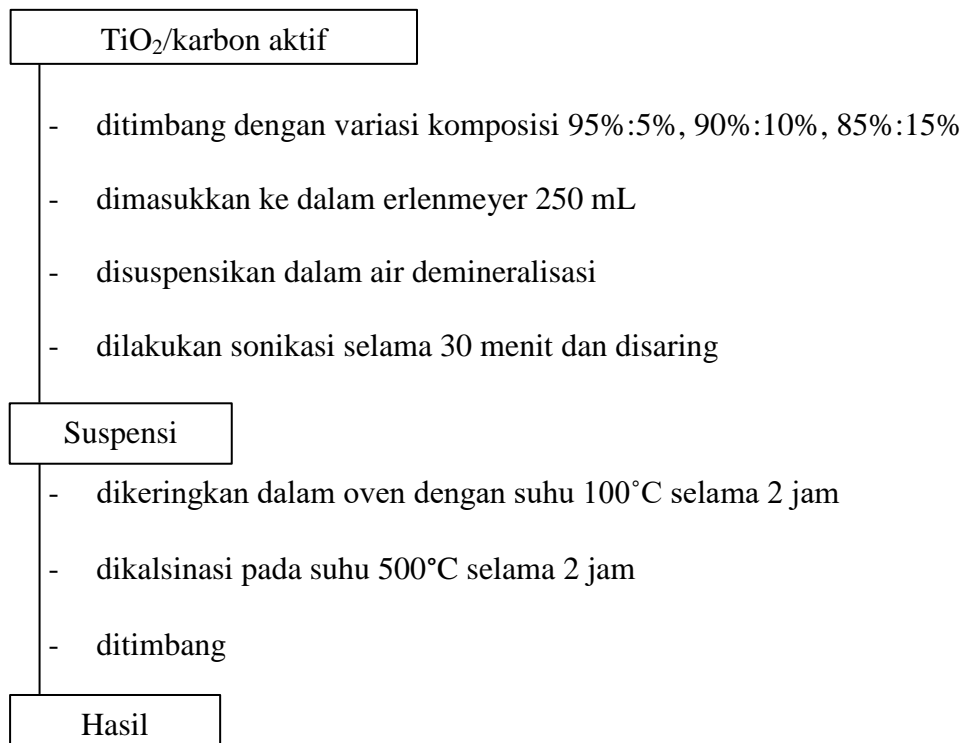


## Lampiran 2. Diagram Alir

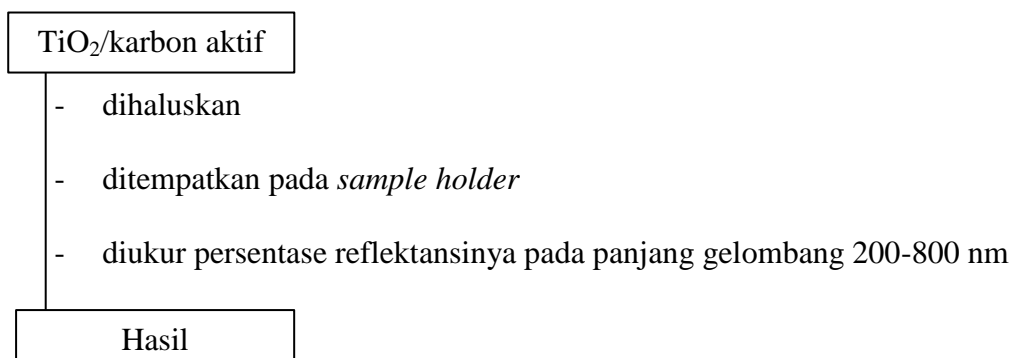
### L.2.1 Preparasi dan Aktivasi Karbon



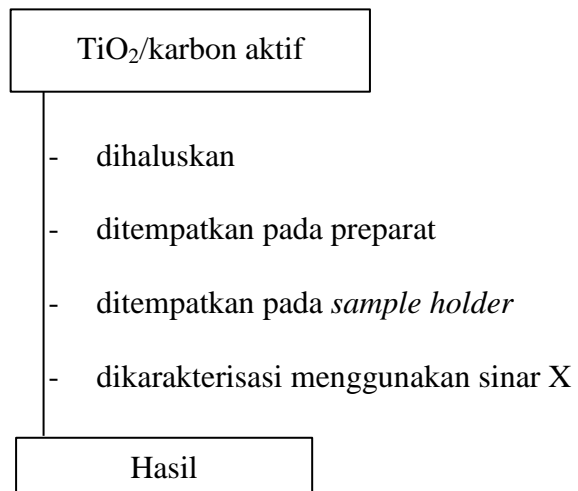
### L.2.2 Sintesis TiO<sub>2</sub>-Karbon Aktif



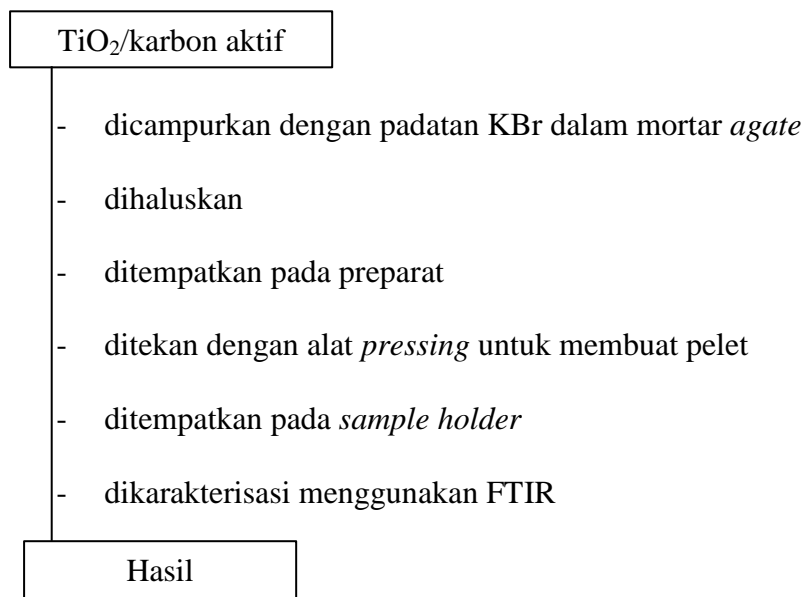
### L.2.3 Identifikasi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis DRS



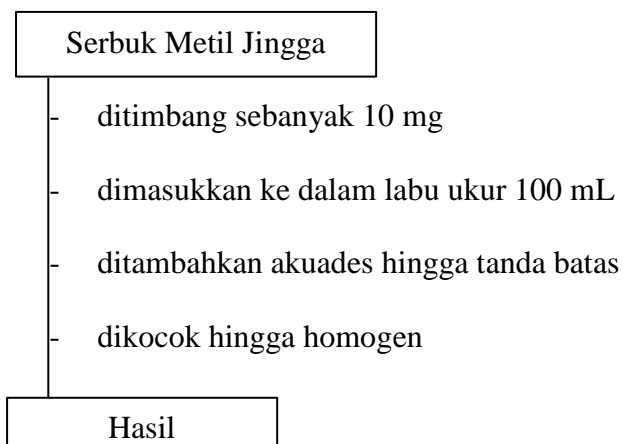
#### L.2.4 Identifikasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD)



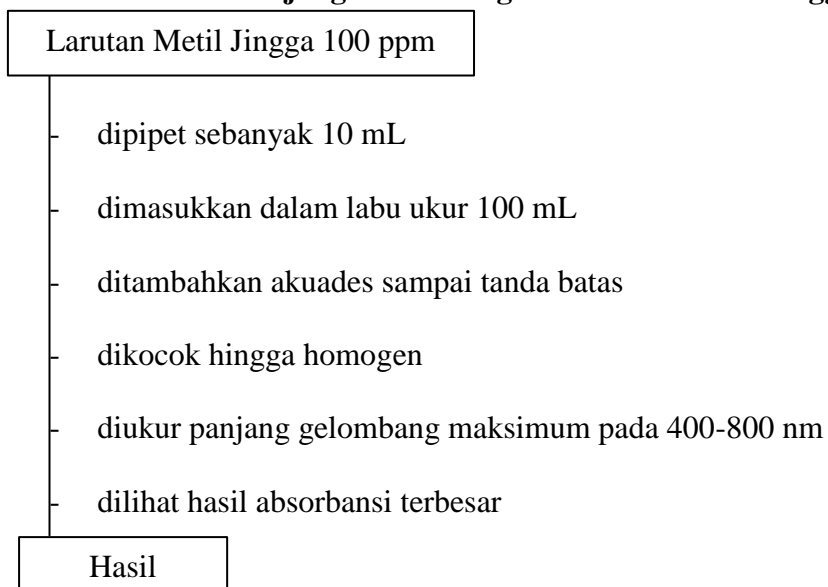
#### L.2.5 Identifikasi Gugus Fungsi menggunakan FTIR



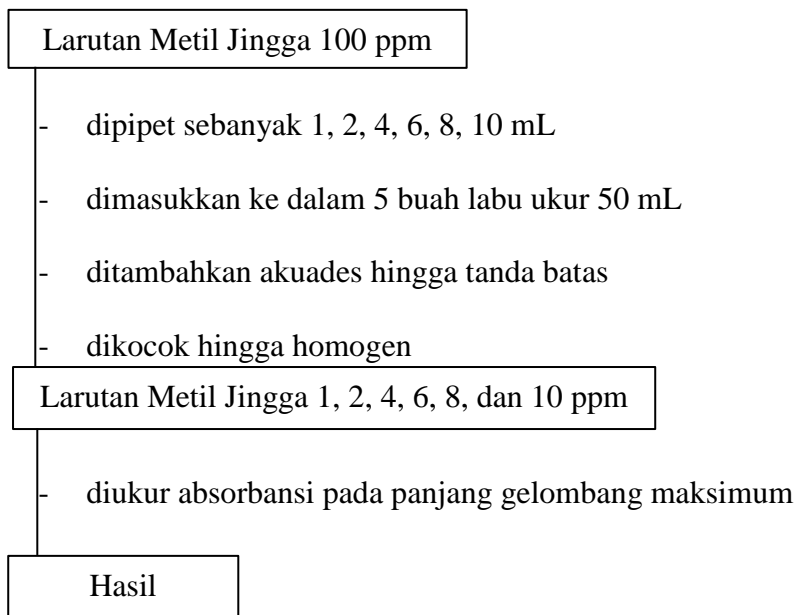
### L.2.6 Pembuatan Larutan Induk Metil Jingga 100 ppm



### L.2.7 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Metil Jingga

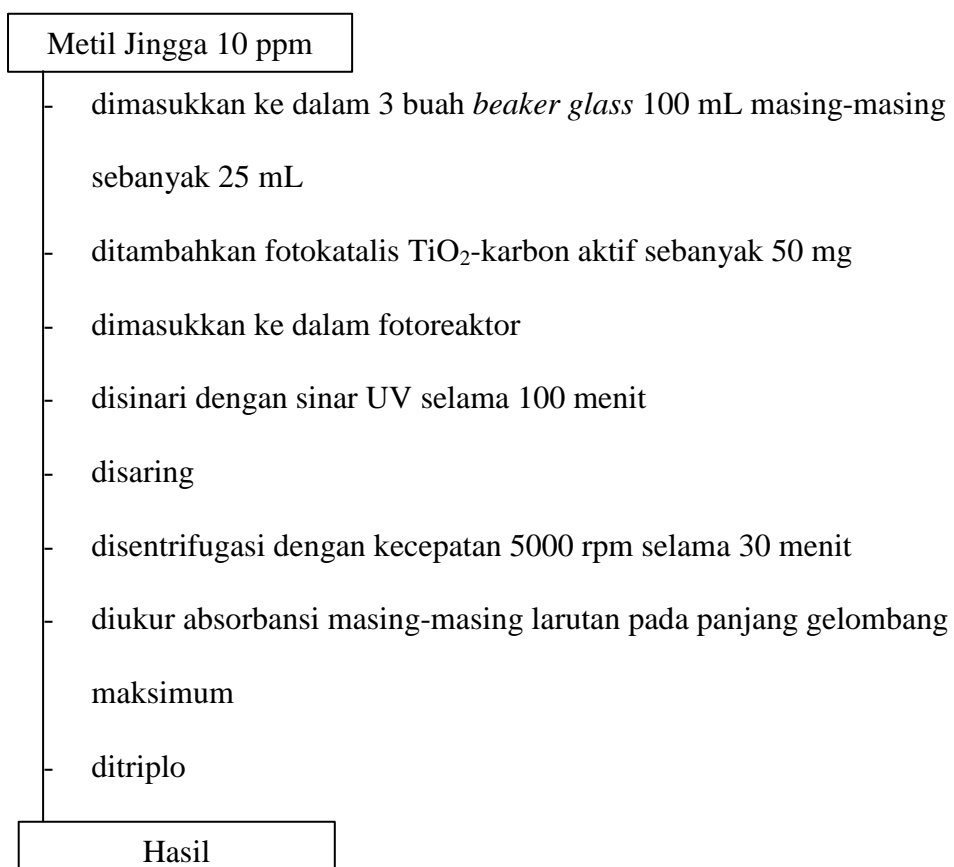


### L.2.8 Pembuatan Kurva Standar Metil Jingga



### L.2.9 Fotodegradasi Metil Jingga dengan Variasi Komposisi Massa TiO<sub>2</sub>-

#### Karbon Aktif



**L.2.10 Fotodegradasi Metil Jingga dengan Variasi Massa Katalis**

Metil Jingga 10 ppm

- dimasukkan ke dalam 3 buah *beaker glass* 100 mL masing-masing sebanyak 25 mL
- ditambahkan fotokatalis TiO<sub>2</sub>-karbon aktif sebanyak 25, 50, dan 75 mg
- dimasukkan ke dalam fotoreaktor
- disinari dengan sinar UV selama 100 menit
- disaring
- disentrifugasi dengan kecepatan 5000 rpm selama 30 menit
- diukur absorbansi masing-masing larutan pada panjang gelombang maksimum
- ditriplo

Hasil

**L.2.11 Uji Efektivitas Fotokatalis terhadap Fotodegradasi Metil Jingga**

Metil Jingga 10 ppm

- dimasukkan ke dalam 5 buah *beaker glass* 100 mL masing-masing sebanyak 25 mL

- dilakukan fotodegradasi dengan kondisi reaksi sebagai berikut:

i. Metil jingga 10 ppm + TiO<sub>2</sub> 50 mg

ii. Metil jingga 10 ppm + karbon aktif 50 mg

iii. Metil jingga 10 ppm + TiO<sub>2</sub> 50 mg + penyinaran UV selama 100 menit

iv. Metil jingga 10 ppm + karbon aktif 50 mg + penyinaran UV selama 100 menit

v. Metil jingga 10 ppm + TiO<sub>2</sub>-KAJP optimum 50 + penyinaran UV selama 100 menit.

- disaring

- disentrifugasi selama 30 menit

- diukur absorbansi masing-masing larutan pada panjang gelombang maksimum.

- ditriplo

Hasil

### Lampiran 3. Perhitungan

#### L.3.1 Pembuatan Larutan Induk Metil Jingga 100 ppm

Diketahui: Konsentrasi metil jingga = 100 ppm

Volume larutan = 100 mL

Ditanyakan: massa serbuk metil jingga?

Jawab:

$$1 \text{ ppm} = \frac{1 \text{ mg}}{1 \text{ L}}$$

$$100 \text{ ppm} = \frac{\text{massa}}{0.1 \text{ L}}$$

Massa = 100 ppm × volume

$$= 100 \text{ ppm} \times 0.1 \text{ L}$$

$$= 10 \text{ mg}$$

#### L.3.2 Pembuatan Larutan Metil Jingga 10 ppm

Diketahui :  $V_2 = 100 \text{ mL}$

$M_1 = 100 \text{ ppm}$

$M_2 = 10 \text{ ppm}$

Ditanya:  $V_1?$

Jawab:

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

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

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

#### L.3.3 Pembuatan Larutan Standar Metil Jingga

- Larutan Metil Jingga konsentrasi 1 ppm

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

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



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

- Larutan Metil Jingga Konsentrasi 2 ppm

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

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

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

- Larutan Metil Jingga Konsentrasi 4 ppm

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

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

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

- Larutan Metil Jingga Konsentrasi 6 ppm

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

$$V_1 \times 100 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \times 6 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 6 \text{ mL}$$

- Larutan Metil Jingga Konsentrasi 8 ppm

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

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

$$V_1 = 8 \text{ mL}$$

### L.3.4 Perhitungan massa TiO<sub>2</sub>-Karbon Aktif

Target sintesis 10 gram

TiO <sub>2</sub> : Karbon Aktif (%)	TiO <sub>2</sub> (gram)	Karbon Aktif (gram)
95%:5%	9,5	0,5
90%:10%	9	1
85%:15%	8,5	1,5

### L.3.5 Perhitungan ukuran kristal

- TiO<sub>2</sub> anatas

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

$$B (\text{FWHM}) = 0,157^\circ \rightarrow \frac{0,157}{180} \times 3,14 = 0,00274$$

$$2\theta = 25,374 \rightarrow \frac{25,374}{2} = 12,687$$

$$\cos \theta = 0,9756$$

Ditanya: D ?

Jawab:

$$D = \frac{(K\lambda)}{(\beta \cos \theta)} = \frac{0,9 \times 1,54060}{0,00274 \times 0,9756} = \frac{1,38654}{0,00267} = 519,3034 \text{ \AA} = 51,93034 \text{ nm}$$

- TiO<sub>2</sub>-KAJP 5%

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

$$B (\text{FWHM}) = 0,196^\circ \rightarrow \frac{0,196}{180} \times 3,14 = 0,00342$$

$$2\theta = 25,383 \rightarrow \frac{25,383}{2} = 12,6915$$

$$\cos \theta = 0,9756$$

Ditanya: D ?

Jawab:

$$D = \frac{(K\lambda)}{(\beta \cos \theta)} = \frac{0,9 \times 1,54060}{0,00342 \times 0,9756} = \frac{1,38654}{0,00334} = 415,1317 \text{ \AA} = 41,51317 \text{ nm}$$

- **TiO<sub>2</sub>-KAJP 10%**

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

$$B (\text{FWHM}) = 0,148^\circ \rightarrow \frac{0,148}{180} \times 3,14 = 0,00258$$

$$2\theta = 25,321 \rightarrow \frac{25,321}{2} = 12,6605$$

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

Ditanya: D ?

Jawab:

$$D = \frac{(K\lambda)}{(\beta \cos \theta)} = \frac{0,9 \times 1,54060}{0,00258 \times 0,9757} = \frac{1,38654}{0,00252} = 550,2143 \text{ \AA} = 55,02143 \text{ nm}$$

- **TiO<sub>2</sub>-KAJP 15%**

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

$$B (\text{FWHM}) = 0,170^\circ \rightarrow \frac{0,170}{180} \times 3,14 = 0,00297$$

$$2\theta = 25,277 \rightarrow \frac{25,277}{2} = 12,6385$$

$$\text{Cos } \theta = 0,9758$$

Ditanya: D ?

Jawab:

$$D = \frac{(K\lambda)}{(\beta \cos \theta)} = \frac{0,9 \times 1,54060}{0,00297 \times 0,9758} = \frac{1,38654}{0,00289} = 479,7716 \text{ \AA} = 47,97716 \text{ nm}$$

### L.3.6 Perhitungan panjang gelombang dari energi celah pita

- **TiO<sub>2</sub> anatas**

$$E_g = 3,20 \text{ eV}$$

$$h = \frac{6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}}{1,602 \times 10^{-19} \text{ J}} \times 1 \text{ eV} = 4,13608 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$$

$$\lambda = \frac{h \times c}{E} = \frac{(4,13608 \times 10^{-15}) \text{ eV.s} \times (3 \times 10^{17}) \text{ nm/s}}{3,20 \text{ eV}} = 387,75 \text{ nm}$$

- **TiO<sub>2</sub>-KAJP 5%**

$$E_g = 3,19 \text{ eV}$$

$$h = \frac{6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}}{1,602 \times 10^{-19} \text{ J}} \times 1 \text{ eV} = 4,13608 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$$

$$\lambda = \frac{h \times c}{E} = \frac{(4,13608 \times 10^{-15}) \text{ eV.s} \times (3 \times 10^{17}) \text{ nm/s}}{3,19 \text{ eV}} = 388,97 \text{ nm}$$

- **TiO<sub>2</sub>-KAJP 10%**

$$E_g = 3,18 \text{ eV}$$

$$h = \frac{6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}}{1,602 \times 10^{-19} \text{ J}} \times 1 \text{ eV} = 4,13608 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$$

$$\lambda = \frac{h \times c}{E} = \frac{(4,13608 \times 10^{-15}) \text{ eV.s} \times (3 \times 10^{17}) \text{ nm/s}}{3,18 \text{ eV}} = 390,19 \text{ nm}$$

- **TiO<sub>2</sub>-KAJP 15%**

$$E_g = 3,16 \text{ eV}$$

$$h = \frac{6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}}{1,602 \times 10^{-19} \text{ J}} \times 1 \text{ eV} = 4,13608 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$$

$$\lambda = \frac{h \times c}{E} = \frac{(4,13608 \times 10^{-15}) \text{ eV.s} \times (3 \times 10^{17}) \text{ nm/s}}{3,16 \text{ eV}} = 392,66 \text{ nm}$$

### L.3.7 Perhitungan Uji Aktivitas Fotodegradasi Metil Jingga

#### 1. Perhitungan Uji Variasi Komposisi Massa TiO<sub>2</sub>-KAJP

Komposisi Massa	Absorbansi					C <sub>0</sub>	C <sub>t</sub>	D(%)
	Awal	1	2	3	$\bar{X}$			
95%:5%	0.7364	0.1949	0.2536	0.2423	0,2303	10,4	3,32	68,03
90%:10%	0.7364	0.4383	0.4827	0.4552	0,4587	10,4	6,52	37,32
85%:15%	0.7364	0.5002	0.5357	0.5667	0,5342	10,4	7,57	27,18

- Perhitungan konsentrasi awal metil jingga

$$y = 0,07157 x - 0,00764$$

$$0,7364 = 0,07157 x - 0,00764$$

$$x = \frac{0,7364 + 0,00764}{0,07157} = \frac{0,74404}{0,07157} = 10,4 \text{ ppm}$$

- Perhitungan konsentrasi akhir metil jingga variasi fotokatalis 95%:5%

$$y = 0,07157 x - 0,00764$$

$$0,2303 = 0,07157 x - 0,00764$$

$$x = \frac{0,2303+0,00764}{0,07157} = \frac{0,23794}{0,07157} = 3,32 \text{ ppm}$$

- Perhitungan %Degradasi 95%:5% (TiO<sub>2</sub>-KAJP 5%)

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

$$= \frac{10,4 \text{ ppm} - 3,32 \text{ ppm}}{10,4 \text{ ppm}} \times 100\% = 68,03\%$$

- Perhitungan konsentrasi akhir metil jingga variasi fotokatalis 90%:10%

$$y = 0,07157 x - 0,00764$$

$$0,4587 = 0,07157 x - 0,00764$$

$$x = \frac{0,4587+0,00764}{0,07157} = \frac{0,46634}{0,07157} = 6,52 \text{ ppm}$$

- Perhitungan %Degradasi 90%:10% (TiO<sub>2</sub>-KAJP 10%)

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

$$= \frac{10,4 \text{ ppm} - 6,52 \text{ ppm}}{10,4 \text{ ppm}} \times 100\% = 37,32\%$$

- Perhitungan konsentrasi akhir metil jingga variasi fotokatalis 85%:15%

$$y = 0,07157 x - 0,00764$$

$$0,5342 = 0,07157 x - 0,00764$$

$$x = \frac{0,5342+0,00764}{0,07157} = \frac{0,54184}{0,07157} = 7,57 \text{ ppm}$$

- Perhitungan %Degradasi 85%:15% (TiO<sub>2</sub>-KAJP 15%)

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

$$= \frac{10,4 \text{ ppm} - 7,57 \text{ ppm}}{10,4 \text{ ppm}} \times 100\% = 27,18\%$$

## 2. Perhitungan uji variasi massa fotokatalis

Massa	Absorbansi					C <sub>0</sub>	C <sub>t</sub>	D(%)
	Awal	1	2	3	$\bar{X}$			
25 mg	0,7391	0,5229	0,4901	0,5410	0,5180	10,43	7,34	29,61
50 mg	0,7364	0,1949	0,2536	0,2423	0,2303	10,40	3,32	68,03
75 mg	0,7545	0,3931	0,4834	0,4321	0,4362	10,65	6,20	41,76

- Perhitungan konsentrasi awal metil jingga variasi massa 25 mg

$$y = 0,07157 x - 0,00764$$

$$0,7391 = 0,07157 x - 0,00764$$

$$x = \frac{0,7391 + 0,00764}{0,07157} = \frac{0,74674}{0,07157} = 10,43 \text{ ppm}$$

- Perhitungan konsentrasi akhir metil jingga variasi massa 25 mg

$$y = 0,07157 x - 0,00764$$

$$0,5180 = 0,07157 x - 0,00764$$

$$x = \frac{0,5180 + 0,00764}{0,07157} = \frac{0,52564}{0,07157} = 7,34 \text{ ppm}$$

- Perhitungan %Degradasi variasi massa 25 mg

$$\begin{aligned} \%D &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{10,43 \text{ ppm} - 7,34 \text{ ppm}}{10,43 \text{ ppm}} \times 100\% = 29,61\% \end{aligned}$$

- Perhitungan konsentrasi awal metil jingga variasi 50 mg

$$y = 0,07157 x - 0,00764$$

$$0,7364 = 0,07157 x - 0,00764$$

$$x = \frac{0,7364 + 0,00764}{0,07157} = \frac{0,74404}{0,07157} = 10,4 \text{ ppm}$$

- Perhitungan konsentrasi akhir metil jingga variasi 50 mg

$$y = 0,07157 x - 0,00764$$

$$0,2303 = 0,07157 x - 0,00764$$

$$x = \frac{0,2303 + 0,00764}{0,07157} = \frac{0,23794}{0,07157} = 3,32 \text{ ppm}$$

- Perhitungan %Degradasi variasi 50 mg

$$\begin{aligned} \%D &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{10,4 \text{ ppm} - 3,32 \text{ ppm}}{10,4 \text{ ppm}} \times 100\% = 68,03\% \end{aligned}$$

- Perhitungan konsentrasi awal metil jingga variasi massa 75 mg

$$y = 0,07157 x - 0,00764$$

$$0,7545 = 0,07157 x - 0,00764$$

$$x = \frac{0,7545 + 0,00764}{0,07157} = \frac{0,76214}{0,07157} = 10,65 \text{ ppm}$$

- Perhitungan konsentrasi akhir metil jingga variasi massa 75 mg

$$y = 0,07157 x - 0,00764$$

$$0,4362 = 0,07157 x - 0,00764$$

$$x = \frac{0,4362 + 0,00764}{0,07157} = \frac{0,44384}{0,07157} = 6,20 \text{ ppm}$$

- Perhitungan %Degradasi variasi massa 75 mg

$$\begin{aligned} \%D &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{10,65 \text{ ppm} - 6,20 \text{ ppm}}{10,65 \text{ ppm}} \times 100\% = 41,76\% \end{aligned}$$

### 3. Perhitungan Uji Efektivitas Fotokatalis

Fotokatalis	Absorbansi					C <sub>0</sub>	C <sub>t</sub>	D(%)
	Awal	1	2	3	$\bar{X}$			
TiO <sub>2</sub> Gelap	0.6938	0.6622	0.622	0.63	0.6381	9.80	9.02	7.95
KAJP Gelap	0.7451	0.321	0.3398	0.3347	0.3318	10.52	4.74	54.90
KAJP + UV	0.7525	0.3081	0.308	0.3064	0.3075	10.62	4.40	58.54
TiO <sub>2</sub> + UV	0.7525	0.2804	0.3007	0.235	0.2720	10.62	3.91	63.21
TiO <sub>2</sub> -KAJP 5% + UV	0.7364	0.1949	0.2536	0.2423	0.2303	10.40	3.32	68.03

- Perhitungan konsentrasi awal metil jingga variasi TiO<sub>2</sub> Gelap

$$y = 0,07157 x - 0,00764$$

$$0,6938 = 0,07157 x - 0,00764$$

$$x = \frac{0,6938+0,00764}{0,07157} = \frac{0,70144}{0,07157} = 9,80 \text{ ppm}$$

- Perhitungan konsentrasi akhir metil jingga variasi TiO<sub>2</sub> Gelap

$$y = 0,07157 x - 0,00764$$

$$0,6381 = 0,07157 x - 0,00764$$

$$x = \frac{0,6381+0,00764}{0,07157} = \frac{0,64574}{0,07157} = 9,02 \text{ ppm}$$

- Perhitungan %Degradasi variasi TiO<sub>2</sub> Gelap

$$\begin{aligned} \%D &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{9,80 \text{ ppm} - 9,02 \text{ ppm}}{9,80 \text{ ppm}} \times 100\% = 7,95\% \end{aligned}$$

- Perhitungan konsentrasi awal metil jingga variasi KAJP Gelap

$$y = 0,07157 x - 0,00764$$

$$0,7451 = 0,07157 x - 0,00764$$

$$x = \frac{0,7451+0,00764}{0,07157} = \frac{0,75274}{0,07157} = 10,52 \text{ ppm}$$

- Perhitungan konsentrasi akhir metil jingga variasi KAJP Gelap

$$y = 0,07157 x - 0,00764$$

$$0,3318 = 0,07157 x - 0,00764$$

$$x = \frac{0,3318+0,00764}{0,07157} = \frac{0,33944}{0,07157} = 4,74 \text{ ppm}$$

- Perhitungan %Degradasi variasi KAJP Gelap

$$\begin{aligned} \%D &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{10,52 \text{ ppm} - 4,74 \text{ ppm}}{10,52 \text{ ppm}} \times 100\% = 54,90\% \end{aligned}$$

- Perhitungan konsentrasi awal metil jingga variasi KAJP + UV

$$y = 0,07157 x - 0,00764$$

$$0,7525 = 0,07157 x - 0,00764$$



$$x = \frac{0,7525+0,00764}{0,07157} = \frac{0,76014}{0,07157} = 10,62 \text{ ppm}$$

- Perhitungan konsentrasi akhir metil jingga variasi KAJP + UV

$$y = 0,07157 x - 0,00764$$

$$0,3075 = 0,07157 x - 0,00764$$

$$x = \frac{0,3075+0,00764}{0,07157} = \frac{0,31514}{0,07157} = 4,40 \text{ ppm}$$

- Perhitungan %Degradasi variasi KAJP + UV

$$\begin{aligned} \%D &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{10,62 \text{ ppm} - 4,40 \text{ ppm}}{10,62 \text{ ppm}} \times 100\% = 58,54\% \end{aligned}$$

- Perhitungan konsentrasi awal metil jingga variasi TiO<sub>2</sub> + UV

$$y = 0,07157 x - 0,00764$$

$$0,7525 = 0,07157 x - 0,00764$$

$$x = \frac{0,7525+0,00764}{0,07157} = \frac{0,76014}{0,07157} = 10,62 \text{ ppm}$$

- Perhitungan konsentrasi akhir metil jingga variasi TiO<sub>2</sub>+ UV

$$y = 0,07157 x - 0,00764$$

$$0,2720 = 0,07157 x - 0,00764$$

$$x = \frac{0,2720+0,00764}{0,07157} = \frac{0,27964}{0,07157} = 3,91 \text{ ppm}$$

- Perhitungan %Degradasi variasi KAJP + UV

$$\begin{aligned} \%D &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{10,62 \text{ ppm} - 3,91 \text{ ppm}}{10,62 \text{ ppm}} \times 100\% = 63,21\% \end{aligned}$$

- Perhitungan konsentrasi awal metil jingga variasi TiO<sub>2</sub>-KAJP 5% + UV

$$y = 0,07157 x - 0,00764$$

$$0,7364 = 0,07157 x - 0,00764$$

$$x = \frac{0,7364+0,00764}{0,07157} = \frac{0,74404}{0,07157} = 10,4 \text{ ppm}$$

- Perhitungan konsentrasi akhir metil jingga variasi TiO<sub>2</sub>-KAJP 5% + UV

$$y = 0,07157 x - 0,00764$$

$$0,2303 = 0,07157 x - 0,00764$$

$$x = \frac{0,2303+0,00764}{0,07157} = \frac{0,23794}{0,07157} = 3,32 \text{ ppm}$$

- Perhitungan %Degradasi variasi TiO<sub>2</sub>-KAJP 5% + UV

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

$$= \frac{10,4 \text{ ppm} - 3,32 \text{ ppm}}{10,4 \text{ ppm}} \times 100\% = 68,03\%$$

## Lampiran 4. Dokumentasi

### L.4.1 Preparasi dan aktivasi karbon



Pencucian jerami padi



Jerami padi setelah dioven



Setelah karbonisasi



Setelah dihaluskan dan diayak



Aktivasi kimia dengan larutan asam fosfat

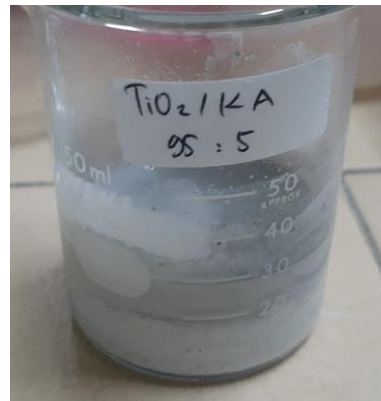


Pencucian karbon aktif sampai netral

#### L.4.2 Sintesis $\text{TiO}_2$ -Karbon Aktif Jerami Padi



Sintesis  $\text{TiO}_2$ -KAJP dengan sonikasi



$\text{TiO}_2$ -KAJP setelah sintesis



Penyaringan hasil sintesis



$\text{TiO}_2$ -KAJP setelah dioven



$\text{TiO}_2$ -KAJP sebelum dikalsinasi



TiO<sub>2</sub>-KAJP setelah kalsinasi

#### L.4.3 Fotodegradasi Metil Jingga



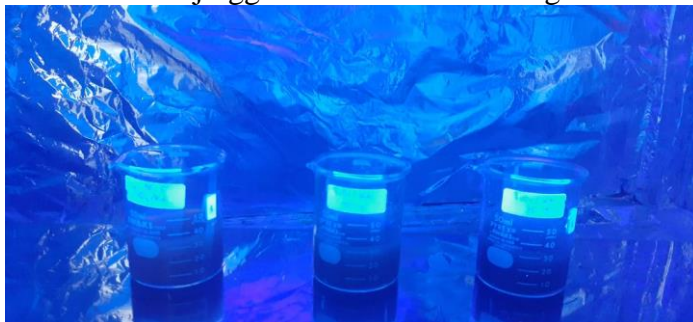
Larutan induk 100 ppm  
dan larutan 10 ppm



Pengukuran kurva standar



Larutan metil jingga 25 mL sebelum didegradasi



Proses fotodegradasi



Larutan metil jingga setelah didegradasi



Proses penyaringan larutan setelah degradasi



Proses sentrifugasi

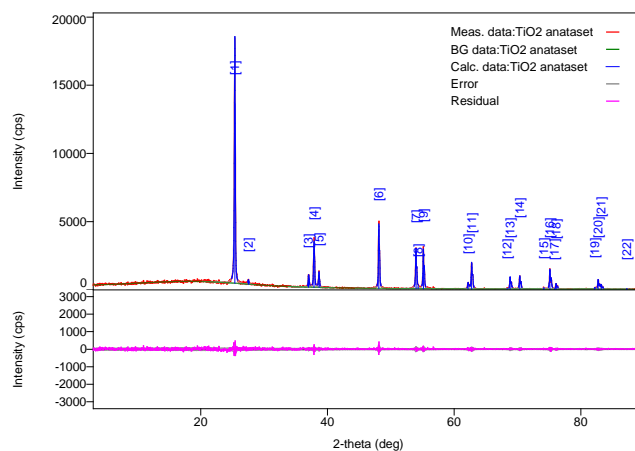


Larutan metil jingga setelah disentrifugasi

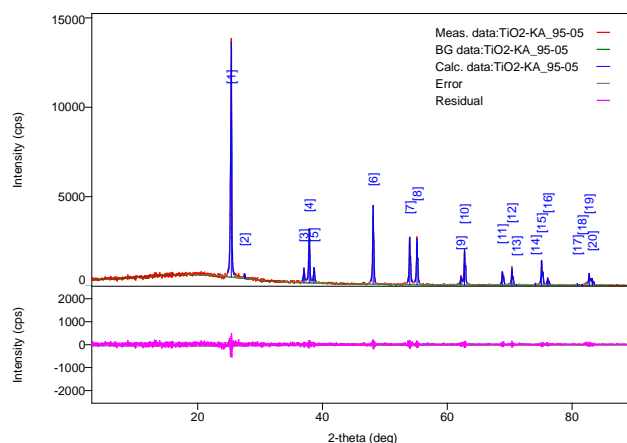


## Lampiran 5 Hasil Karakterisasi XRD

### L.5.1 TiO<sub>2</sub> anatase

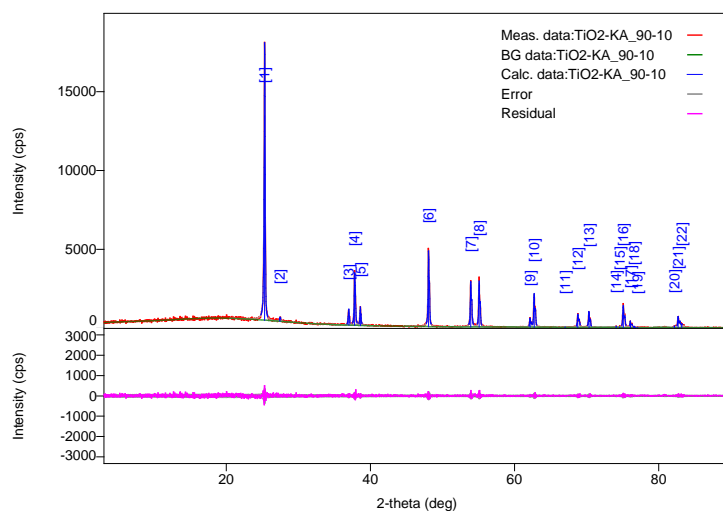


2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
25.374(4)	3.5074(5)	13163(331)	0.157(3)	2802(19)	0.213(7)	1.9(2)
27.534(10)	3.2369(11)	254(46)	0.13(4)	52(7)	0.20(6)	5(7)
37.002(13)	2.4275(8)	776(80)	0.136(17)	150(7)	0.19(3)	0.9(4)
37.867(7)	2.3740(4)	2793(153)	0.148(7)	565(11)	0.202(15)	1.3(2)
38.652(10)	2.3276(6)	918(87)	0.140(13)	184(8)	0.20(3)	2.2(8)
48.102(4)	1.89006(14)	4287(189)	0.131(4)	802(10)	0.187(11)	1.36(19)
53.959(5)	1.69791(15)	2682(150)	0.129(5)	504(16)	0.188(16)	1.2(3)
54.31(3)	1.6876(8)	152(36)	0.18(7)	39(13)	0.26(15)	1.2(3)
55.130(5)	1.66459(15)	2763(152)	0.123(5)	516(8)	0.187(13)	1.3(3)
62.189(8)	1.49151(16)	426(60)	0.139(13)	84(5)	0.20(4)	1.3(3)
62.758(6)	1.47937(13)	1796(122)	0.153(7)	392(8)	0.218(19)	1.3(3)
68.344(15)	1.3714(3)	68(24)	0.09(4)	9(3)	0.14(9)	1.7(5)
68.825(7)	1.36300(13)	869(85)	0.131(10)	168(6)	0.19(3)	1.7(5)
70.347(10)	1.33720(16)	928(88)	0.136(11)	196(5)	0.21(3)	1.2(4)
74.150(13)	1.2777(2)	98(29)	0.11(6)	20(3)	0.21(9)	4(5)
75.093(7)	1.26401(10)	1400(108)	0.135(11)	318(7)	0.23(2)	0.8(2)
75.83(3)	1.2536(4)	38(18)	0.10(7)	5(3)	0.12(13)	1.7(9)
76.096(14)	1.24983(19)	393(57)	0.140(15)	70(3)	0.18(3)	1.7(9)
82.193(10)	1.17186(12)	122(32)	0.14(2)	23(3)	0.19(7)	0.91(9)
82.720(4)	1.16572(4)	668(75)	0.161(8)	146(5)	0.22(3)	0.91(9)
83.206(5)	1.16015(6)	326(52)	0.142(12)	63(4)	0.19(4)	0.91(9)
87.253(12)	1.11644(12)	52(21)	0.05(2)	3.5(14)	0.07(5)	2(2)

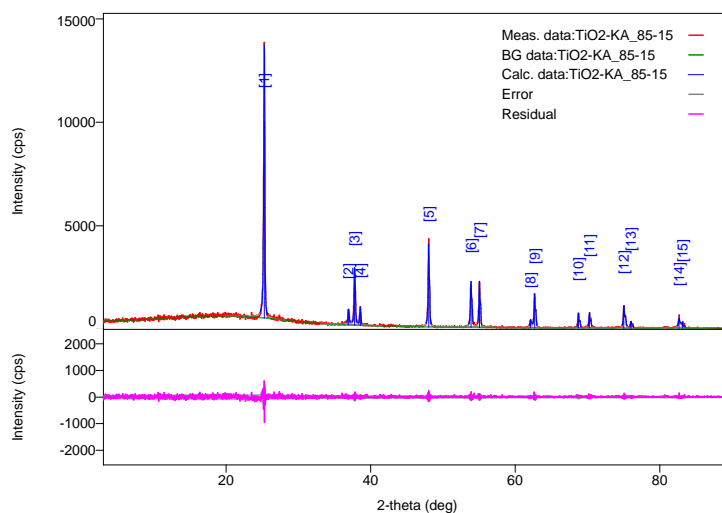
L.5.2 TiO<sub>2</sub>-KAJP 5%

2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
25.383(5)	3.5061	9231(27)	0.196(5)	2348(2)	0.254(10)	3.2(5)
27.49(3)	3.243(	201(41)	0.14(6)	47(6)	0.23(8)	1.2(14)
37.008(7)	2.4271	683(75)	0.113(14)	143(6)	0.21(3)	1.2(3)
37.866(7)	2.3741	2353(14)	0.165(8)	539(9)	0.229(17)	1.7(3)
38.604(8)	2.3304	723(78)	0.143(14)	169(6)	0.23(3)	0.59(10)
48.103(4)	1.8900	3908(18)	0.138(5)	781(10)	0.200(12)	1.5(2)
53.962(7)	1.6978	2353(14)	0.145(8)	519(9)	0.221(17)	1.6(4)
55.127(5)	1.6646	2339(14)	0.139(6)	497(8)	0.212(16)	1.3(3)
62.173(7)	1.4918	385(57)	0.130(13)	76(4)	0.20(4)	1.6(3)
62.759(6)	1.4793	1819(12)	0.145(6)	399(7)	0.219(19)	1.6(3)
68.800(11)	1.3634	717(77)	0.161(14)	172(6)	0.24(3)	0.6(2)
70.351(9)	1.3371	852(84)	0.163(10)	188(6)	0.22(3)	1.1(3)
71.08(5)	1.3252	47(20)	0.11(5)	5(2)	0.11(10)	0.8(17)
74.118(11)	1.2782	87(27)	0.12(3)	17(2)	0.19(9)	0.9(8)
75.093(6)	1.2640	1316(10)	0.145(7)	290(6)	0.22(2)	0.73(14)
76.095(18)	1.2498	349(54)	0.159(16)	77(4)	0.22(5)	1.7(10)
80.834(10)	1.1880	94(28)	0.11(5)	20(3)	0.21(9)	5(8)
81.60(3)	1.1789	53(21)	0.06(2)	3.5(16)	0.07(6)	2(4)
82.742(11)	1.1654	592(70)	0.17(2)	172(9)	0.29(5)	2.2(9)
83.229(10)	1.1598	331(53)	0.14(3)	78(8)	0.24(6)	2.2(9)



L.5.3 TiO<sub>2</sub>-KAJP 10%

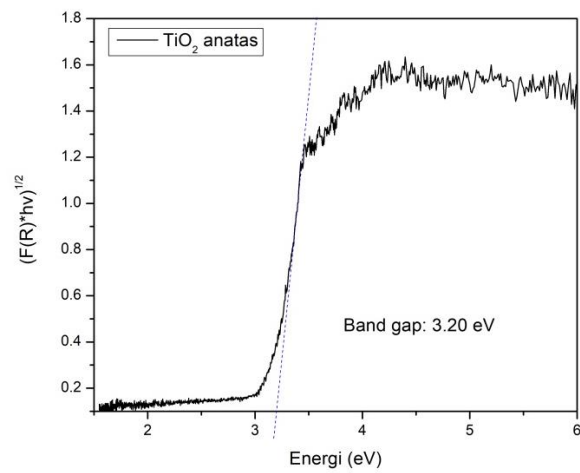
2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
25.321(3)	3.5146(5)	12976(3)	0.148(3)	2642(1)	0.204(7)	2.0(2)
27.432(9)	3.2487(1)	247(45)	0.09(4)	41(5)	0.16(5)	0.7(9)
37.000(4)	2.4276(2)	768(80)	0.143(10)	139(6)	0.18(3)	5(4)
37.794(6)	2.3784(3)	2910(15)	0.133(7)	559(9)	0.192(13)	0.91(16)
38.598(6)	2.3307(4)	957(89)	0.122(9)	164(6)	0.17(2)	2.5(6)
48.049(4)	1.89204(	4445(19)	0.126(4)	810(10)	0.182(10)	1.13(16)
53.912(5)	1.69930(	2672(14)	0.131(6)	527(8)	0.197(14)	1.4(3)
55.077(6)	1.66606(	2694(15)	0.129(6)	500(9)	0.186(14)	1.3(3)
62.138(9)	1.4926(2)	520(66)	0.128(8)	84(4)	0.16(3)	1.6(6)
62.710(4)	1.48036(	2060(13)	0.131(4)	392(5)	0.190(15)	1.4(2)
67.00(4)	1.3957(7)	45(19)	0.08(3)	3.8(17)	0.08(7)	0.7(14)
68.768(10)	1.36400(	810(82)	0.148(10)	188(5)	0.23(3)	0.9(3)
70.302(8)	1.33794(	956(89)	0.130(9)	189(5)	0.20(2)	1.1(3)
74.081(13)	1.2788(2)	76(25)	0.13(3)	13(2)	0.17(8)	1.7(4)
74.57(2)	1.2716(3)	48(20)	0.13(5)	9(3)	0.18(14)	1.7(4)
75.075(7)	1.26428(	1361(10)	0.157(7)	290(7)	0.21(2)	1.7(4)
76.057(15)	1.2504(2)	388(57)	0.13(2)	83(4)	0.21(4)	1.5(10)
76.551(9)	1.24354(	82(26)	0.03(2)	3(2)	0.03(4)	1(5)
77.07(7)	1.2364(9)	33(17)	0.12(7)	4(2)	0.12(14)	2(6)
82.163(17)	1.1722(2)	103(29)	0.17(4)	29(5)	0.28(12)	0.7(2)
82.673(9)	1.16627(	681(75)	0.147(13)	158(6)	0.23(3)	0.7(2)
83.175(14)	1.16050(	208(42)	0.19(3)	61(6)	0.29(9)	0.7(2)

L.5.4 TiO<sub>2</sub>-KAJP 15%

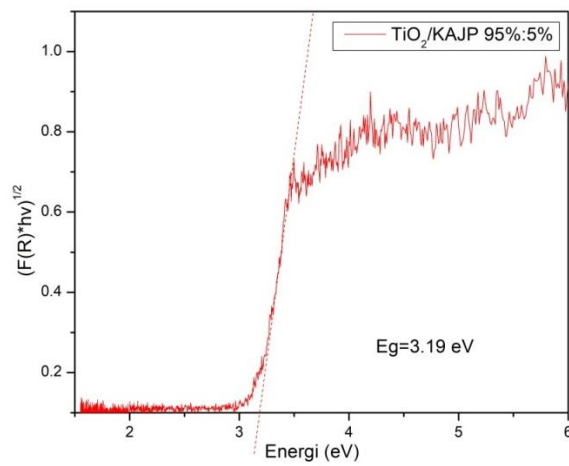
2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
25.277(6)	3.5205(	9495(281)	0.170(4)	2174(2)	0.229(9)	1.8(3)
36.911(14)	2.4332(	608(71)	0.16(2)	149(6)	0.24(4)	1.0(5)
37.766(7)	2.3801(	2201(135)	0.169(7)	501(7)	0.228(17)	1.3(2)
38.546(14)	2.3337(	668(75)	0.170(13)	135(6)	0.20(3)	1.8(6)
48.015(4)	1.8933	3468(170)	0.145(5)	723(9)	0.209(13)	1.7(2)
53.866(6)	1.7006	1966(128)	0.160(8)	453(8)	0.231(19)	1.5(3)
55.038(6)	1.6671	1967(128)	0.159(7)	421(8)	0.214(18)	1.4(2)
62.104(10)	1.4934(	334(53)	0.147(18)	72(5)	0.21(5)	1.5(3)
62.669(7)	1.4812	1491(111)	0.158(8)	345(8)	0.23(2)	1.5(3)
68.735(10)	1.3645	675(75)	0.157(9)	133(5)	0.20(3)	1.3(4)
70.267(12)	1.3385(	694(76)	0.155(13)	159(5)	0.23(3)	1.7(7)
75.017(9)	1.2651	1007(92)	0.181(9)	264(5)	0.26(3)	1.0(2)
75.994(18)	1.2512(	311(51)	0.170(16)	69(4)	0.22(5)	1.0(5)
82.650(15)	1.1665	437(60)	0.211(18)	136(7)	0.31(6)	1.2(4)
83.142(11)	1.1608	259(46)	0.15(2)	58(5)	0.22(6)	1.2(4)

## Lampiran 6. Hasil Karakterisasi UV-Vis DRS

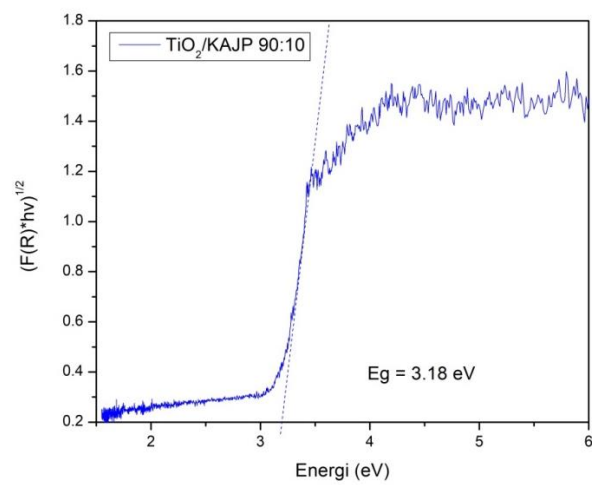
### L.6.1 TiO<sub>2</sub> Anatas



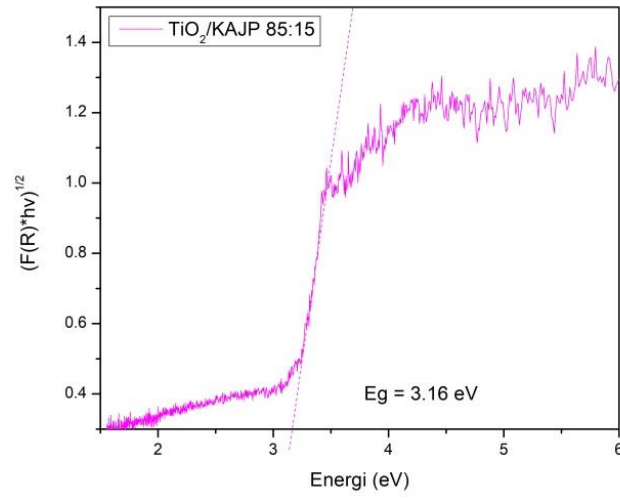
### L.6.2 TiO<sub>2</sub>-KAJP 5%



### L.6.3 TiO<sub>2</sub>-KAJP 10%

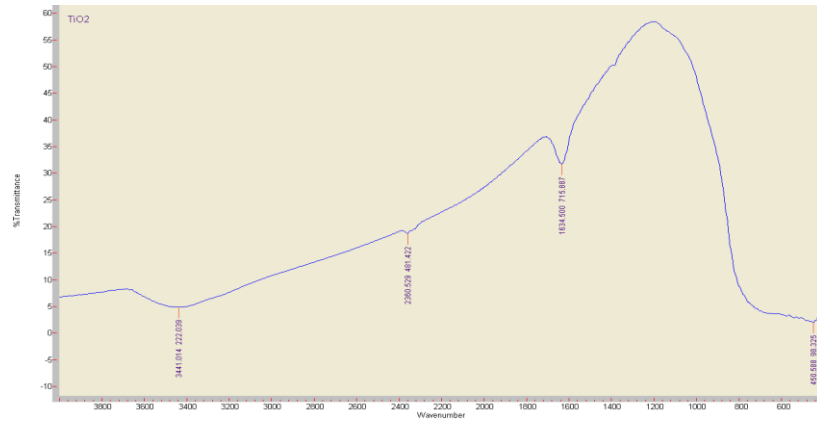


**L.6.4 TiO<sub>2</sub>-KAJP 15%**

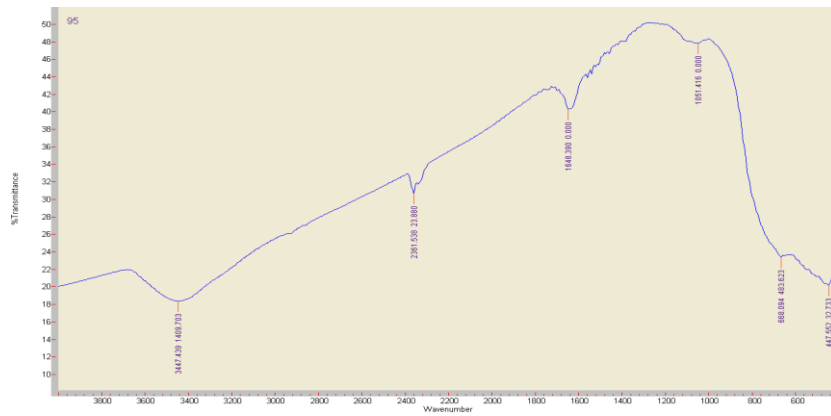


**Lampiran 7 Hasil Karakterisasi FTIR**

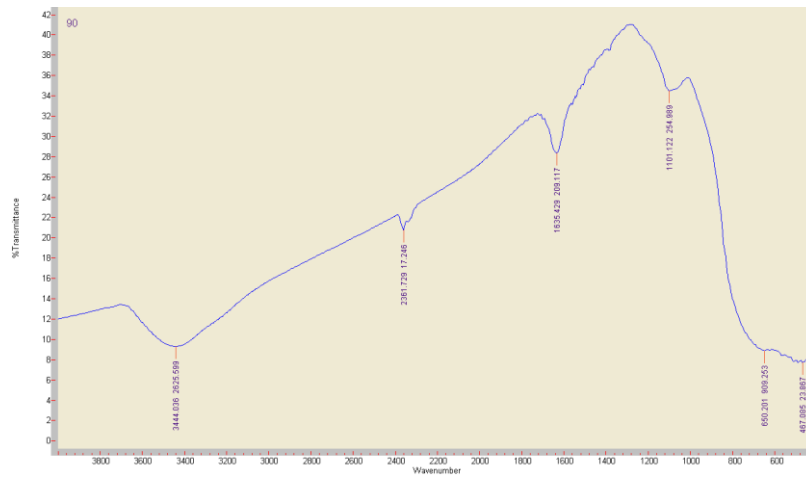
**L.7.1 TiO<sub>2</sub> anatas**



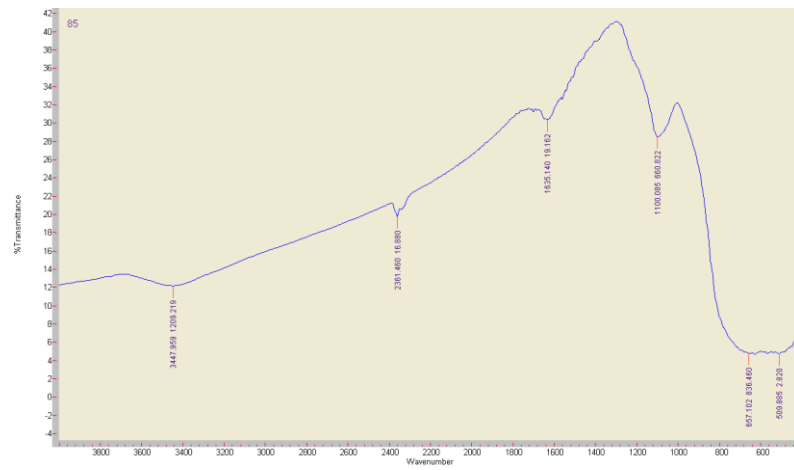
**L.7.2 TiO<sub>2</sub>-KAJP 5%**



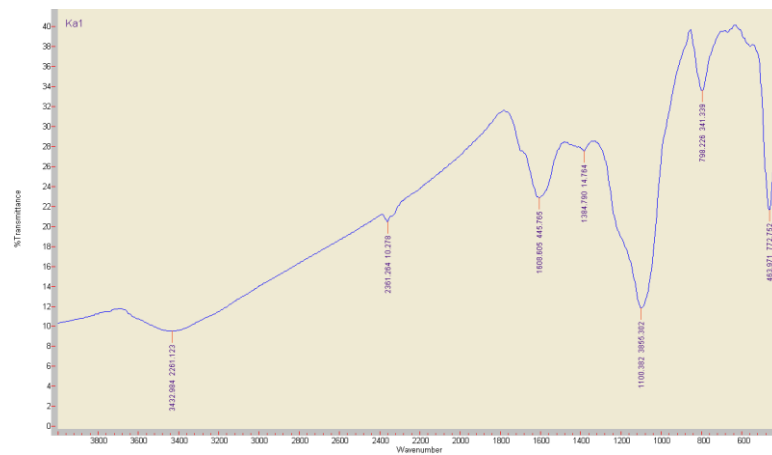
### L.7.3 TiO<sub>2</sub>-KAJP 10%



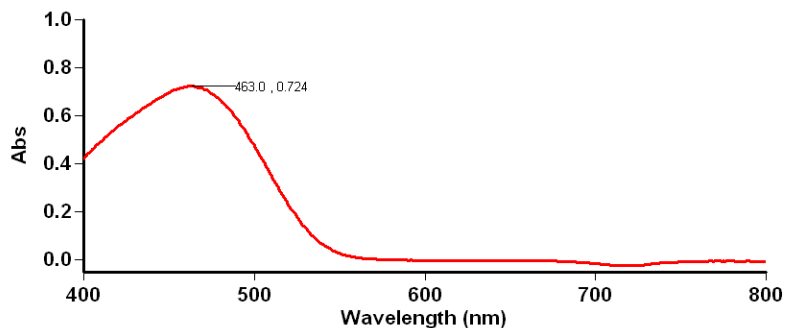
### L.7.4 TiO<sub>2</sub>-KAJP 15%



### L.7.5 Karbon Aktif



## Lampiran 8 Hasil Pengukuran Absorbansi dengan Spektrofotometer UV-Vis

**Lamdha Maks Metil jingga**

Wavelength (nm)	Abs
-----------------	-----

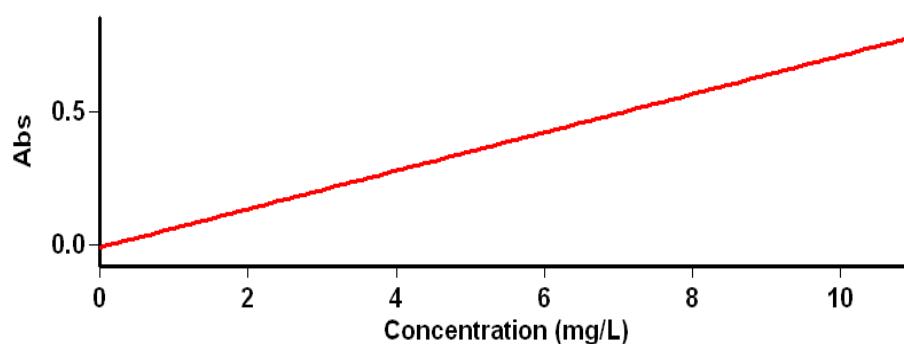
791.0	0.028
-------	-------

463.0	0.739
-------	-------

272.1	0.354
-------	-------

**Kurva Standar Metil Jingga**

Tanggal Analisa : 24 Juni 2022



Standard	Concentration	F	Mean	SD	%RSD	Readings
----------	---------------	---	------	----	------	----------

mg/L

---

Std 1					0.0632
					0.0629
	1.0	0.0633	0.0005	0.72	0.0638
Std 2					0.1390
					0.1387
	2.0	0.1388	0.0001	0.09	0.1388
Std 3					0.2765
					0.2764
	4.0	0.2765	0.0001	0.04	0.2766
Std 4					0.4166
					0.4167
	6.0	0.4169	0.0005	0.12	0.4175
Std 5					0.5711
					0.5705
	8.0	0.5706	0.0004	0.08	0.5703
Std 6					0.7061
					0.7071
	10.0	0.7067	0.0005	0.08	0.7069