

**TUGAS AKHIR - TL234839**

**ANALISIS PENGARUH pH BASA PADA SINTESIS  $TiO_2$   
DALAM FABRIKASI NANOKOMPOSIT  $TiO_2$ /GRAPHENE  
QUANTUM DOTS UNTUK DEGRADASI *METHYLENE BLUE***

**JENNIFER THERESA HUTAPEA**  
NRP 5011201112

Dosen Pembimbing  
**Vania Mitha Prawiti, S.T., M.T.**  
NIP 1989021320200122016  
**Dr. Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si.**  
NIP 1974101720006042001

**Program Studi Teknik Material**  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2024





**TUGAS AKHIR - TL234839**

**ANALISIS PENGARUH pH BASA PADA SINTESIS  $\text{TiO}_2$   
DALAM FABRIKASI NANOKOMPOSIT  $\text{TiO}_2$ /GRAPHENE  
QUANTUM DOTS UNTUK DEGRADASI *METHYLENE BLUE***

**JENNIFER THERESA HUTAPEA**  
NRP 5011201112

Dosen Pembimbing  
**Vania Mitha Prawiti, S.T., M.T.**  
NIP 198902132020122016  
**Dr. Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si.**  
NIP 197410172006042001

**Program Studi Teknik Material**  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2024

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT - TL234839**

**ANALYSIS OF THE ALKALINE PH ON  $TiO_2$  SYNTHESIS IN  
THE FABRICATION OF  $TiO_2$ /GRAPHENE QUANTUM DOTS  
NANOCOMPOSITE FOR METHYLENE BLUE DEGRADATION**

**JENNIFER THERESA HUTAPEA**  
NRP 5011201112

Advisor  
**Vania Mitha Prawiti, S.T., M.T.**  
NIP 198902132020122016  
**Dr. Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si.**  
NIP 197410172006042001

**Study Program of Material Engineering**  
Department of Materials and Metallurgical Engineering  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2024

*(This page is intentionally blank)*

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS PENGARUH PH BASA PADA SINTESIS $TiO_2$ DALAM FABRIKASI NANOKOMPOSIT $TiO_2$ /GRAPHENE QUANTUM DOTS UNTUK DEGRADASI METHYLENE BLUE

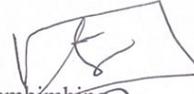
#### TUGAS AKHIR

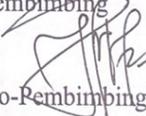
Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Teknik Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem Institut Teknologi Sepuluh Nopember

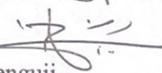
Oleh : **JENNIFER THERESA HUTAPEA**  
NRP. 5011201112

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Vania Mitha Prawiti, S.T., M.T.
2. Dr. Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si.
3. Tubagus Noor Rohmannudin S.T., M.Sc
4. Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

  
Pembimbing

  
Ko-Pembimbing

  
Penguji

  
Penguji



**SURABAYA**  
Juli, 2024

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## APPROVAL SHEET

### ANALYSIS OF THE ALKALINE PH ON TiO<sub>2</sub> SYNTHESIS IN THE FABRICATION OF TiO<sub>2</sub>/GRAPHENE QUANTUM DOTS NANOCOMPOSITE FOR METHYLENE BLUE

#### FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements  
for obtaining a degree of Bachelor of Engineering at  
Undergraduate Study Program of Material Engineering  
Department of Materials and Metallurgical Engineering  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : **JENNIFER THERESA HUTAPEA**  
NRP. 5011201112

Approved by Final Project Examiner Team :

1. Vania Mitha Prawiti, S.T., M.T.
2. Dr. Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si.
3. Tubagus Noor Rohmannudin S.T., M.Sc.
4. Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

Advisor

Co-Advisor

Examiner

Examiner



**SURABAYA**  
July, 2024

*(This page is intentionally blank)*

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

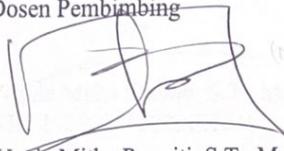
Nama mahasiswa/NRP : Jennifer Theresa Hutapea/5011201112  
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS  
Dosen Pembimbing/NIP : Vania Mitha Prawiti, S.T., M.T./ 198902132020122016  
Dosen Ko-Pembimbing/NIP : Dr. Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si./  
197410172006042001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "ANALISIS PENGARUH PH BASA PADA SINTESIS  $\text{TiO}_2$  DALAM FABRIKASI NANOKOMPOSIT  $\text{TiO}_2$ /GRAPHENE QUANTUM DOTS UNTUK DEGRADASI METHYLENE BLUE" adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penelitian ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 25 Juli 2024

Mengetahui  
Dosen Pembimbing



(Vania Mitha Prawiti, S.T., M.T.)  
NIP. 198902132020122016

Mahasiswa



(Jennifer Theresa Hutapea)  
NRP. 5011201112

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

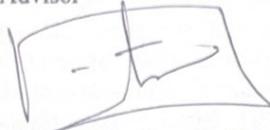
Name of Student/NRP : Jennifer Theresa Hutapea/5011201112  
Department : Materials and Metallurgical Engineering INDSYS-ITS  
Advisor/NIP : Vania Mitha Prawiti, S.T., M.T./198902132020122016  
Co-Advisor/NIP : Dr. Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si./197410172006042001

hereby declare that the Final Project with the title of "ANALYSIS OF THE ALKALINE PH EFFECT ON  $TiO_2$  SYNTHESIS IN THE FABRICATION OF  $TiO_2$ /GRAPHENE QUANTUM DOTS NANOCOMPOSITE FOR METYHLENE BLUE DEGRADATION" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, July 25<sup>th</sup> 2024

Acknowledged  
Advisor



(Vania Mitha Prawiti, S.T., M.T.)  
NIP. 198902132020122016

Student



(Jennifer Theresa Hutapea)  
NRP. 5011201112

*(This page is intentionally blank)*

# ANALISIS PENGARUH PH BASA PADA SINTESIS TiO<sub>2</sub> DALAM FABRIKASI NANOKOMPOSIT TiO<sub>2</sub>/GRAPHENE QUANTUM DOTS UNTUK DEGRADASI METHYLENE BLUE

Nama Mahasiswa / NRP : Jennifer Theresa Hutapea / 5011201112  
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS  
Dosen Pembimbing : Vania Mitha Prawiti, S.T., M.T  
Dosen Ko-Pembimbing : Dr. Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si.

## Abstrak

Pada penggunaan pewarna *methylene blue* pada industri tekstil, perlu dilakukan pendegradasian pewarna sebelum limbah tersebut dibuang. Degradasi *methylene blue* bisa dilakukan dengan menggunakan fotokatalis. Pada penelitian ini digunakan TiO<sub>2</sub> untuk proses fotokatalis, namun terdapat kekurangan dalam penggunaan semikonduktor TiO<sub>2</sub>. Kekurangan TiO<sub>2</sub> ialah dapat terjadi reaksi rekombinasi yang sangat cepat dan menghasilkan efisiensi kuantum rendah serta memerlukan waktu yang lama dalam pendegradasiannya serta juga daya serap sinar UV yang terbatas. Sehingga TiO<sub>2</sub> perlu disintesis dengan material lainnya untuk mengatasi kekurangan TiO<sub>2</sub> dalam aplikasi fotokatalis. TiO<sub>2</sub> di sintesis dengan Graphene Quantum Dots. Graphene Quantum Dots disintesis dengan cara memproses Graphene Oxide (GO) yang disintesis menggunakan grafit dengan metode hummer. GQDs ini akan dikombinasikan dengan semikonduktor TiO<sub>2</sub> menjadi nanokomposit karena memiliki luas permukaan yang tinggi yang mampu meningkatkan interaksi antara fotokatalis TiO<sub>2</sub> dengan polutan *methylene blue* sehingga dapat mendegradasi polutan dengan baik serta dapat mentransfer elektron lebih cepat yang mampu meningkatkan efisiensi degradasi polutan. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh variasi pH pembentuk TiO<sub>2</sub> terhadap karakteristik material TiO<sub>2</sub> dari prekursor TiCl<sub>3</sub> menggunakan metode *co-precipitation*, pengaruh penambahan GQDs terhadap karakterisasi material nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs dan aktivitas katalitik dari nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs dalam mendegradasi limbah *methylene blue*. Metode penelitian dilakukan dengan sintesis TiO<sub>2</sub>, sintesis GQDs, dan sintesis komposit TiO<sub>2</sub>/GQDs dengan variasi pH dalam pembentukan TiO<sub>2</sub> dari prekursor TiCl<sub>3</sub> pada pH 9, pH 10, dan pH 11. Kemudian dilakukan pengujian karakterisasi material meliputi uji XRD, FTIR, SEM/EDX, BET, PL dan performa fotokatalis dengan uji fotokatalisis. Berdasarkan pengujian karakterisasi XRD, FTIR, SEM/EDX menunjukkan bahwa nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs berhasil terbentuk. Pada hasil uji BET diperoleh luas permukaan nanokomposit variasi pH 9 dan pH 10 sebesar 6,162 dan 6,417 m<sup>2</sup>/g dengan ukuran pori sebesar 4,53 dan 8,33 nm yang termasuk dalam jenis mesopori. Pada hasil uji PL menunjukkan pH 11 memiliki *intensity* paling rendah dan seiring dengan penurunan pH menyebabkan *intensity* meningkat pada *wavelength* 514 nm. Kemudian pada hasil uji fotokatalisis dan spektrofotometri UV-Vis menunjukkan persentase degradasi paling baik terdapat pada nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs dengan pH 11 pada waktu penyinaran 6 jam yaitu sebesar 99,425%.

**Kata Kunci:** *Fotokatalis, GQDs, Methylene Blue, TiO<sub>2</sub>*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# ANALYSIS OF THE ALKALINE PH EFFECT ON TiO<sub>2</sub> SYNTHESIS IN THE FABRICATION OF TiO<sub>2</sub>/GRAPHENE QUANTUM DOTS NANOCOMPOSITE FOR METHYLENE BLUE DEGRADATION

**Student Name / NRP** : Jennifer Theresa Hutapea / 5011201112  
**Department** : Materials and Metallurgical Engineering INDSYS-ITS  
**Advisor** : Vania Mitha Prawiti, S.T., M.T.  
**Co-Advisor** : Dr. Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si.

## Abstract

In the context of using methylene blue dye in textile industries, it's crucial to degrade the dye before disposing of the wastewater. Degradation of methylene blue can be achieved through photocatalysis. This study employs TiO<sub>2</sub> as a photocatalyst, but there are limitations in its semiconductor properties. TiO<sub>2</sub> is known to suffer from rapid recombination reactions, resulting in low quantum efficiency and requiring extended degradation times, alongside limited UV light absorption. Therefore, TiO<sub>2</sub> needs to be synthesized with other materials to overcome these shortcomings in photocatalytic applications. TiO<sub>2</sub> is synthesized with Graphene Quantum Dots (GQDs), which are derived from Graphene Oxide (GO) processed using the Hummer method from graphite. These GQDs are combined with TiO<sub>2</sub> to form a nanocomposite due to their high surface area, enhancing interaction between TiO<sub>2</sub> photocatalyst and methylene blue pollutants, thereby enabling efficient pollutant degradation and faster electron transfer. The aim of this research is to analyze the impact of pH variation during TiO<sub>2</sub> formation from TiCl<sub>3</sub> precursor using the co-precipitation method, the influence of GQDs addition on the characterization of TiO<sub>2</sub>/GQDs nanocomposite materials, and the catalytic activity of TiO<sub>2</sub>/GQDs nanocomposite in degrading methylene blue waste. The research methodology includes TiO<sub>2</sub> synthesis, GQDs synthesis, and synthesis of TiO<sub>2</sub>/GQDs composite with pH variation (pH 9, pH 10, and pH 11) during TiO<sub>2</sub> formation. Material characterization tests encompass XRD, FTIR, SEM/EDX, BET, PL, and photocatalysis performance tests. Based on XRD, FTIR, SEM/EDX characterization, the TiO<sub>2</sub>/GQDs nanocomposite was successfully formed. BET surface area tests revealed surface areas of 6.162 and 6.417 m<sup>2</sup>/g for pH 9 and pH 10 nanocomposites, with pore sizes of 4.53 and 8.33 nm, classified as mesoporous. PL tests indicated that pH 11 exhibited the lowest intensity, with intensity increasing as pH decreased at a wavelength of 514 nm. Moreover, photocatalysis and UV-Vis spectrophotometry results demonstrated that the TiO<sub>2</sub>/GQDs nanocomposite at pH 11 achieved a degradation efficiency of 99.425% after 6 hours of irradiation.

**Keywords:** *Photocatalyst, GQDs, Methylene Blue, TiO<sub>2</sub>*

*(This page is intentionally blank)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan laporan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Pengaruh Ph Basa Pada Sintesis  $\text{TiO}_2$  Dalam Fabrikasi Nanokomposit  $\text{TiO}_2$ /Graphene Quantum Dots Untuk Degradasi Methylene Blue” Selama proses penelitian, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dan memberi dukungan kepada penulis, di antaranya adalah:

1. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS.
2. Ibu Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T selaku dosen pembimbing I tugas akhir atas segala ilmu, bimbingan, dan waktu yang telah diberikan selama pelaksanaan tugas akhir hingga laporan selesai.
3. Ibu Dr. Hariyati Purwaningsih, S.Si,M.Si. selaku dosen pembimbing II yang telah mencurahkan segenap waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing penulis dalam penelitian ini, serta memberikan motivasi yang membangun.
4. Ibu Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen wali.

Penulis menyadari penulisan laporan ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga laporan ini dapat berguna bagi penulis dan seluruh pihak terkait.

Surabaya, 25 Juli 2024

Penulis



Jennifer Theresa Hutapea

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
APPROVAL SHEET.....	vii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ix
STATEMENT OF ORIGINALITY.....	xi
Abstrak.....	xiii
Abstract.....	xv
KATA PENGANTAR.....	xvii
DAFTAR ISI.....	xix
DAFTAR GAMBAR.....	xxi
DAFTAR TABEL.....	xxiii
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Fotokatalis.....	5
2.2 TiO <sub>2</sub> .....	6
2.3 Graphine Quantum Dots.....	12
2.4 Nanokomposit TiO <sub>2</sub> /Graphene Quantum Dots.....	14
2.5 Lingkungan Limbah.....	16
2.6 Kajian Penelitian Sebelumnya.....	18
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>23</b>
3.1 Bahan Penelitian.....	23
3.1.1 Bahan Penelitian.....	23
3.1.2 Bahan Penelitian GQDs.....	23
3.2 Alat Penelitian.....	25
3.3 Diagram Alir.....	29
3.3.1 Sintesis TiO <sub>2</sub> .....	29
3.3.2 Pembuatan GQDs.....	30
3.3.3 Diagram Alir Nanokomposit TiO <sub>2</sub> /GQDs.....	31
3.4 Metode Penelitian.....	32
3.4.1 Preparasi Sintesis TiO <sub>2</sub> .....	32
3.4.2 Preparasi Sintesis <i>Graphene Oxide</i> .....	32
3.4.3 Preparasi Sintesis Graphene Quantum Dots.....	32
3.5 Pengujian.....	33
3.5.1 Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-Ray (SEM/EDX).....	33
3.5.2 X-Ray Diffraction (XRD).....	33
3.5.3 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR).....	35
3.5.4 Pengujian Fotokatalitik.....	36
3.5.5 Spektrofotometri UV-Vis.....	36
3.5.6 Brunaur, Emmett, and Teller (BET).....	37
3.5.7 Photoluminescence (PL).....	38
3.6 Rancangan Penelitian.....	38
3.7 Jadwal Penelitian.....	39
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>41</b>

4.1 Hasil Pengujian .....	41
4.1.1 Hasil Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	41
4.1.2 Hasil Pengujian Fourier Transform Infrared (FTIR) .....	44
4.1.3 Hasil Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM) dan Energy Dispersive X-Ray Analysis (EDX) .....	48
4.1.4 Hasil Pengujian Brunauer, Emmett, and Teller (BET) .....	53
4.1.5 Hasil Pengujian UV-Vis.....	56
4.1.6 Hasil Pengujian Micro Photoluminescence (PL) .....	60
4.1.7 Hasil Pengujian Fotokatalitik.....	61
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>71</b>
5.1 Kesimpulan .....	71
5.2 Saran.....	71
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>73</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>77</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH .....</b>	<b>105</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>	<b>107</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b>	Degradasi senyawa organik oleh proses fotokatalis TiO <sub>2</sub> .....	6
<b>Gambar 2. 2</b>	Hasil Uji SEM TiO <sub>2</sub> .....	7
<b>Gambar 2. 3</b>	FTIR dari TiO <sub>2</sub> .....	8
<b>Gambar 2. 4</b>	Pola Difraksi TiO <sub>2</sub> .....	8
<b>Gambar 2. 5</b>	Struktur Kristal TiO <sub>2</sub> .....	10
<b>Gambar 2. 6</b>	FTIR dari GQDs .....	13
<b>Gambar 2. 7</b>	Pola Difraksi GQDs .....	14
<b>Gambar 2. 8</b>	Hasil Uji SEM TiO <sub>2</sub> /GQDs .....	15
<b>Gambar 2. 9</b>	Hasil uji FTIR TiO <sub>2</sub> /GQDs .....	15
<b>Gambar 2. 10</b>	Pola Difraksi Nanokomposit TiO <sub>2</sub> /GQDs .....	16
<b>Gambar 2. 11</b>	Struktur MB .....	16
<b>Gambar 2. 12</b>	Reaksi pembentukan MB .....	17
<b>Gambar 3. 1</b>	TiCl <sub>3</sub> dengan 15% HCl .....	23
<b>Gambar 3. 2</b>	NH <sub>4</sub> OH .....	23
<b>Gambar 3. 3</b>	KOH .....	24
<b>Gambar 3. 4</b>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	24
<b>Gambar 3. 5</b>	KMnO <sub>4</sub> .....	24
<b>Gambar 3. 6</b>	NaNO <sub>3</sub> .....	25
<b>Gambar 3. 7</b>	HCl .....	25
<b>Gambar 3. 8</b>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	25
<b>Gambar 3. 9</b>	<i>Magnetic Stirrer</i> .....	26
<b>Gambar 3. 10</b>	Kertas saring .....	26
<b>Gambar 3. 11</b>	<i>Furnace</i> .....	26
<b>Gambar 3. 12</b>	FTIR .....	27
<b>Gambar 3. 13</b>	XRD .....	27
<b>Gambar 3. 14</b>	SEM .....	28
<b>Gambar 3. 15</b>	Diagram alir sintesis TiO <sub>2</sub> .....	29
<b>Gambar 3. 16</b>	Diagram Alir Sintesis Graphene Oksida .....	30
<b>Gambar 3. 17</b>	Diagram alir sintesis graphene oksida .....	31
<b>Gambar 3. 18</b>	Sintesis Nanokomposit TiO <sub>2</sub> /GQDs .....	31
<b>Gambar 3. 19</b>	Instrumen SEM .....	33
<b>Gambar 3. 20</b>	Alat Pengujian XRD .....	34
<b>Gambar 3. 21</b>	Alat uji FTIR .....	35
<b>Gambar 3. 22</b>	Skema prinsip kerja FTIR .....	36
<b>Gambar 3. 23</b>	Mesin UV-Vis <i>Genesys 10S UV-Vis Spectrometer</i> .....	37
<b>Gambar 3. 24</b>	Alat Pengujian BET .....	38
<b>Gambar 3. 25</b>	Skematik Instrumen Pengukuran <i>Photoluminescence (PL)</i> .....	38
<b>Gambar 4. 1</b>	Hasil pengujian XRD TiO <sub>2</sub> pada variasi pH 9, pH 10, dan pH 11 .....	41
<b>Gambar 4. 2</b>	Hasil pengujian XRD Grafit, Graphene Oxide, dan Graphene Quantum Dots .....	43
<b>Gambar 4. 3</b>	Hasil pengujian XRD nanokomposit TiO <sub>2</sub> /GQDs .....	44
<b>Gambar 4. 4</b>	Hasil Pengujian FTIR pada TiO <sub>2</sub> pH 9, pH 10, dan pH 11 .....	45
<b>Gambar 4. 5</b>	Hasil Pengujian FTIR Grafit, <i>Graphene Oxide</i> , dan <i>Graphene Quantum Dots</i> .....	46
<b>Gambar 4. 6</b>	Hasil pengujian FTIR nanokomposit TiO <sub>2</sub> /GQDs .....	47
<b>Gambar 4. 7</b>	Hasil pengujian SEM TiO <sub>2</sub> dengan variasi (a) pH 9 perbesaran 5000x, (b) pH 9 perbesaran 10000x, (c) pH 10 perbesaran 5000x, (d) pH 10	

	perbesaran 10000x, (e) pH 11 perbesaran 5000x, (f) pH 11 perbesaran 10000x.....	49
<b>Gambar 4. 8</b>	Hasil pengujian SEM pada (a) Grafit perbesaran 10000x, (b) Grafit perbesaran 15000x, (c) Graphene Oxide perbesaran 10000x, (d) Graphene Oxide perbesaran 15000x, (e) Graphene Quantum Dots perbesaran 10000x, (f) Graphene Quantum Dots perbesaran 15000x .....	50
<b>Gambar 4. 9</b>	Hasil pengujian SEM pada nanokomposit TiO <sub>2</sub> /GQDs (a) pH 9 perbesaran 5000x, (b) pH 9 perbesaran 10000x, (c) pH 10 perbesaran 5000x, (d) pH 10 perbesaran 10000x, (e) pH 11 perbesaran 5000x, (f) pH 11 perbesaran 10000x.....	51
<b>Gambar 4. 10</b>	Hasil kurva EDX nanokomposit TiO <sub>2</sub> /GQDs pH 9.....	52
<b>Gambar 4. 11</b>	Hasil kurva EDX nanokomposit TiO <sub>2</sub> /GQDs pH 10.....	52
<b>Gambar 4. 12</b>	Hasil kurva EDX nanokomposit TiO <sub>2</sub> /GQDs pH 11.....	53
<b>Gambar 4. 13</b>	Kurva adsorpsi isothermal nanokomposit TiO <sub>2</sub> /GQDs pH 9 .....	54
<b>Gambar 4. 14</b>	Hubungan ukuran pori dengan volume pori Nanokomposit TiO <sub>2</sub> /GQDs pada pH .....	55
<b>Gambar 4. 15</b>	Kurva adsorpsi isothermal nanokomposit TiO <sub>2</sub> /GQDs pH 11 .....	55
<b>Gambar 4.16</b>	Hubungan ukuran pori dengan volume pori Nanokomposit TiO <sub>2</sub> /GQDs pada pH 11 .....	56
<b>Gambar 4. 17</b>	Hasil pengujian UV-Vis <i>methylene blue</i> .....	57
<b>Gambar 4. 18</b>	Kurva regresi linear hubungan konsentrasi terhadap absorbansi <i>methylene blue</i> .....	57
<b>Gambar 4. 19</b>	Energi <i>band gap</i> pada material TiO <sub>2</sub> pada pH 9, pH 10, dan pH 11 .....	58
<b>Gambar 4. 20</b>	Energi <i>band gap</i> nanokomposit TiO <sub>2</sub> /GQDs pH 9, pH 10, dan pH 11 .....	59
<b>Gambar 4. 21</b>	Spektrum PL nanokomposit TiO <sub>2</sub> /GQDs pada pH 9, pH 10, dan pH 11 .....	60
<b>Gambar 4.22</b>	Pengamatan vsual larutan methylene blue setelah uji fotokatalisis berdasarkan pH dengan (a) TiO <sub>2</sub> pH 9, (b) TiO <sub>2</sub> pH 10, (c) TiO <sub>2</sub> pH 11, (d) TiO <sub>2</sub> /GQDs pH 9, (e) TiO <sub>2</sub> /GQDs pH 10, (f) TiO <sub>2</sub> /GQDs pH 11.....	61
<b>Gambar 4. 23</b>	Kurva nilai absorbansi TiO <sub>2</sub> dan nanokomposit TiO <sub>2</sub> /GQDs pada variasi pH basa terhadap <i>methylene blue</i> .....	62
<b>Gambar 4. 24</b>	Diagram batang nilai absorbansi TiO <sub>2</sub> dan nanokomposit TiO <sub>2</sub> /GQDs pada variasi pH basa terhadap <i>methylene blue</i> .....	62
<b>Gambar 4. 25</b>	Grafik nilai persentase degradasi TiO <sub>2</sub> dan nanokomposit TiO <sub>2</sub> /GQDs pada variasi pH basa terhadap <i>methylene blue</i> .....	64
<b>Gambar 4. 26</b>	Kurva nilai persentase degradasi TiO <sub>2</sub> dan nanokomposit TiO <sub>2</sub> /GQDs pada variasi pH basa terhadap <i>methylene blue</i> .....	65
<b>Gambar 4. 27</b>	Grafik konsentrasi <i>methylene blue</i> terhadap waktu sesuai kinetika <i>zero order</i> .....	66
<b>Gambar 4. 28</b>	Grafik ln C terhadap waktu sesuai kinetika <i>first order</i> .....	67
<b>Gambar 4. 29</b>	Grafik 1/C terhadap waktu sesuai kinetika <i>second order</i> .....	67
<b>Gambar 4. 30</b>	<i>Wavelength</i> TiO <sub>2</sub> dan TiO <sub>2</sub> /GQDs pada variasi pH Basa.....	68

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat fisika TiO <sub>2</sub> .....	7
Tabel 2. 2 Karakteristik fasa-fasa di dalam struktur kristal TiO <sub>2</sub> .....	9
Tabel 2. 3 Sifat dan Koordinat Energi Celah Pita TiO <sub>2</sub> .....	10
Tabel 2. 4 Sifat Fisika dan Kimia TiCl <sub>3</sub> .....	11
Tabel 2. 5 Sifat Fisika dan Kimia TiCl <sub>4</sub> .....	12
Tabel 2. 6 Sifat Fisika dan Kimia TTIP ( <i>Material Safety Data Sheet</i> ).....	12
Tabel 2. 7 Pengaruh dosis MB terhadap makhluk hidup.....	17
Tabel 2. 8 Kajian penelitian sebelumnya.....	18
Tabel 3. 1 Informasi hasil pengujian XRD .....	35
Tabel 3. 2 Rancangan Penelitian.....	38
Tabel 3. 3 Jadwal Penelitian .....	39
Tabel 4. 1 Hasil perhitungan nilai ukuran kristal dari sampel TiO <sub>2</sub> dengan variasi pH basa .....	42
Tabel 4. 2 Gugus Fungsi dan nilai <i>wavenumber</i> TiO <sub>2</sub> .....	45
Tabel 4. 3 Gugus Fungsi dan nilai <i>wavenumber</i> Grafit, <i>Graphene Oxide</i> , dan <i>Graphene Quantum Dots</i> .....	46
Tabel 4. 4 Gugus fungsi dan nilai <i>wavenumber</i> nanokomposit TiO <sub>2</sub> -2/GQDs.....	47
Tabel 4. 5 Komposisi unsur pada nanokompost TiO <sub>2</sub> /GQDs pH 9 .....	52
Tabel 4. 6 Komposisi unsur pada nanokompost TiO <sub>2</sub> /GQDs pH 10.....	53
Tabel 4. 7 Komposisi unsur pada nanokompost TiO <sub>2</sub> /GQDs pH 11 .....	53
Tabel 4. 8 Hasil pengujian BET.....	54
Tabel 4. 9 Nilai absorbansi <i>methylene blue</i> .....	57
Tabel 4. 10 Hasil perhitungan energi <i>band gap</i> .....	59
Tabel 4. 11 Hasil perhitungan energi <i>band gap</i> .....	59
Tabel 4. 12 Nilai absorbansi larutan <i>methylene blue</i> setiap katalis sampel katalis.....	61
Tabel 4. 13 Nilai konsentrasi (ppm) larutan <i>methylene-blue</i> di setiap sampel .....	63
Tabel 4. 14 Nilai persentase degradasi larutan <i>methylene blue</i> di setiap sampel .....	64
Tabel 4. 15 Perbandingan kinetika degradi <i>methylene blue</i> sesuai <i>zero order</i> , <i>first order</i> , dan <i>second order</i> .....	67
Tabel 4. 16 Tabulasi hasil pengujian .....	69

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dunia tidak terlepas dari industri tekstil, karena industri tekstil merupakan salah satu sumber Pembangunan sosial dan ekonomi yang penting bagi banyak negara terutama Indonesia. Menurut data statistik kementerian perindustrian tekstil mengalami pertumbuhan yang signifikan, yaitu sebesar 20.71% pada tahun 2019. Semakin bertambahnya produksi tekstil di dunia dan di Indonesia, ini akan memberi efek juga kepada kondisi air. Tekstil merupakan salah satu industri yang menggunakan berbagai bahan kimia beracun.

Diperkirakan bahwa tahun 2050, 9.2 miliar orang akan menghadapi tantangan air, energi, dan pangan, yang dimana 70% nya merupakan perkiraan populasi global (Rasul et al, 2014). Sepertiga populasi global akan menghadapi masalah kelangkaan minuman dan air bersih (Hajkowicz et al, 2012) dan diperkirakan akan meningkat 40% pada tahun 2030 (Hoff, 2011). Sehingga perlu dilakukan pengolahan untuk air limbah untuk mengatasi hal tersebut.

Salah satu limbah industri tekstil yang dihasilkan ialah *methyletilene blue*, bahan ini sering digunakan untuk industri tekstil sebagai pewarna tekstil. Apabila limbah ini dibuang secara sembarangan, limbah ini dapat mencemari perairan di Indonesia. *Methyletilene blue* memiliki sifat toksisitas yang tinggi, sehingga cukup berbahaya jika air yang tercemari oleh polutan tersebut dikonsumsi oleh manusia (Safardoust-hojaghan & Salavati-niasari, 2017). Sehingga perlu dilakukan upaya untuk mengurai *methyletile blue* sebelum dibuang. Salah satu alternatif yang bisa dilakukan ialah penggunaan mekanisme atau prinsip fotokatalitik. Fotokatalitik adalah kombinasi dari proses fotokimia dan katalisis yang prosesnya diawali dengan perpindahan elektron dari pita valensi ke pita konduksi dengan menggunakan bahan semikonduktor sehingga nantinya terbentuk pasangan elektron dan lubang positif (Fauzi, 2022). Pada proses fotokatalitik terjadi reaksi reduksi dan oksidasi yang menghasilkan radikal hidroksil (OH) secara simultan yang berfungsi sebagai agen untuk mendegradasi polutan. Fotokatalitik baik digunakan untuk mendegradasi polutan karena sumber energi yang mudah didapatkan yaitu melalui pemanfaatan cahaya matahari dan juga oksida fotokatalis yang dapat mengubah senyawa berbahaya dan beracun menjadi senyawa yang tidak berbahaya, seperti CO<sub>2</sub> menjadi H<sub>2</sub>O (Fauzi, 2022).

Salah satu material semikonduktor yang sering digunakan ialah titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) (Prastiwi et al., 2017). TiO<sub>2</sub> memiliki sifat yang memenuhi syarat sebagai fotokatalitik. Sifat yang dimiliki material ini ialah memiliki energi celah pita (*bandgap energy*) yang besar sebesar 3.2 eV – 3.8 eV, luas permukaan yang besar, aktivitas fotokatalis yang responsif, bersifat non-toksik, harga yang relatif murah, dan memiliki termal yang tinggi serta ramah lingkungan. Namun, terdapat pula kekurangan pada material ini yang dapat menghambat proses fotokatalitik seperti respon optik yang rendah terhadap energi foton di dalam rentang cahaya tampak dan cenderung terjadi aglomerasi serta seringnya terjadi reaksi rekombinasi yang sangat cepat dan menghasilkan efisiensi kuantum rendah (Fauzi, 2022). Sehingga perlu dilakukan pengkompositan atau penambahan dopan yang dapat mengatasi kekurangan dari material ini.

Untuk mengatasi kekurangan yang terdapat di material TiO<sub>2</sub> perlu dilakukan penambahan material yang dapat mengatasi kekurangan material semikonduktor tersebut atau bisa dilakukan dengan memodifikasi morfologi TiO<sub>2</sub> seperti dari nanopartikel menjadi nanotube dan mengkompositkan dengan material lain. Salah satu material yang dapat digunakan ialah *graphene quantum dots* (GQDs). Material GQDs memiliki sifat yang stabil baik fisik dan kimia, toksisitas rendah, biokompatibilitas yang baik, serta biayanya yang relatif murah (Selvakumar et al., 2022). GQDs dapat memberi fungsionalitas yang baik untuk penyerapan cahaya dan fotoluminesensi karena sifat optiknya yang dapat disesuaikan hanya dengan mengubah ukuran

yang dapat mengatasi kekurangan  $\text{TiO}_2$  dalam penyerapan cahayanya yang rendah (Özönder et al., 2022). Selain itu, permasalahan aglomerasi yang terjadi pada  $\text{TiO}_2$  dapat dilakukan mendispersikannya ke dalam matriks polimer alami atau sintesis material yang dapat diatasi dengan penggunaan GQDs pada material semikonduktor  $\text{TiO}_2$  (Bungan et al., 2021) Kemudian, untuk mengatasi kekurangan  $\text{TiO}_2$  pada rekombinasi elektron yang sangat cepat dapat dilakukan perubahan fase ataupun morfologi pada  $\text{TiO}_2$ . Hal ini bisa dilakukan dengan memvariasikan pH larutan yang diberikan pada saat sintesis  $\text{TiO}_2$  dari prekursor  $\text{TiCl}_3$  (Widianti & Industri, 2015). Tujuan dari pemberian variasi pH terhadap fase dan morfologi  $\text{TiO}_2$  ini untuk memperkecil ukuran kristal dari  $\text{TiO}_2$  sehingga dapat mengurangi *defect* yang dapat mempengaruhi keseimbangan dari elektron yang mampu mengubah material semikonduktor menjadi material konduktor karena adanya aliran elektron.

Dari penelitian sebelumnya dilakukan Hojaghan et al, 2017 dilakukan penelitian degradasi *metyhlene blue* dengan N-Doped GQDs/ $\text{TiO}_2$  dengan cara mensintesis GQDs dengan dopan Nitrogen dengan metode hidrothermal yang kemudian N-GQDs dikompositkan dengan  $\text{TiO}_2$  (menggunakan P25  $\text{TiO}_2$ ). Pada penelitian ini dilakukan degradasi metyhlene blue dalam larutan air, kemudian diradiasi dengan sinar UV. Hasil penelitian ini menunjukkan nanokomposit yang diolah menunjukkan perilaku fotodegradasi yang sangat baik terhadap methylene blue di bawah sinar UV dan efisiensi fotodegradasi yang didapatkan sebesar 85% dibandingkan dengan nanopartikel  $\text{TiO}_2$  murni. Pada penelitian ini akan melakukan sintesis  $\text{TiO}_2$  dengan penggunaan prekursor  $\text{TiCl}_3$  dan memvariasikan penambahan pH larutan untuk menentukan fase dan morfologi dari  $\text{TiO}_2$  kemudian dikompositkan dengan *graphine quantum dots* untuk mengatasi kekurangan dari  $\text{TiO}_2$  sendiri yang bertujuan untuk mendegradasi polutan *methyletilene blue* hasil dari limbah tekstil.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, terdapat permasalahan yang akan dibahas pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh pH basa terhadap karakterisasi-material  $\text{TiO}_2$  dari prekursor  $\text{TiCl}_3$ ?
2. Bagaimana karakteristik dan properti komposit  $\text{TiO}_2$ /GQDs untuk aplikasi fotokatalis?
3. Bagaimana aktivitas katalitik komposit  $\text{TiO}_2$ /GQDs terhadap degradasi polutan *methyletilene-blue*?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini antara lain sebagai berikut:

1. Konsentrasi *methylene blue* dianggap sama
2. Fluktuasi temperature *furnace* diabaikan
3. Tekanan dan temperature udara sekitar dianggap konstan
4. Material *loss* dianggap tidak ada pada saat reaksi
5. Kecepatan *stirring* dianggap konstan

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Analisis pengaruh pH basa terhadap karakterisasi material  $\text{TiO}_2$  dari prekursor  $\text{TiCl}_3$
2. Analisis pengaruh penambahan GQDs terhadap karakteristik nanokomposit material  $\text{TiO}_2$ /GQDs
3. Analisis aktivitas katalitik komposit  $\text{TiO}_2$ /GQDs terhadap degradasi polutan *methylene blue*

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberi ilmu pengetahuan terkait bagaimana mengatasi limbah cair dari perusahaan tekstil berupa *methylene blue*.
2. Memberikan informasi dan rujukan terkait proses sintesis  $\text{TiO}_2$  dari prekursor  $\text{TiCl}_3$ , GQDs, dan komposit  $\text{TiO}_2/\text{GQDs}$

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Fotokatalis

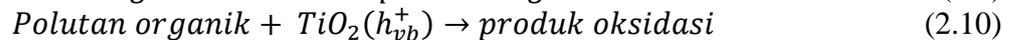
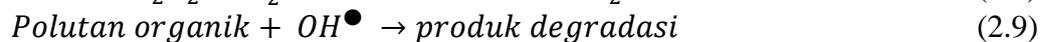
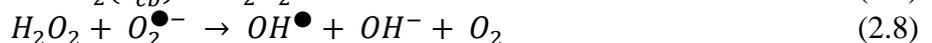
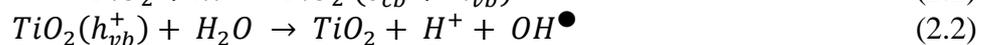
Fotokatalis merupakan proses transformasi kimia dengan adanya katalis dan bantuan cahaya untuk melaksanakan prosesnya. Dalam prosesnya fotokatalis melibatkan elektron-hole ( $e^-$  dan  $h^+$ ). Seperti namanya fotokatalis, menggunakan foton atau cahaya untuk dimanfaatkan untuk mengaktifkan katalis yang kemudian bereaksi dengan senyawa kimia yang berada di dekat ataupun di permukaan katalis. Namun, sumber cahaya yang digunakan harus lebih besar dari celah energi material semikonduktor yang digunakan. Hal ini bertujuan agar suatu material dapat menghasilkan elektron dan hole yang nantinya bisa mendegradasi senyawa-senyawa organik dan anorganik (Sutanto & Wibowo, 2015).

Fotokatalis bisa digunakan untuk penjernihan air (*water splitting*) dari suatu limbah atau polutan yang terkandung di dalamnya. Hasil dari fotokatalis ini ialah pasangan elektron di pita konduksi ( $e^-$ ) dan hole di pita valensi ( $h^+$ ). Muatan ini akan mengalami reaksi reduksi oksidasi (redoks) dan menghasilkan spesies aktif reaktif seperti radikal hidroksil (OH), radikal superoksida ( $O_2^{\bullet-}$ ). Setelah itu hasil spesies aktif reaktif ini akan bereaksi dengan Sebagian besar senyawa organik yang berbahaya dan mengubah menjadi senyawa yang tidak berbahaya atau dengan kata lain termineralisasi menjadi  $CO_2$  dan  $H_2O$ . Seperti pada penelitian ini, fotokatalis akan dimanfaatkan untuk penjernihan air limbah dari pencemaran polutan *methylene blue* menjadi senyawa-senyawa yang tidak berbahaya (Sutanto & Wibowo, 2015).

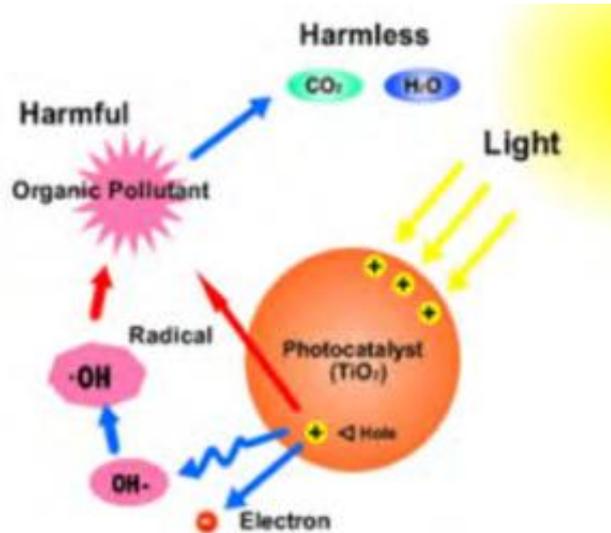
Pada dasarnya proses fotokatalis bisa terjadi ketika ada foton dengan energi  $h\nu$  yang sama atau melebihi jumlah energi celah pita yang dimiliki material katalis tersebut, lalu elektron dari pita valensi akan tereksitasi ke pita konduksi meninggalkan hole positif sehingga menghasilkan pasangan elektron-hole. Sebagian besar pasangan elektron-hole akan berekombinasi kembali. Namun, Sebagian yang lain dari pasangan tersebut dapat bertahan sampai di permukaan semikonduktor dan mengalami reaksi redoks terhadap molekul yang teradsorpsi pada permukaan fotokatalis. Sehingga, hole dapat menginisiasi reaksi oksidasi dan di lain pihak elektron akan menginisiasi reaksi reduksi zat kimia yang terdapat pada sekitar permukaan semikonduktor (Sutanto & Wibowo, 2015).

Lalu reaksi oksidasi terjadi pada saat elektron yang tereksitasi berdifusi ke permukaan katalis. Lalu ( $h^+$ ) bereaksi dengan permukaan  $H_2O$  atau  $OH^-$  untuk menghasilkan radikal hidroksil (OH) dan reduksi terjadi saat pita konduksi bereaksi dengan oksigen untuk menghasilkan anion radikal super (Sutanto & Wibowo, 2015).

Reaksi fotokatalis bisa terjadi pada material  $TiO_2$  yang reaksinya dapat dilihat sebagai berikut.



Muatan yang ada pada material  $\text{TiO}_2$  ( $e_{cb}^- + h_{vb}^+$ ) mengalami rekombinasi.  $h_{vb}^+$  bereaksi dengan spesies oksidatif ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{OH}^-$ , dan polutan organik), sedangkan  $e_{cb}^-$  bereaksi dengan spesies reduktif ( $\text{O}_2$ ) dalam larutan. Hasil dari kombinasi ini terbentuk senyawa radikal hidroksil ( $\text{OH}^\bullet$ ), dan juga senyawa anion radikal superoksida ( $\text{O}_2^{\bullet-}$ ) serta terbentuk radikal hidroperoksil ( $\text{HOO}^\bullet$ ) pada bagian permukaan material fotokatalis. Hasil dari reaksi ini dapat mendegradasi polutan organik (Maulana, 2022). Degradasi senyawa organik menggunakan proses



**Gambar 2. 1** Degradasi senyawa organik oleh proses fotokatalis  $\text{TiO}_2$  (Schiavello, 1997)

Material fotokatalis biasanya menggunakan material semikonduktor karena banyak kelebihan yang dimilikinya seperti proses mineralisasi yang lengkap, biaya relative murah, dan dapat digunakan pada tekanan dan temperature rendah. Namun, material semikonduktor yang digunakan juga memiliki kriteria tertentu agar bisa diaplikasikan untuk fotokatalis seperti bersifat fotoaktif, dapat terjadi fotoinduksi pada rentang penyinaran cahaya tampak atau uv, inert secara kimia dan biologi, bersifat stabil terhadap fotokorosi, serta tidak memiliki toksisitas (Maulana, 2022).

Selain  $\text{TiO}_2$ , terdapat material semikonduktor lainnya yang dapat digunakan dalam fotokatalis. Material semikonduktor yaitu Zinc Oxide ( $\text{ZnO}$ ) dan Cadmium Sulfide ( $\text{CdS}$ ). Pada penggunaan  $\text{ZnO}$  dapat digunakan pada fotokatalis, namun terdapat kekurangan dalam penggunaannya yaitu lebih muda mengalami korosi dibandingkan  $\text{TiO}_2$  dan dapat menjadi toksik pada konsentrasi tinggi (Geldasa et al., 2023). Kemudian pada penggunaan  $\text{CdS}$ , karena menggunakan kadmium yang merupakan logam berat dan beracun sehingga mempengaruhi toksisitas pada materialnya (Nagamine et al., 2020). Sehingga dapat disimpulkan  $\text{TiO}_2$  merupakan material semikonduktor terbaik yang dapat digunakan dalam pengaplikasiannya sebagai fotokatalis.

## 2.2 $\text{TiO}_2$

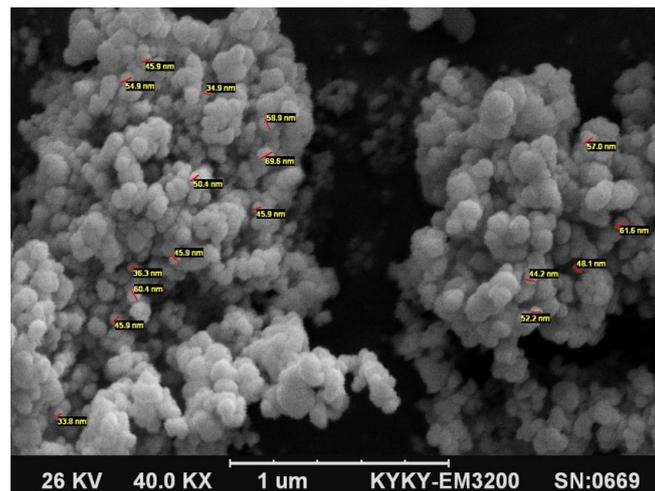
Titanium Oksida ( $\text{TiO}_2$ ) merupakan material yang sering digunakan karena sifatnya yang kuat untuk pengoksida yang kuat, tidak beracun, dan sifatnya yang stabil.  $\text{TiO}_2$  memiliki sifat optik yang baik dan mempunyai nilai celah pita energi yang lebar 3.2 eV yang hanya bisa digunakan aktif pada saat dipaparkan cahaya ultraviolet membentuk radikal hidroksil sebagai bahan fotokatalis (Alma, 2021). Sifat fisika dari  $\text{TiO}_2$  dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

**Tabel 2. 1** Sifat fisika TiO<sub>2</sub> (Alma, 2021).

No	Sifat	Nilai
1	Densitas	4 g.cm <sup>-3</sup>
2	Porositas	0%
3	Modulus shear	90 Gpa
4	Elastisitas	23 Gpa
5	Resisvitas (25 <sup>0</sup> C)	10 <sup>12</sup> Ω.cm
6	Resisvitas (700 <sup>0</sup> C)	2,5×10 <sup>4</sup> Ω.cm
7	Konstanta dielektrik 1 MHz	85 Volt/mil
8	Ekspansi termal RT- 1000 <sup>0</sup> C	9 × 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
9	Konduktivitas termal 25 <sup>0</sup> C	11,7 WmK <sup>-1</sup>

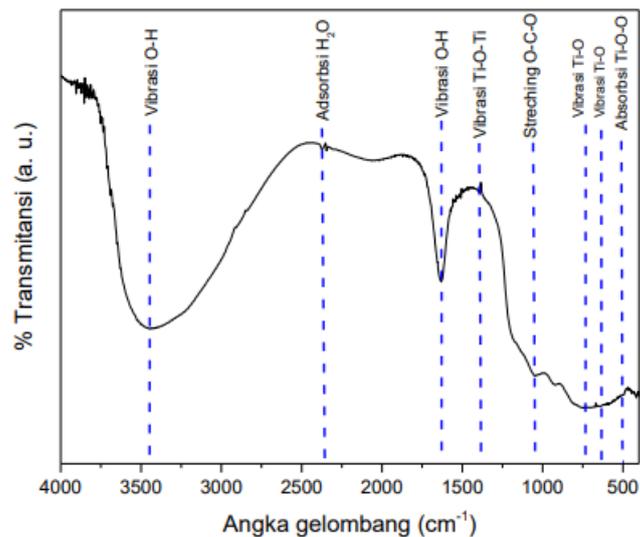
TiO<sub>2</sub> memiliki peranan penting dalam dunia fotokatalis karena memiliki banyak kelebihan. Kelebihan TiO<sub>2</sub> antara lain seperti memiliki sifat optik yang baik, tidak memiliki toksisitas, fotokatalitik yang baik, banyak ditemukan, tidak larut dalam air, energi celah pita yang besar untuk fase anatase, luas permukaan yang besar, cukup ramah lingkungan, sifatnya yang stabil, biokompatibilitas yang baik, serta ketahanan terhadap bahan kimia yang tinggi. Dalam pengaplikasian TiO<sub>2</sub> biasanya digunakan untuk penjernih air (*water-splitting*), penghasil hidrogen dan pemutusan ikatan air, sel surya, dan masih banyak lainnya (Fauzi, 2022).

Morfologi TiO<sub>2</sub> berbentuk *spherical* dan cenderung memiliki aglomerat (Saud & Al-Taweel, 2016).



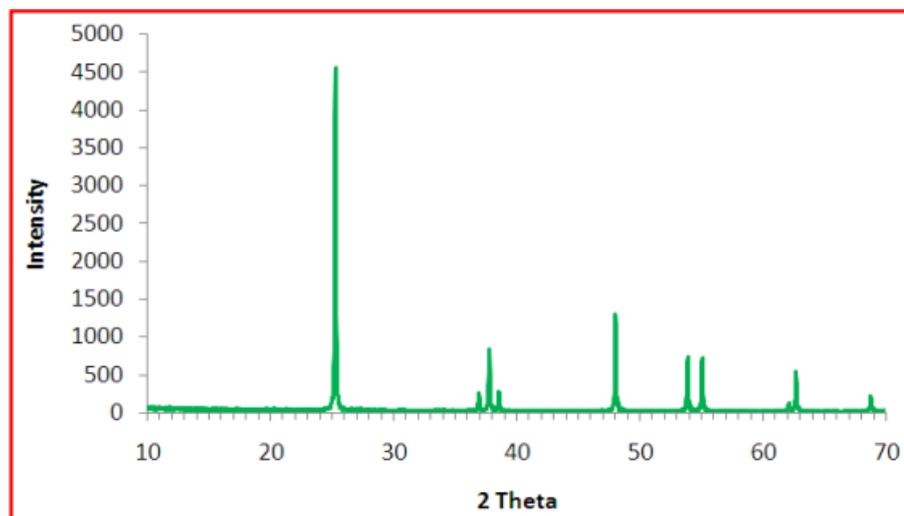
**Gambar 2. 2** Hasil Uji SEM TiO<sub>2</sub> (Saud & Al-Taweel, 2016)

Observasi gugus fungsi dilakukan untuk mengetahui kandungan yang terdapat pada TiO<sub>2</sub> dengan menggunakan FTIR seperti pada **gambar 2.2**. Adapun rentang *wavenumber* (cm<sup>-1</sup>) yaitu 400 – 4000. Hasil karakterisasi FTIR TiO<sub>2</sub> menunjukkan terdapat vibrasi atom Ti-O pada bilangan gelombang 633 cm<sup>-1</sup> dan 732 cm<sup>-1</sup>, pada bilangan gelombang 1400 cm<sup>-1</sup> terdapat vibrasi atom Ti-O-Ti, dan terdapat absorpsi Ti-O-O pada bilangan gelombang 503 cm<sup>-1</sup>. Pada bilangan gelombang 1047 cm<sup>-1</sup> terdapat regangan O-C-O. Terdapat vibrasi O-H terdapat pada bilangan gelombang 1632 cm<sup>-1</sup> dan 3368 cm<sup>-1</sup>. Kemudian terjadi adsorpsi H<sub>2</sub>O terdapat pada *wavenumber* 2377 cm<sup>-1</sup> (Listanti et al., 2018).



**Gambar 2. 3** FTIR dari TiO<sub>2</sub> (Listanti et al., 2018)

Pola XRD dari TiO<sub>2</sub> Pola XRD eksperimental sesuai dengan kartu JCPDS nomor 21-1272 (anatase TiO<sub>2</sub>). Nilai 2θ pada puncak 25,4° mengkonfirmasi struktur anatase TiO<sub>2</sub>. Puncak difraksi kuat pada 25° dan 48° mengindikasikan TiO<sub>2</sub> dalam fase anatase. Puncak 2θ pada 25,27° dan 48,01° mengkonfirmasi struktur anatasesnya (Theivasanthi & Alagar, 2013).



**Gambar 2. 4** Pola Difraksi TiO<sub>2</sub> (Theivasanthi & Alagar, 2013)

### 2.2.1 Struktur Kristal TiO<sub>2</sub>

Struktur kristal (polimorf) dari TiO<sub>2</sub> dibagi menjadi tiga jenis, yaitu anatase, rutil, dan brookite. Anatase dan rutil memiliki polimorf yang tetragonal, tetapi berbeda dalam kelompok ruangnya (*space group*). Sedangkan brookite merupakan polimorf orthorombik. Rutil memiliki P4(2)/mmn dengan dua unit TiO<sub>2</sub> dalam unit selnya, sedangkan anatase memiliki grup ruang IA(1)/amd dengan empat unit dalam satu unit sel (Zhang et al, 1999). Untuk fasa anatase memiliki celah pita 3.2 eV dan rutil memiliki fase 3.02 eV, fase anatase memiliki celah pita yang lebih besar dibanding rutil. Lalu untuk reaktifitas dalam proses fotokatalisnya juga

anatase memiliki potensi yang lebih besar karena memiliki struktur kisi yang lebih sesuai dengan aktivitas fotokatalis yang tinggi.

Anatase memiliki celah pita yang lebih besar dari pada rutile. Namun, anatase dapat meningkatkan pita valensi ke maksimum ke tingkat energi yang lebih tinggi relatif terhadap potensial redoks molekul teradsorpsi. Hal ini dapat meningkatkan kekuatan oksidasi elektron dalam melakukan transfer elektron dari  $TiO_2$  ke molekul yang teradsorpsi.

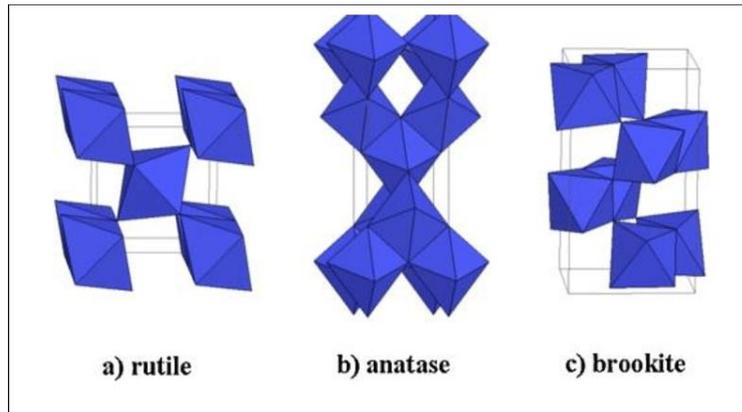
Selain polimorf, proses adsorpsi molekul dan transfer muatan juga tergantung oleh sifat permukaan. Jika suatu material memiliki permukaan yang berbeda maka akan menghasilkan celah pita yang berbeda juga. Sifat suatu permukaan material dikategorikan berdasarkan efek kimia (struktur koordinasi permukaan yang berperan untuk mengontrol adsorpsi molekul), lalu dari struktur elektronik (permukaan yang terinduksi adsorbat seperti hidroksil yang mungkin menjadi penting untuk menangkap muatan dan pemisahannya di permukaan), permukaan juga dikategorikan melalui interkasi molekul dengan permukaan yang cacat, lalu perbedaan potensial permukaan (dapat diukur dalam vakum atau potensial pita datar dalam larutan).

Terbentuknya struktur kristal dari  $TiO_2$  ini dapat terjadi karena pengaruh pH. Derajat keasaman yang tinggi dalam larutan medium dapat menghasilkan  $TiO_2$  dengan fase rutile, sedangkan derajat keasaman yang rendah dapat membentuk fase anatase (Ibrahim et al., 2022). Hal ini dijelaskan dengan menggunakan konsep model muatan parsial, di mana konsep ini menjelaskan hidrolisis kation titanium terjadi pada kondisi keasaman yang kuat. Pada kondisi ini  $[Ti(OH)(OH_2)_5]^{3+}$  akan terbentuk, tetapi karena adanya muatan positif dari gugus hidroksil, maka spesies tersebut tidak terbentuk. Ketika kadar keasaman tidak cukup rendah untuk menstabilkan prekursor ini, akan terjadi deprotonasi untuk membentuk spesies baru  $[Ti(OH)_2(OH_2)_5]^{2+}$ . Namun, spesies ini juga tidak terjadi kondensasi karena oksolasi intramolekul spontan yang membentuk  $[TiO(OH_2)_5]^{2+}$ . Selanjutnya, kondensasi anatase dan rutile dimulai ketika aktivitas larutan aktif cukup untuk terjadi deprotonasi lebih lanjut menjadi  $[TiO(OH)(OH_2)_4]^+$ , yang mana ini dapat mengalami deoksolasi intramolekul  $[TiO(OH)_3(OH_2)_3]^+$  tergantung derajat keasaman. Pada pH rendah tidak terjadi deoksolasi, tetapi terjadi oksolasi yang menyebabkan pertumbuhan linier sepanjang bidang ekuator kation. Reaksi ini membentuk fase rutile karena oksolasi yang beada pada antara rantai linier yang dihasilkan. Sedangkan pada pH yang tinggi, ketika terjadi deoksolasi, kondensasi dapat terjadi di sepanjang arah apikal yang menuju ke rantai struktur anatase. Dapat disimpulkan bahwa pH memengaruhi pembentukan struktur kristal dengan keasaman yang tinggi mendorong pembentukan rutile dan keasaman yang lebih rendah menyebabkan pembentukan anatase (Ibrahim et al., 2022).

Berikut merupakan karakteristik dasar dari fasa-fasa yang terdapat pada struktur kristal  $TiO_2$ .

**Tabel 2. 2** Karakteristik fasa-fasa di dalam struktur kristal  $TiO_2$  (Fauzi, 2022)

Sifat	Anatase	Rutile	Brookite
Bentuk kristal	Tetragonal	Tetragonal	Orthorombik
Energi celah pita	3.2	3.02	Tidak tersedia
Banyaknya $TiO_2$ (unit cell)	4	2	8
Volume per $TiO_2$ ( $nm^3$ )	0.03407	0.03122	0.03211
Massa jenis teoritis ( $Kg/m^3$ )	3895	4250	4133
Tingkat kekerasan (Mpa)	5.5-6	7-7.5	5.5-6



**Gambar 2. 5** Struktur Kristal TiO<sub>2</sub> (Fauzi, 2022)

### 2.2.2 Sifat Optik

Pada TiO<sub>2</sub> memiliki celah pita energi yang berbeda pada anatase dan rutile. Pada anatase memiliki celah pita energi tidak langsung, sedangkan pada rutile memiliki celah pita energi langsung. Celah pita energi langsung adalah kondisi di mana titik maksimum pita valensi berada tepat di bawah titik minimum pita konduksi. Jika dilihat dari celah pita, cahaya foton lebih besar tersepat pada celah pita energi langsung dibandingkan celah pita tidak langsung karena elektron yang tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi terjadi langsung tanpa melibatkan absorpsi foton (Fauzi, 2022).

Dari penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya untuk sifat elektronik dan optik dari polimorf TiO<sub>2</sub> rutile didapatkan sebesar 3,3±0,5 eV (photoemission spektroskopi (PES) dan photoemission spektroskopi (IPES), 3,6±0,2 eV (PES dan IPES untuk rutile pada permukaan. Dari penelitian Hardman dkk, melaporkan pengukuran pita valensi rutile sepanjang  $\Gamma$ - $\Sigma$ -X dan  $\Gamma$ - $\Sigma$ -M secara langsung oleh PES, sedangkan untuk anatase dan brookite, tidak ada pengukuran celah pita elektronik. Energi celah pita optik pada fase rutile ~3.0 eV, pada fase anatase ~3.4 eV, dan pada fase brookite ~3.3 eV (Fauzi, 2022).

Energi celah pita dapat diukur juga dengan menggunakan *density functional theory* (DFT). DFT+U adalah metode yang digunakan untuk melakukan koreksi terhadap akurasi DFT. Pada perhitungan DFT+U didapatkan celah pita TiO<sub>2</sub> fasa anatase bersifat *indirect bandgap*.

**Tabel 2. 3** Sifat dan Koordinat Energi Celah Pita TiO<sub>2</sub> (Fauzi, 2022)

	Sifat	Koordinat	Energi struktur pita
U0eV	<i>Indirect</i>	M dan $\Gamma$	2.0 eV
U+3eV	<i>Indirect</i>	M dan $\Gamma$	2.5 eV
U+5eV	<i>Indirect</i>	M dan $\Gamma$	2.7 eV
U+7eV	<i>Indirect</i>	M dan $\Gamma$	3.2 eV

Jika, dilihat dari tabel tersebut celah pita terpendek terbentuk diantara koordinat M dan  $\Gamma$  dengan besar celah 2.0 eV. Pada fasa anatase sifat *direct bandgap* dapat dilihat besar celah terpendek sebesar 2.1 eV. Nilai bandgap direct lebih besar daripada bandgap indirect, yang menunjukkan bahwa dalam fasa anatase TiO<sub>2</sub> dengan nilai Hubart U 0 eV, band gapnya bersifat *indirect*. *Band gap* dari fotokatalis seharusnya lebih besar daripada energi minimum yang dibutuhkan untuk reaksi redoks dari pewarna. Sifat *band gap* ini akan memengaruhi tingkat absorpsi terhadap cahaya dan tingkat rekombinasi antara elektron dan lubang. Bahan dengan *band gap direct* akan memiliki tingkat absorpsi yang tinggi dengan tingkat rekombinasi yang tinggi juga, sementara bahan dengan *band gap indirect* umumnya akan memiliki tingkat

absorpsi yang lebih rendah dengan tingkat rekombinasi yang lebih rendah. Energi struktur bandgap pada fasa  $\text{TiO}_2$  adalah sebesar 3,20 eV (Fauzi, 2022).

### 2.2.3 Nanopartikel

Dari penelitian sebelumnya yang telah dilakukan,  $\text{TiO}_2$  dalam fotokatalis lebih efektif dilakukan dengan ukuran nanopartikel daripada dalam ukuran besar. Ukuran nanopartikel yang efektif didapatkan ketika diameter kristalit pada partikel semikonduktor sebesar jari-jari minimal sekitar 10 nm. Nanopartikel memiliki ukuran yang kecil, tetapi memiliki luas area permukaan yang besar, hal ini yang dapat membuat nanopartikel bersifat lebih reaktif (Fauzi, 2022).

Sifat nanopartikel ini berhubungan dengan fenomena kuantum sebagai keterbatasan ruang gerak elektron dan pembawa muatan lainnya dalam partikel. Hal ini akan memberi efek pada beberapa sifat material seperti perubahan warna yang dipancarkan, kekuatan mekanik, transparansi, konduktivitas listrik, dan sifat optik. Perubahan yang terjadi dapat dilihat pada partikel ukuran 100 nm. Selain itu, terdapat fenomena lainnya yang terjadi seperti perubahan rasio jumlah atom yang menempati permukaan terhadap jumlah total atom, hal ini dapat menyebabkan perubahan titik didih, titik beku, dan reaktivitas kimia (Fauzi, 2022).

Jika sifat partikel ukuran dari  $\text{TiO}_2$  diubah menjadi skala nanometer,  $\text{TiO}_2$  akan berwarna transparan dan juga efektif untuk menghalangi radiasi ultraviolet. Untuk meningkatkan kinerja nanopartikel  $\text{TiO}_2$ , dapat dilakukan dengan meningkatkan aktivitas optiknya agar penyerapan cahaya beralih dari UV ke cahaya tampak (*visible*). Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mencapai perbaikan ini, salah satunya adalah dengan melakukan doping nanomaterial  $\text{TiO}_2$  menggunakan unsur-unsur lain. Tujuannya adalah untuk menyempitkan sifat elektroniknya dan mengubah sifat optik nanomaterial  $\text{TiO}_2$ . Ketika nanopartikel  $\text{TiO}_2$  didoping dengan ion logam, ini dapat mempengaruhi fotokatalisis, tingkat rekombinasi pembawa muatan, dan kecepatan transfer elektron di antarmuka. Pergeseran penyerapan terjadi dalam transisi celah pita, atau spektrum penyerapannya bergeser ke tingkat energi yang lebih rendah dengan meningkatnya konsentrasi dopan atau elektron yang terlokalisasi di sekitar dopan tersebut. Pergeseran penyerapan ini disebabkan oleh transisi elektron antara elektron-elektron dari dopan dan pita konduksi  $\text{TiO}_2$ . Akibatnya,  $\text{TiO}_2$  yang telah didoping memiliki keadaan elektronik yang lebih tinggi di atas pita valensinya (Fauzi, 2022).

### 2.2.4 Prekursor Pembentuk $\text{TiO}_2$

Prekursor adalah zat atau bahan kimia tertentu yang digunakan untuk bahan baku untuk melakukan sintesis dengan bahan lainnya. Diperlukan beberapa kriteria untuk bisa menjadi prekursor seperti reaktif, mudah berubah menjadi zat lain, dan mudah menjadi radikal jika diberi perlakuan termal maupun proses kimia.

Prekursor yang dapat digunakan untuk sintesis  $\text{TiO}_2$  adalah  $\text{TiCl}_3$ ,  $\text{TiCl}_4$ , TTIP (Titanium Tetra Isopropoxide). Penggunaan prekursor ini akan memengaruhi morfologi dari  $\text{TiO}_2$  (Uyun, 2015).

Prekursor yang paling banyak digunakan biasanya adalah  $\text{TiCl}_3$  karena cukup murah dan mudah didapatkan dibanding larutan lainnya (Uyun, 2015).  $\text{TiCl}_3$  memiliki sifat kimia yang dapat dilihat pada **Tabel 2.4**.

**Tabel 2. 4** Sifat Fisika dan Kimia  $\text{TiCl}_3$  (Uyun, 2015).

No.	Sifat	Nilai
1.	Massa atom relatif	154,225 (g/mol)
2.	Kelarutan dalam air	Larut (25 <sup>0</sup> C)

3.	Densitas	1,12 g/cm <sup>3</sup>
4.	Titik lebur	425

TiCl<sub>4</sub> juga sering digunakan seperti TiCl<sub>3</sub> karena bahannya yang murah dan juga mudah didapatkan. TiCl<sub>4</sub> bisa digunakan sebagai prekursor karena merupakan senyawa atsiri (volatile). Senyawa ini dapat dimurnikan dengan proses penyulingan dan kemudian dapat dioksidasi menjadi titanium oksida murni. Proses sintesis ini menggunakan metode hidrolisis. TiCl<sub>4</sub> dihidrolisis hingga menghasilkan Ti(OH)<sub>2</sub> dan HCl, kemudian Ti(OH)<sub>2</sub> mengalami perubahan menjadi TiO<sub>2</sub> (Uyun, 2015). TiCl<sub>4</sub> memiliki sifat kimia yang dapat dilihat pada **Tabel 2.5**

**Tabel 2. 5** Sifat Fisika dan Kimia TiCl<sub>4</sub> (Uyun, 2015).

No.	Sifat	Nilai
1.	Massa atom relatif	189,73 (g/mol)
2.	Kelarutan dalam air	-
3.	Densitas	1,73 g/cm <sup>3</sup>
4.	Titik lebur	-24,1 <sup>0</sup> C (-11,4 <sup>0</sup> F)

Dalam sintesis TiO<sub>2</sub> dapat menggunakan prekursor Titanium Tetraisopropoxide (TTIP). TTIP merupakan cairan yang berwarna jerami dan memiliki titik didih 238<sup>0</sup>C pada suhu kamar. TTIP juga bisa disebut sebagai titanium tetraisopropoxide yang merupakan molekul tetra hedral diamagnetic dan salah satu struktur alkoksida yang kompleks (Prabowo, 2019). Sifat kimia dari TTIP dapat dilihat pada **Tabel 2.6**.

**Tabel 2. 6** Sifat Fisika dan Kimia TTIP (*Material Safety Data Sheet*)

No.	Sifat	Nilai
1.	Massa atom relatif	284,26 (g/mol)
2.	Kelarutan dalam air	Hidrolisis
3.	Densitas	9,8 g/cm <sup>3</sup>
4.	Titik lebur	> 15 °C / 59 °

### 2.3 Graphine Quantum Dots

*Graphine Quantum Dots* (GQDs) merupakan blok graphene yang memiliki ukuran melintang dua dimensi (<100 nm) dan memiliki sifat kimia dan biologis yang sangat baik (Zonder et al, 2023). GQDs memiliki sifat fungsionalitas yang baik dalam aplikasi penyerapan cahaya dan fotoluminesensi karena sifat optiknya bisa disesuaikan dengan cara merubah ukuran atau penambahan dopan kimia. Namun, Graphine sendiri masih perlu dipertimbangkan dalam biokompatibilitas dan toksisitasnya, karena di beberapa penelitian yang ada terdapat GQDs yang memiliki biokompatibilitas baik dan juga biokompatibilitas rendah (Zhao et al., 2020). Biasanya Graphine digunakan dalam aplikasi sel surya, semikonduktor, dan juga penyimpanan energi serta penelitian biomedis karena ketersediaan karbon yang melimpah.

Graphene sendiri bergantung pada sumber dan proses untuk sintesisnya, serta gugus fungsinya yang dapat disesuaikan. Hingga saat ini, Graphene disintesis menjadi dua metode utama yaitu pemotongan *top-down* dari sumber karbon yang berbeda, dan sintesis *bottom-up* dari molekul atau polimer organik serta fungsi permukaan atau pasif. Metode *top-down* mengacu pada pengukiran bahan karbon massal menjadi nanopartikel dengan menggunakan pendekatan fisik atau kimia seperti oksidasi asam, elektrokimia, dan hydrothermal. Lalu untuk metode *bottom-up* lebih baik dari metode *top-down* karena memiliki keuntungan yang jelas dalam penyesuaian komposisinya dan sifat fisik Graphine dengan pemilihan prekursor yang baik serta kondisi karbonisasi yang baik (Qu et al., 2014). Lalu untuk mengontrol Graphine

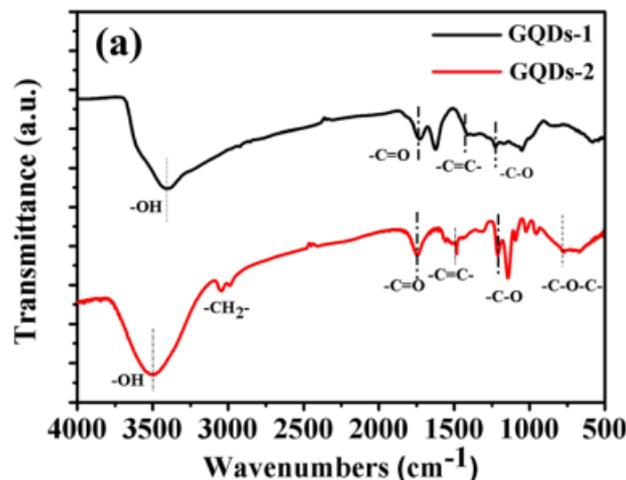
dapat dicapai dengan mengontrol parameter sintesis seperti suhu, tekanan, prekursor karbon, dan pelarut. Selain itu, komposisi Graphine dapat dikontrol dengan penambahan prekursor heteroatom ekstra seperti N, B, S, dan P.

Sumber yang digunakan untuk mensintesis graphine dapat menggunakan graphite. Graphite dibentuk lembaran-lembaran Tunggal graphene. Proses berikutnya graphite dioksidasi menjadi graphite oksida, setelah itu lembaran-lembaran oksida graphite dikelupas dalam air hingga terbentuk graphene oksida. Ikatan yang ada di dalam graphine oksida dapat direduksi kembali hingga habis dan menyisakan lapisan graphene. Hal ini dapat digunakan untuk menjadi prekursor untuk memproduksi graphene dalam skala besar.

Dalam mengubah graphite menjadi graphine dapat dilakukan dengan menggunakan metode Hummers. Metode Hummers dilakukan dengan mengubah reaksi oksidasi menjadi graphite menjadi graphite oksida (Hummers and Offeman, 1958). Oksidasi dilakukan dengan mereaksikan graphite dengan kalium permanganate ( $\text{KMnO}_4$ ) dan natrium nitrat ( $\text{NaNO}_3$ ) dalam larutan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Kelebihan dari penggunaan metode ini ialah proses oksidasi tidak mengeluarkan gas  $\text{ClO}_2$ . Gas ini sangat sensitif dan harus ditangani dengan hati-hati karena gas ini dapat menimbulkan ledakan. Metode ini juga dapat berlangsung dengan cepat pada suhu yang lebih rendah. Hasil yang dihasilkan dari metode Hummers adalah GO yang memiliki tingkat oksidasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan produk akhir dari metode Staudenmaier.

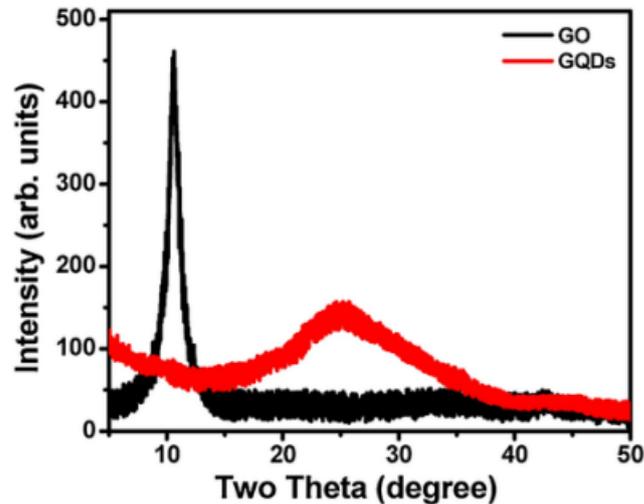
Graphine memiliki kelebihan yakni luas permukaan yang tinggi, stabilitas kimia yang cukup, fabrikasi yang murah, serta dapat membangun perangkat yang efisien. Lembaran graphine yang sudah jadi, selanjutnya dipotong menjadi beberapa nanometer yang kurang dari 10 nm agar bisa menghasilkan sifat fisikokimia yang menarik. Lembaran yang dibawah 10 nm ini disebut Graphine Quantum Dots (GQDs). Sifat yang dihasilkan dari graphene dan kuantum dots ini sangat baik dan bisa digunakan untuk aplikasi optoelektronik, penyimpanan energi, dan aplikasi konversi.

Observasi gugus fungsi dilakukan untuk mengetahui kandungan yang terdapat pada GQDs dengan menggunakan FTIR seperti pada **gambar 2.6**. Karakterisasi FTIR GQDs menunjukkan absorpsi dari gugus karboksil dan gugus hidroksil. Pada GQDs terdapat gugus fungsi C-OH *stretching vibration* yang ada pada rentang  $1.115 \text{ cm}^{-1}$ , terdapat pita absorpsi karakteristik dari senyawa aromatik yakni C-H *stretching vibration* yang ada pada rentang sekitar  $3.000 - 3.100 \text{ cm}^{-1}$  (Fan et al., 2015).



**Gambar 2. 6** FTIR dari GQDs (Fan et al., 2015)

Pola XRD dari GQDs digunakan untuk fase kristal dari GQDs. Pada sintesis *graphene oxide* yang dilakukan menunjukkan puncak difraksi karakteristik pada  $2\theta = 10,58^\circ$  yang sesuai dengan bidang (002). Puncak difraksi berubah ketika GO disintesis menjadi GQDs. Puncak difraksi diamati pada  $2\theta = 25,01^\circ$  sesuai dengan bidang (002) (Ahmed et al., 2018).



Gambar 2. 7 Pola Difraksi GQDs (Ahmed et al., 2018)

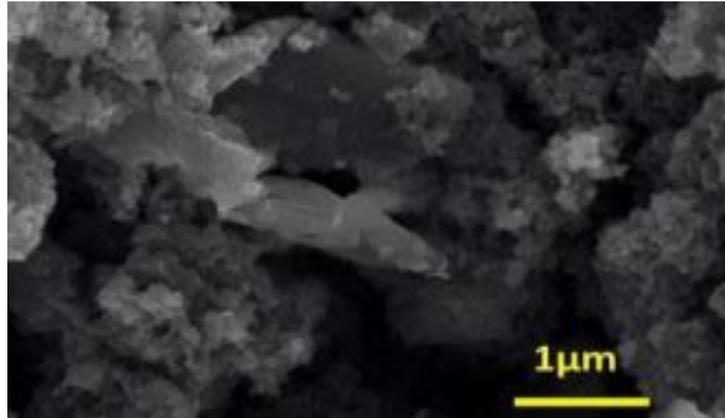
#### 2.4 Nanokomposit TiO<sub>2</sub>/Graphene Quantum Dots

Pada pengaplikasian fotokatalis ini menggunakan material superkonduktor TiO<sub>2</sub> karena sifatnya yang baik dalam fotokatalitik. Namun, TiO<sub>2</sub> memiliki *bandgap* yang besar dan juga terjadi proses rekombinasi yang cepat. Sehingga dilakukan nanokomposit TiO<sub>2</sub> dengan Graphene Quantum Dots untuk mengatasi kekurangannya. Ketika nanopartikel TiO<sub>2</sub> dimodifikasikan dengan Graphene Quantum Dots terjadi perkembangan yang signifikan, seperti memperluas panjang gelombang serapan cahaya, mengontrol rekombinasi elektron-hole, dan membantu membentuk jalur reaksi aktif (Bokare et al., 2021).

Material semikonduktor TiO<sub>2</sub> dikompositkan dengan Graphene Quantum Dots dengan menggunakan metode *physical mixing*. Metode ini dipilih karena persiapannya yang cukup mudah. Metode ini dilakukan dengan cara mencampurkan TiO<sub>2</sub> dengan Graphene Quantum Dots menggunakan *electromagnetic stirrer* selama 1 jam. Selanjutnya, nanokomposit tersebut disonifikasi selama 1 jam dan dilakukan *drying* pada suhu 80°C selama 24 jam.

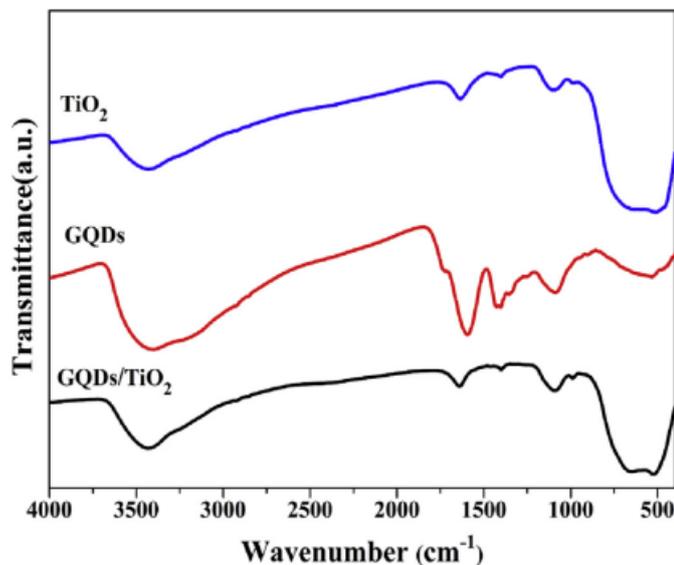
Karakterisasi juga dilakukan pada nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs dengan melakukan uji FTIR dan XRD. Pada hasil uji FTIR ditemukan gugus fungsi O-H *stretching* pada *wavenumber* 3432 cm<sup>-1</sup> lalu diatribusikan pada C-H *stretching*. Gugus fungsi O-C-O pada rentang 1593 cm<sup>-1</sup> dan 1416 cm<sup>-1</sup>. Pada puncak 1090 cm<sup>-1</sup> dan 990 cm<sup>-1</sup> berkaitan dengan ikatan C-O dan gugus epoksi. Kemudian pada pita absorpsi pada 480 – 700 cm<sup>-1</sup> dikaitkan dengan Ti-O-Ti *vibration stretching* dan Ti-O-C (Hao et al., 2016).

Morfologi dari TiO<sub>2</sub>/GQDs dapat dilihat dengan melakukan uji SEM. Uji SEM TiO<sub>2</sub>/GQDs dapat dilihat pada gambar berikut.



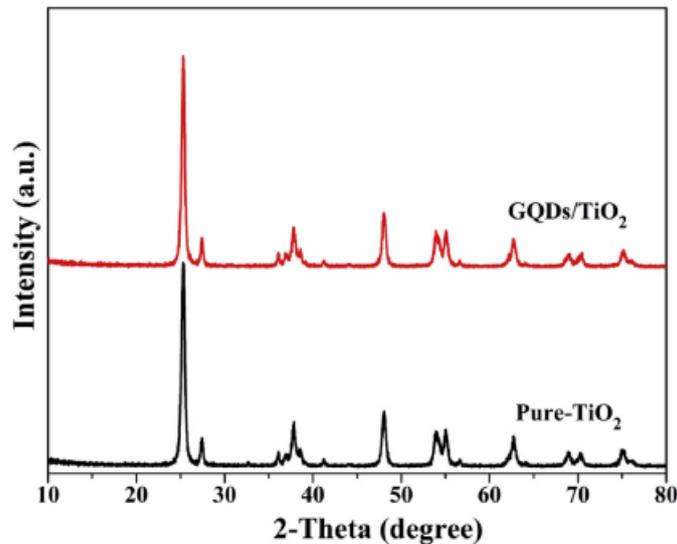
**Gambar 2. 8** Hasil Uji SEM TiO<sub>2</sub>/GQDs (Ali & Al-bahrani, 2020)

Hasil SEM menunjukkan bahwa TiO<sub>2</sub> menyatu membentuk aglomerat yang relatif besar. Aglomerat pada TiO<sub>2</sub> lebih besar dari pada GQDs. Bentuk dari nanokomposit ini terdiri dari lapisan GQDs yang tercampur (Ali & Al-bahrani, 2020).



**Gambar 2. 9** Hasil uji FTIR TiO<sub>2</sub>/GQDs (Hao et al., 2016)

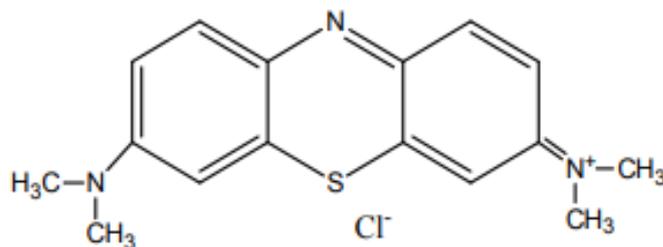
Hasil XRD ditunjukkan pada **gambar 2.8** Puncak-puncak difraksi karakteristik TiO<sub>2</sub> murni menunjukan keberadaan fase anatase (JCPDS # 21-1272) dan rutil (JCPDS # 21-1275). Secara khusus, puncak-puncak yang teramati pada 25.28°, 36.86°, 37.8°, 48.05°, 53.89°, 55.02°, 62.7°, 70.26°, dan 74.92° sesuai dengan berbagai bidang anatase TiO<sub>2</sub> seperti (101), (103), (004), (200), (105), (211), (116), (200), dan (215). Secara penting, pola XRD dari nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs tidak menunjukkan puncak tambahan dibandingkan dengan TiO<sub>2</sub> murni, dan posisi serta intensitas puncak difraksi tidak berubah. Hal ini dengan jelas menunjukkan bahwa penambahan GQDs tidak mempengaruhi struktur kristal atau ukuran TiO<sub>2</sub> (Hao et al., 2016).



**Gambar 2. 10** Pola Difraksi Nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs (Hao et al., 2016)

## 2.5 Lingkungan Limbah

Lingkungan yang tercemar limbah menjadi masalah serius terutama pada masalah pencemaran air. Pencemaran air ini bisa disebabkan oleh industri dari pabrik-pabrik yang membuat begitu saja air limbahnya tanpa dikelola lebih dahulu ke perairan. Salah satu contoh pencemaran lingkungan limbah pada pencemaran air ialah air limbah industri tekstil seperti perusahaan laundry yang rata-rata bisa membuang air limbah berwarna biru-hitam sekitar 15-90 m<sup>3</sup>/hari ke kali yang ada pada wilayah Jakarta Barat (Yudo & Said, 2001). Limbah industri tekstil dapat berasal dari beberapa kegiatan seperti pencucian tekstil, pencelupan dan sistem pewarnaan lainnya. Salah satu contoh limbah lingkungan yang dihasilkan dari industri tekstil ialah *methylene blue*.

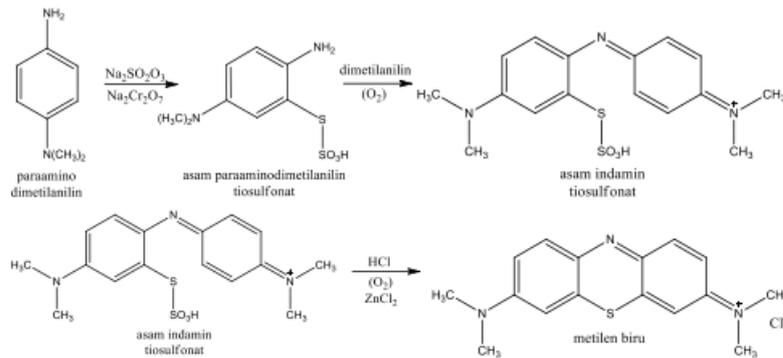


**Gambar 2. 11** Struktur MB (Azizah, 2018).

*Methylene blue* merupakan salah satu senyawa pewarna yang larut dalam air, memiliki sifat kationik dan sering digunakan dalam bidang kimia, biologi, dan juga di industri tekstil. *Methylene blue* (MB) juga merupakan pewarna thiazine kationik yang merupakan senyawa kimia aromatic heterosiklik. Rumus molekul MB adalah C<sub>16</sub>H<sub>18</sub>N<sub>3</sub>SCl (Mr = 319,65 g/mol) (Taufantri et al., 2016). MB memiliki titik leleh pada 180°C dan larut dalam air dengan kelarutan sebesar 35,5 g/l (Azizah, 2018).

MB pada keadaan teroksidasi berwarna biru gelap dan pada keadaan tereduksi MB tidak berwarna atau biasa disebut leuco MB. MB dan Leuco MB termasuk ke dalam larutan dan menjadi pasangan reaksi reduksi oksidasi reversible atau biasa disebut pasangan pemberi dan penerima elektro (Azizah, 2018). MB terbuat dengan cara di sintesis dengan mengoksidasi dimethylparaphenylenediamin dalam hidrogen tersulfurasi.

Cara yang lebih umum, MB dibuat dengan menitrasi dan mereduksi N, N-dimethylaniline menjadi paraaminodimethylaniline. Kemudian paraaminodimethylaniline diubah menjadi asam thiosulfate dengan diberi sodium thiosulphate, sodium dichromate, dan asam sulfat. Setelah terbentuk paraaminodimethyl aniline thiosulphonic acid selanjutnya ditambahkan dimethylaniline dalam kondisi oksida yang bertujuan membentuk indamine thiosulphonic acid. Selanjutnya indamine thiosulphonic acid dioksidasi dengan penambahan HCl dan  $ZnCl_2$  hingga terbentuk MB (Azizah, 2018).



**Gambar 2. 12** Reaksi pembentukan MB (Azizah, 2018)

MB bersifat karsinogenik dan tidak terurai secara biologi karena stabilitas cincin aromatik dalam struktur molekulnya yang dimana senyawa ini menyebabkan sifat toksisitas pada MB (Oladoye et al., 2022). MB tidak terlalu beracun, tetapi dapat menyebabkan efek samping bagi manusia seperti iritasi mata, iritasi kulit, dan juga efek sistemik termasuk perubahan darah. Jika di konsumsi, dapat menyebabkan muntah, mual, diare, pusing, dan keringat yang berlebihan serta gangguan pencernaan (Sen et al, 2011). Pengaruh dosis MB terhadap makhluk hidup dapat dilihat pada **Tabel 2.7**.

**Tabel 2. 7** Pengaruh dosis MB terhadap makhluk hidup (Azizah, 2018).

Objek Pengamatan	Dosis MB	Dampak
Tikus got	5-50 mg/kg	- Kerusakan neuron
Tikus putih	1250 mg/kg (LD50)	- Pengurangan isofluran MAC
Kambing	3500 mg/kg	- Hipotensi
	40 mg/kg	- Pengurangan SVR
Anjing	10-20 mg/kg	- Penyumbatan aliran darah
		- Hipertensi pulmonary
		- Hemolitik ammonia, kerusakan kulit pada bayi
		- Mual, muntah, gangguan pencernaan, nyeri pada dada, demam, perusakan hemoglobin
Manusia	- 2-4 mg/kg	- Hyperpyrexia, pusing
	- 7 mg/kg	- Hipotensi
	- 7,5 mg/kg	- Sianosis, Pembiruan kulit
	- 20 mg/kg	
	- 80 mg/kg	

Ditinjau dari pengaruh MB terhadap makhluk hidup selain manusia memiliki banyak dampak negatif jika tidak sengaja dikonsumsi, maka diperlukan pengolahan limbah MB sebelum dibuang ke perairan.

## 2.6 Kajian Penelitian Sebelumnya

**Tabel 2. 8** Kajian penelitian sebelumnya

Peneliti	Penelitian	Proses	Hasil
(Fauzi, 2022)	Modifikasi Nanostruktur Titanium Dioksida Hasil Pengolahan Mineral Ilmenit Lokal Indonesia Untuk Aplikasi Fotokatalis	Memodifikasi TiO <sub>2</sub> dengan FeTiO <sub>3</sub> sebagai prekursor. Dilakukan persiapan mineral ilmenite, kemudian diberikan proses pretreatment ilmenit dengan proses dekomposisi NaOH. Pada TiOSO <sub>4</sub> dilakukan proses hidrolisis untuk mendapatkan TiO <sub>2</sub> . Setelah TiO <sub>2</sub> didapatkan, dilakukan modifikasi nanostruktur dari 0D menjadi 1D (nanotube) menggunakan prekursor TiO <sub>2</sub> , P-24 Degussa, dan residu ilmenite. Metode yang dilakukan adalah hydrothermal dengan temperature 150° C selama 12 jam. Setelah dilakukan pembentukan nanostruktur selanjutnya diuji performa foto katalisnya.	Kristalinitas yang tinggi dan sifat optik (energi celah pita) yang rendah dapat meningkatkan efisiensi degradasi sekitar 96,50%. Kemudian pada uji fotokatalitik dengan menggunakan cahaya tampak pada nanostruktur TiO <sub>2</sub> yang terbaik pada sampel nanotube TiO <sub>2</sub> prekursor alam dan nanosheet TiO <sub>2</sub> dengan efisiensi degradasi sebesar 97,96% dan 98,34%.
(Safardoust-hojaghan & Salavatiniasari, 2017)	Degradation of Methylene Blue as a Pollutant with N-Doped Graphine Quantum Dot/Titanium	Melakukan sintesis GQD dengan N dengan melarutkan asam sitrat dan etilen diamina ke dalam air hingga terbentuk solusi transparan,	Saat TiO <sub>2</sub> digunakan untuk mendegradasi, setelah 70 menit hanya 40% polutan yang terdegradasi. Sedangkan ketika TiO <sub>2</sub> /N-Gqds

	<p>Dioxide Nanocomposite</p>	<p>kemudian dimasukkan kedalam autoklaf dan diapanaskan dalam oven selama 8 jam hingga memperoleh larutan warna coklat tua yang selanjutnya di sentrifugasi pada 10.000 rpm selama 15 menit. Selanjutnya mengompositkan N-GQD dengan TiO<sub>2</sub> dengan cara P25 TiO<sub>2</sub> didispersikan ke dalam larutan N-GQD dan diaduk selama 24 jam. Setelah itu disentrifugasi pada 10.000 rpm/menit selama 20 menit dan dikeringkan dalam kondisi vakum pada 60 C selama 10 jam. Tahap akhir dilakukan uji fotokatalitik dengan polutan methylene blue.</p>	<p>digunakan, terjadi degradasi sebesar 85%</p>
<p>Siti Nuraisyah, 2023</p>	<p>Sintesis Komposit TiO<sub>2</sub>/CDots menggunakan Microwave serta Aplikasinya sebagai Fotokatalis untuk Mendegradasi Methylene Blue</p>	<p>kemudian diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 10 menit dan 700 rpm. Setelah itu dioven pada suhu 100 C selama 1 jam. Setelah itu mensintesis TiO<sub>2</sub> dengan CDots dengan mencampurkan TiO<sub>2</sub> dengan CDots dengan beberapa</p>	<p>Komposit TiO<sub>2</sub>/CDots memiliki efektivitas yang baik pada fotodegradasi methylene blue daripada TiO<sub>2</sub> murni. Efektivitas degradasi sebesar 88,84% dibawah 120 menit radiasi cahaya tampak.</p>

(Djarwanti  
Yuniati, 2009)  
& Degradasi  
Fotokatalitik Polutan  
Organik dalam Air  
Limbah TiO<sub>2</sub> Nano  
Partikel Sistem  
Lapisan Tipis-Alir

variasi ke dalam air. Kemudian diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 2 jam dengan 700rpm dan dipanaskan di microwave selama 5 menit. Setelah itu dikarakterisasi dan diuji pada fotokatalis. Mensintesis koloid TiO<sub>2</sub> nanopartikel dengan menggunakan prekursor TTIP dan Titanium butoksida hingga didapatkan sol. Kemudian hasilnya di sintesis menjadi TiO<sub>2</sub> nanopartikel dengan sol yang ada dicampur air lalu dilakukan penyulingan dan dipanaskan pada suhu 90 C sambil diaduk selama 1 jam dan dipanaskan di oven pada suhu 55<sup>0</sup> C selama 3x24 jam. Selanjutnya mensintesis TiO<sub>2</sub> nano partikel dengan prekursor Titanium butoksida dengan mencampurkan sol TiO<sub>2</sub> dan Titanium butoksida dengan isopropyl alcohol lalu diaduk pada magnetic stirrer selama 8 jam dengan suhu 80° C. Hasilnya disaring dan dipanaskan pada oven di suhu 120° C

Percobaan dilakukan dengan menggunakan polutan rehumasol orange 0,001% dengan waktu 48 jam, menggunakan katalis TTIP menunjukkan degradasi warna dari 88,25 menjadi 53,35 Pt/Co. Dilihat pada hasilnya juga, degradasi fotokatalitik pada warna tekstil tersebut dengan konsentrasi awal semakin tinggi menunjukkan laju degradasi semakin rendah. Pada konsenentrasi awal COD 1761 ppm, 880,1 pm, dan 305 ppm pada waktu 47 jam menghasilkan degradasi sebesar 10,38%, 39,25%, dan 75,29%.

selama 2 jam.  
Selanjutnya  $\text{TiO}_2$   
dilapisi dan dibentuk  
reactor fotokatalitik.

---

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam proses penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### 3.1.1 Bahan Penelitian

1.  $\text{TiCl}_3$

Gambar 3.1 merupakan gambar yang digunakan yaitu  $\text{TiCl}_3$  dengan kandungan 15% HCl

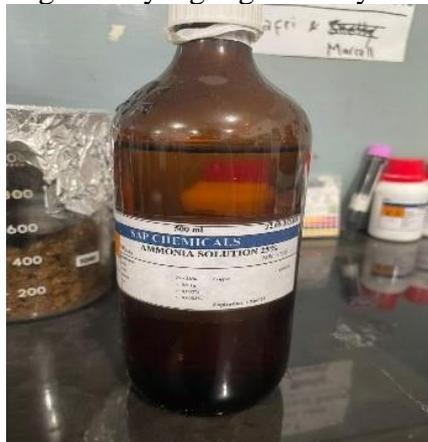


**Gambar 3. 1**  $\text{TiCl}_3$  dengan 15% HCl

2. Akuades

3.  $\text{NH}_4\text{OH}$

Gambar 3.2 merupakan gambar yang digunakan yaitu  $\text{NH}_4\text{OH}$



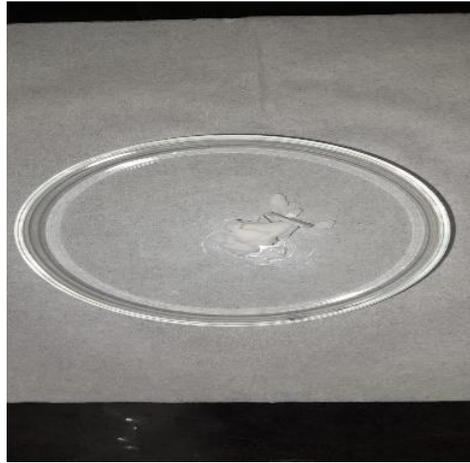
**Gambar 3. 2**  $\text{NH}_4\text{OH}$

#### 3.1.2 Bahan Penelitian GQDs

1. Arang Tempurung Kelapa

2. KOH

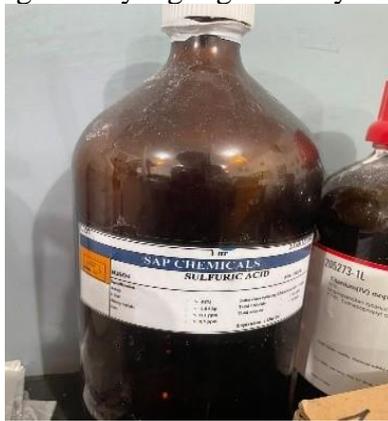
Gambar 3.3 merupakan gambar yang digunakan yaitu KOH



**Gambar 3. 3 KOH**

3. N<sub>2</sub>
4. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Gambar 3.4 merupakan gambar yang digunakan yaitu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>



**Gambar 3. 4 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**

5. DI Water
6. KMnO<sub>4</sub>

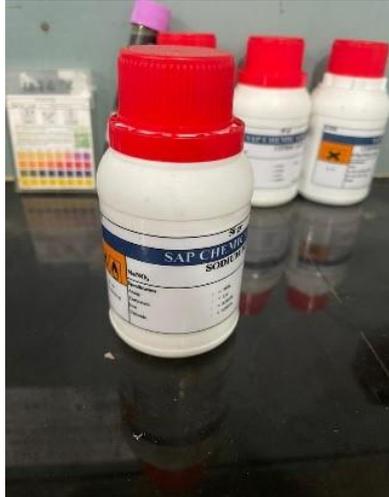
Gambar 3.5 merupakan gambar yang digunakan yaitu KMnO<sub>4</sub>



**Gambar 3. 5 KMnO<sub>4</sub>**

7. NaNO<sub>3</sub>

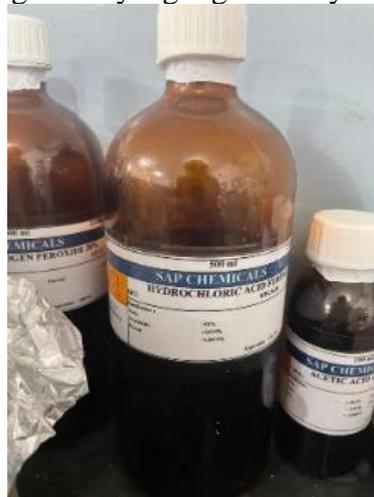
Gambar 3.6 merupakan gambar yang digunakan yaitu NaNO<sub>3</sub>



**Gambar 3. 6**  $\text{NaNO}_3$

8. HCl

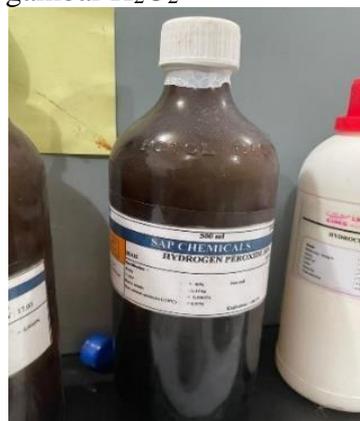
Gambar 3.7 merupakan gambar yang digunakan yaitu HCl



**Gambar 3. 7** HCl

9.  $\text{H}_2\text{O}_2$

Gambar 3.8 merupakan gambar  $\text{H}_2\text{O}_2$



**Gambar 3. 8**  $\text{H}_2\text{O}_2$

### 3.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam proses penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Beakerglass  
Digunakan sebagai wadah untuk merendam dan melarutkan sampel
2. Neraca Analitik  
Digunakan untuk menimbang massa serbuk
3. Pengaduk  
Digunakan untuk mengaduk larutan
4. *Hot plate* dan *magnetic stirrer*  
Digunakan untuk membentuk *solution* dari sampel



**Gambar 3. 9** *Magnetic Stirrer*

5. Tabung ukur  
Digunakan untuk mengukur volume larutan
6. Pipet tetes  
Digunakan untuk mengambil cairan/larutan
7. Kertas saring  
Digunakan untuk memisahkan endapan  $\text{TiO}_2$  dari larutan



**Gambar 3. 10** Kertas saring

8. *Furnace*  
Digunakan untuk proses pemanasan, seperti *drying*, *kalsinasi*, dan *sintering*.



**Gambar 3. 11** *Furnace*

9. Stopwatch  
Digunakan untuk menghitung waktu untuk melaksanakan proses, seperti waktu untuk stirring, waktu untuk drying, dsb.

10. Cawan keramik  
Digunakan sebagai wadah pada saat proses pemanasan
11. *Mortar* dan *pestle*  
*Mortar* adalah wadah dan *pestle* adalah penumbuk. Kedua alat ini digunakan untuk menghancurkan spesimen serbuk yang menggumpal
12. Sarung tangan dan masker  
Sebagai alat kesehatan dan keselamatan selama melakukan penelitian
13. pH meter  
Digunakan untuk mengukur derajat keasaman dari larutan  $\text{TiO}_2$
14. Alat Uji FTIR  
Digunakan untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung dalam sampel



**Gambar 3. 12 FTIR**

15. Alat Uji UV-Vis  
Digunakan untuk mendapatkan absorbance spectra dari suatu material dan mengukur intensitas cahaya
16. Alat Uji PL  
Digunakan untuk menganalisis profil fotodegradasi polutan
17. Alat Uji XRD  
Digunakan untuk mengidentifikasi senyawa dalam sampel beserta struktur dan ukuran kristalnya



**Gambar 3. 13 XRD**

18. Alat Uji SEM/EDX

Digunakan untuk menganalisis morfologi, yaitu bentuk dan ukuran unsur-unsur penyusun objek



**Gambar 3. 14 SEM**

19. Alat Uji BET

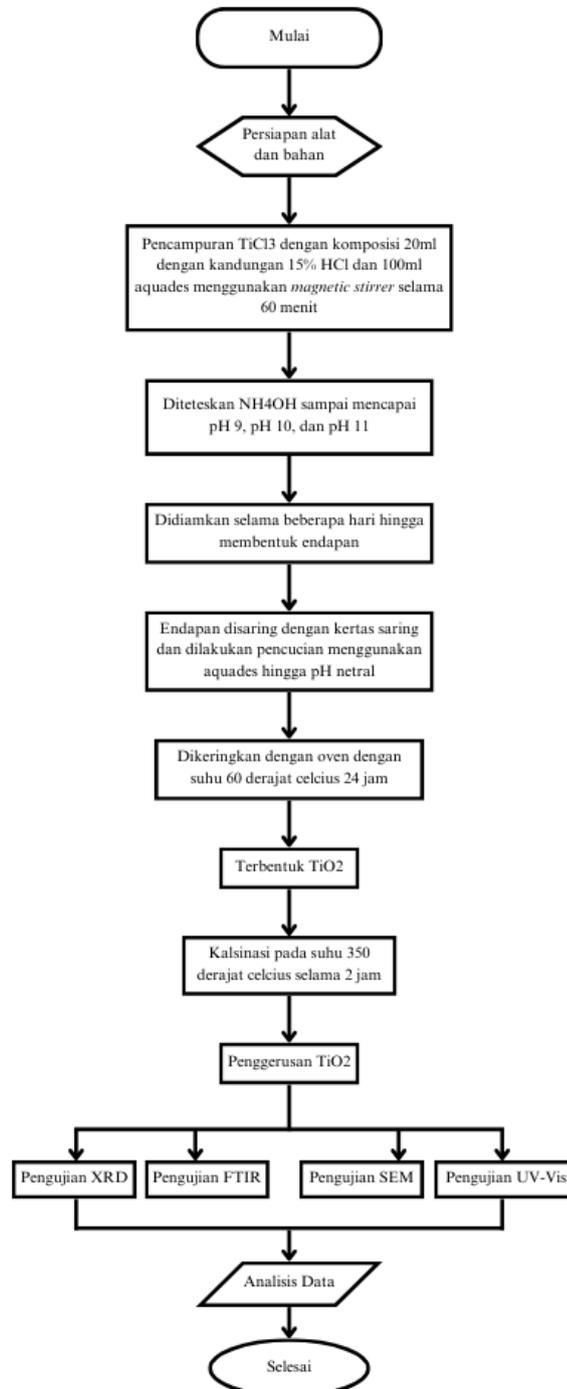
Digunakan untuk menganalisis luas permukaan dan volume porositas serta karakterisasi permukaan pada suatu sampel

### 3.3 Diagram Alir

Adapun diagram alir pada penelitian ini yang akan dijelaskan sebagai berikut.

#### 3.3.1 Sintesis $\text{TiO}_2$

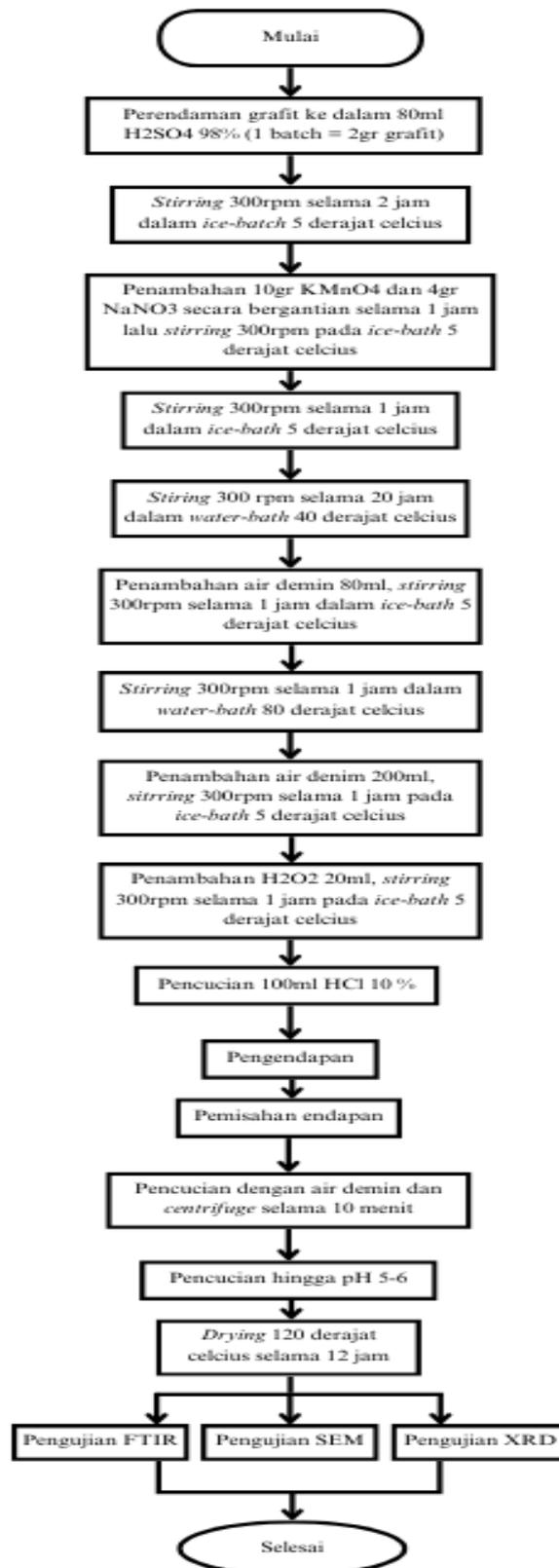
Gambar 3.15 merupakan diagram alir proses sintesis  $\text{TiO}_2$  yang digambarkan sebagai berikut.



**Gambar 3. 15** Diagram alir sintesis  $\text{TiO}_2$

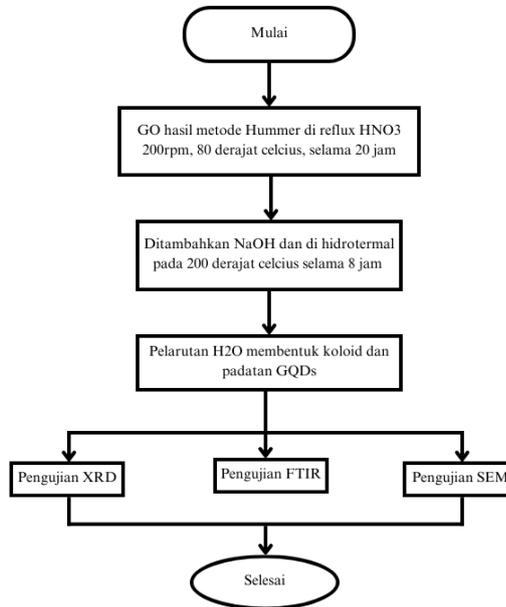
### 3.3.2 Pembuatan GQDs

Gambar 3.16 merupakan proses sintesis graphene oksida yang digambarkan sebagai berikut.



Gambar 3. 16 Diagram Alir Sintesis Graphene Oksida

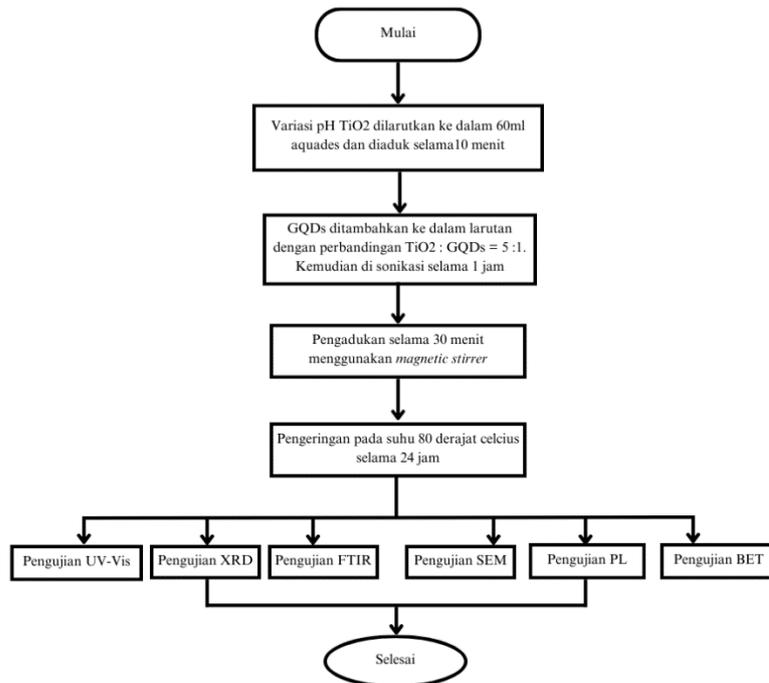
**Gambar 3.17** merupakan proses pembuatan GQDs dari graphene oksida yang digambarkan sebagai berikut (dilengkapi, atau diganti yang baru)



**Gambar 3. 17** Diagram alir sintesis graphene oksida

### 3.3.3 Diagram Alir Nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs

**Gambar 3.18** merupakan proses sintesis nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs yang digambarkan sebagai berikut.



**Gambar 3. 18** Sintesis Nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs

### 3.4 Metode Penelitian

Proses penelitian akan dilakukan melalui 4 tahapan, yaitu proses sintesis  $\text{TiO}_2$ , dilanjutkan dengan pembuatan GQDs, kemudian tahapan berikutnya pembuatan komposit  $\text{TiO}_2/\text{GQDs}$ , dan tahapan yang terakhir yaitu pengujian fotokatalis.

#### 3.4.1 Preparasi Sintesis $\text{TiO}_2$

Bahan material  $\text{TiO}_2$  dibuat menggunakan  $\text{TiCl}_3$  dengan komposisi sebesar 20 mL Titanium tetrachloride ( $\text{TiCl}_3$ ) dengan kandungan 15% HCl; dan 100 mL akuades. Kedua bahan tersebut dicampur dengan magnetic stirrer selama 60 menit. Setelah itu, ke dalam larutan yang masih dalam proses pengadukan dengan magnetic stirrer, diteteskan  $\text{NH}_4\text{OH}$  untuk mencapai variasi pH yang diinginkan. Pada pengujian ini variasi yang diambil pada pH 9, pH 10, dan pH 11. Larutan yang dihasilkan akan menjadi warna putih selama kurang lebih 20 menit pengadukan, setelah itu larutan berwarna putih tersebut didiamkan selama beberapa hari hingga membentuk endapan. Endapan lalu disaring dengan kertas saring dan dilakukan pencucian dengan akuades hingga pH netral. Setelah itu hasil saring dikeringkan dengan oven pada suhu  $60^\circ\text{C}$  selama 24 jam. Hasil pengeringan yang mengeras kemudian dilakukan uji XRD apakah ada kandungan  $\text{NH}_3$  atau senyawa hidrat lainnya. Jika dalam uji XRD tersebut ditemukan kandungan  $\text{NH}_3$  atau senyawa hidrat akan dilakukan penggerusan dengan pestle hingga berbentuk bubuk dan dikalsinasi selama 2 jam pada suhu  $350^\circ\text{C}$  dengan furnace.

#### 3.4.2 Preparasi Sintesis *Graphene Oxide*

Sintesis dilakukan dengan perendaman grafit ke dalam 80ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$  98%. Hasil perendaman tersebut dilakukan stirring pada 300 rpm selama 2 jam dalam ice -bath  $5^\circ\text{C}$  dan dilanjutkan stirring 300 rpm selama 20 jam dalam water-bath  $40^\circ\text{C}$ . Setelah itu, dilakukan penambahan DI Water sebanyak 80ml kemudian distirring pada 300 rpm selama 1 jam dalam ice -bath  $5^\circ\text{C}$  dan ditambahkan 200ml DI water yang kemudian dilakukan stirring Kembali pada 300 rpm selama 1 jam dalam ice -bath  $5^\circ\text{C}$ . Setelah itu, dilakukan penambaha  $\text{H}_2\text{O}_2$  sebanyak 20 ml yang kemudian distirring pada 300 rpm selama 1 jam dalam ice -bath  $5^\circ\text{C}$ . Hasil dari stirring tersebut, dilakukan pencucian dalam 100ml HCl 10% dan diendapkan. Pemisahan endapan dilakukan dengan pencucian menggunakan DI water dan centrifuge selama 10 menit hingga rentang pH 5-6 kemudian dikeringkan pada suhu  $120^\circ\text{C}$  selama 12 jam.

#### 3.4.3 Preparasi Sintesis *Graphene Quantum Dots*

Setelah *Graphene Oksida* berhasil terbentuk, kemudian proses dilanjutkan dengan membentuk *Graphene Quantum Dots* dimana *Graphene Oksida* direflux dengan  $\text{HNO}_3$  pada  $80^\circ\text{C}$  dengan perbandingan GQDs dengan  $\text{HNO}_3$  yakni 0.15 : 30. Kemudian dilanjutkan dengan penambahan NaOH hingga menyentuh pH 7 dan dilakukan hidrothermal pada suhu  $200^\circ\text{C}$  selama 8 jam dan dilakukan pelarutan dengan  $\text{H}_2\text{O}$  hingga membentuk koloid GQDs.

#### 3.4.4 Sintesis Nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{GQDs}$

Setelah  $\text{TiO}_2$  dan GQDs berhasil terbentuk kemudian dilanjutkan proses komposit dengan cara melarutkan  $\text{TiO}_2$  dengan variasi pH 9, pH 10, dan pH 11 ke dalam 60 mL akuades dan diaduk selama 10 menit. Selanjutnya ditambahkan GQDs dengan perbandingan  $\text{TiO}_2$  : GQDs = 5 : 1. Kemudian disonikasi selama 1 jam. Setelah itu, diaduk selama 30 menit menggunakan magnetic stirrer. Kemudian di filtrasi dan dikeringkan pada suhu  $110^\circ\text{C}$  selama 2 jam. Selanjutnya nanokomposit ini di uji karakterisasi dengan pengujian XRD, pengujian SEM, pengujian FTIR, pengujian BET, pengujian UV-Vis, dan pengujian PL.

### 3.5 Pengujian

Pada penelitian ini akan dilakukan beberapa uji coba untuk mengetahui struktur kristal, morfologi, serta sifat fotokatalitik komposit  $\text{TiO}_2/\text{GQDs}$  untuk degradasi methylene blue.

#### 3.5.1 Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-Ray (SEM/EDX)

Penggunaan SEM ditujukan untuk mengetahui morfologi dari komposit  $\text{TiO}_2/\text{GQDs}$ . Pengujian ini dilakukan di Divisi Karakterisasi Material, Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri ITS. Mesin SEM yang digunakan ialah SEM Inspect S50 seperti pada **gambar 3.19**. Adapun standar yang digunakan adalah ASTM E986. Perbesaran yang digunakan pada pengujian ini adalah antara 50 – 1000 kali. Mekanisme SEM sendiri dilakukan dengan cara menembakkan elektron dari *electron gun*, kemudian melewati *condensing lenses* dan pancaran elektron akan diperkuat dengan sebuah kumparan, setelah itu elektron akan difokuskan ke sampel oleh lensa objektif yang ada dibagian bawah. Pantulan elektron yang mengenai permukaan sampel akan ditangkap oleh *backscattered electron detector* dan *secondary electron detector* yang kemudian hasilnya akan diterjemahkan dalam bentuk gambar pada *display computer*.



**Gambar 3. 19** Instrumen SEM (Dokumen Pribadi)

Langkah-langkah yang dilakukan pada pengujian SEM sebagai berikut:

1. Menyiapkan spesimen uji termasuk melakukan pemotongan untuk melihat daerah melintang dengan ukuran 10 x 10 mm.
2. Membersihkan permukaan spesimen agar tidak ada pengotor.
3. Meletakkan spesimen pada *holder* dan diberikan perekat *carbon tape*.
4. Memasukkan spesimen ke dalam mesin SEM.
5. Melakukan perbesaran optik 70 – 500x, dengan tegangan 2 kV
6. Mengamati hasil yang terlihat pada *display computer*.

EDX merupakan detektor pada SEM yang berfungsi untuk menangkap informasi mengenai komposisi sampel pada skala mikro. Pada saat elektron yang dihasilkan bertumbukan di dalam SEM, tumbukan tersebut menghasilkan sinar-X yang khas. Setiap unsur memiliki spektrum emisi sinar-X yang berbeda, maka unsur-unsur yang diperoleh dapat diidentifikasi (Abd Mutalib et al., 2017).

#### 3.5.2 X-Ray Diffraction (XRD)

XRD adalah alat yang digunakan untuk mengkarakterisasi struktur kristal dan ukuran kristal dari suatu bahan padat. Metode difraksi umumnya digunakan untuk mengidentifikasi senyawa yang belum diketahui yang terkandung dalam suatu padatan dengan cara membandingkan dengan data difraksi dengan database yang dikeluarkan oleh JCPDS (*Joint Committee of Powder Diffraction Standard*). Semua bahan yang mengandung kristal

tertentu ketika dianalisa menggunakan XRD akan memunculkan puncak-puncak yang spesifik. Sehingga kelemahan alat ini yaitu tidak dapat untuk mengkarakterisasi bahan yang bersifat amorf. Prinsip kerja XRD yaitu dimana tabung sinar-X menembak sampel padatan kristalin, selanjutnya mendifraksikan sinar ke segala arah dengan memenuhi Hukum Bragg pada Persamaan 3.1 Detektor bergerak dengan kecepatan sudut yang konstan untuk mendeteksi berkas sinar-X yang didifraksikan oleh sampel. Sampel serbuk atau padatan kristalin memiliki bidang-bidang kisi yang tersusun secara acak dengan berbagai kemungkinan orientasi, begitu pula partikel-partikel kristal yang terdapat di dalamnya. Setiap kumpulan bidang kisi tersebut memilih beberapa sudut orientasi tertentu sehingga difraksi sinar-X memenuhi:

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (3.1)$$

dimana,

$n$  = orde difraksi (1,2,3,...)

$\lambda$  = Panjang sinar-X

$d$  = jarak kisi

$\theta$  = sudut difraksi

Perhitungan jarak antar layer pada hasil grafit XRD (spacing) dapat menggunakan Hukum Bragg pada Persamaan 3.2 yang digunakan untuk menganalisa pengaruh sintesis khususnya jarak layer pada sampel.

$$d_{002} = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \quad (3.2)$$

dimana,

$d_{002}$  = Jarak antar layer

$\lambda$  = Panjang gelombang (1,54 Å)

$\theta$  = Sudut difraksi ( $^{\circ}$ )

Dari hasil keluaran XRD dapat memberikan informasi untuk melihat ukuran kristal sampel. Hal ini dapat didapatkan dengan Persamaan Scherrer pada persamaan 3.3.

$$D = \frac{k\lambda}{2 \sin \theta} \quad (3.3)$$

dimana,

$D$  = Ukuran kristal

$\lambda$  = Panjang gelombang Cu-K $\alpha$  (1.54060Å)

$B$  = FWHM (rad)

$K$  = Konstan Scherrer dengan nilai 0.9

Bentuk keluaran dari difraktometer dapat berupa data analog atau digital. Rekaman data analog berupa grafit garis-garis yang terekam per menitnya, dengan detektor sudut  $2\theta$  per menit sehingga sumbu-X setara dengan sudut  $2\theta$ . Sedangkan rekaman digital menginformasikan intensitas sinar-X terhadap jumlah intensitas cahaya per detik.



**Gambar 3. 20** Alat Pengujian XRD (Dokumen Pribadi)

Karakterisasi material menggunakan XRD alat instrument XRD PAN *Alytcal* yang ditunjukkan pada **Gambar 3.20**. Karakterisasi XRD menghasilkan beberapa data, baik data kualitatif maupun data kuantitatif seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 3.1**.

**Tabel 3. 1** Informasi hasil pengujian XRD (Muliastri et al, 2018)

No	Karakter	Informasi dari material
1	Posisik Puncak ( $2\theta$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasa</li> <li>- Identifikasi kristal</li> <li>- Struktur kristal</li> <li>- Parameter kisi</li> <li>- Regangan seragam</li> <li>- Identifikasi</li> <li>- Komposisi</li> </ul>
2	Tinggi Puncak (Intensitas)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hamburan tak</li> <li>- Koheren</li> <li>- Extinction</li> <li>- Preferred orientation</li> </ul>
3	Lebar dan Bentuk Puncak	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ukuran kristal (bukan partikel atau bukan grain)</li> </ul>

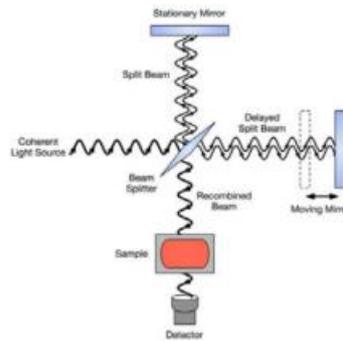
### 3.5.3 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

FTIR merupakan sebuah alat pengujian yang menggunakan penyerapan radiasi infra merah dan juga salah satu instrumen spektroskopi. Pada spektroskopi infra merah, radiasi inframerah dipancarkan mengenai sampel. Sebagian radiasi infra merah diserap oleh sampel sebagian yang lain ditransmisikan. Hasil spektrum infra merah menggambarkan penyerapan molekul dan transmisi, menggambarkan ciri khas sampel. Setiap molekul memiliki penyerapan berbeda sesuai dengan pola vibrasi dan pola ikatan antar atomnya. Tidak ada dua molekul yang menghasilkan spektrum infra merah yang sama. Oleh karena itu spektroskopi infra merah sangat berguna untuk berbagai analisis. FTIR dapat memberikan informasi mengenai material yang belum diketahui (teridentifikasi), mengenai kualitas sampel, dan mengetahui jumlah komponen dalam suatu campuran. **Gambar 3.21** memperlihatkan instrumen uji FTIR.



**Gambar 3. 21** Alat uji FTIR (Dokumen Pribadi)

Prinsip kerja FTIR yaitu berdasarkan penyerapan radiasi infra merah. Infra merah dipancarkan melalui interferometer kemudian dipancarkan melalui sampel, sebagian radiasi infrared diserap sampel dan sebagian lain dipancarkan kembali dan tertangkap oleh detector. Besarnya radiasi infra merah yang tertangkap oleh detektor kemudian diubah menjadi spektrum oleh interferogram. Untuk dapat menyerap radiasi infra merah (aktif inframerah), vibrasi molekul harus menghasilkan perubahan momen dwikutub. Setiap molekul memiliki penyerapan berbeda sesuai dengan pola vibrasi dan pola ikatan antar atomnya (Di Gianfrancesco, 2017). Mekanisme kerja FTIR di gambarkan pada **Gambar 3.22**.



**Gambar 3. 22** Skema prinsip kerja FTIR (Di Gianfrancesco, 2017)

### 3.5.4 Pengujian Fotokatalitik

Pengujian fotokatalis digunakan untuk mengamati seberapa besar pengaruh penambahan GQDs pada komposit TiO<sub>2</sub>/GQDs untuk degradasi *methylene blue*. Prosedur pengujian fotokatalisis yang dilakukan sebagai berikut.

#### 1. Pembuatan larutan uji dan penentuan panjang gelombang maksimum

Serbuk *methylene blue* ditimbang sebanyak 0,01 gram kemudian dilarutkan ke dalam 100 mL aquades hingga didapatkan larutan *methylene blue* dengan konsentrasi 100 mg.L<sup>-1</sup>. Larutan baku 100 mg.L<sup>-1</sup> selanjutnya di pipet masing masing 2, 4, 6, 8, dan 10 mL ke dalam labu takar 100 mL dan diencerkan dengan aquades sehingga diperoleh larutan dengan konsentrasi 2, 4, 6, 8, dan 10 mg.L<sup>-1</sup>. Selanjutnya ditentukan panjang gelombang maksimum *methylene blue* dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

#### 2. Penentuan kurva standar *methylene blue*

Larutan *methylene blue* dengan konsentrasi 2, 4, 6, 8, dan 10 mg.L<sup>-1</sup>. Ditentukan nilai absorbensi dari masing-masing konsentrasi menggunakan panjang gelombang maksimum yang telah ditentukan sebelumnya. Kurva standar dibuat dengan menghubungkan antara konsentrasi dengan absorbansi.

#### 3. Uji degradasi zat warna *methylene blue* dengan variasi penambahan TiO<sub>2</sub>/GQDs pada pH basa

Degradasi *methylene blue* dilakukan dengan menggunakan variasi TiO<sub>2</sub> pada pH 9, pH 10, dan pH 11. Kemudian 4 buah gelas kimia berukuran 250 mL. masing-masing dimasukkan 100 mL larutan *methylene blue*. Selanjutnya masing-masing gelas dimasukkan katalis TiO<sub>2</sub>/GQDs 0,5 gram. Reaktor disinari lampu UV 22 watt dengan variasi waktu per 1 menit, hasil degradasi dianalisis absorbansinya dengan alat spektrofotometer pada Panjang gelombang maksimum 540 nm. Hasil analisis dibandingkan dengan konsentrasi zat warna hasil degradasi secara fotokatalis ditentukan presentase degradasi zat warna. Presentase degradasi *methylene blue* ditentukan dengan persamaan berikut:

$$(\%D) = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \quad (3.4)$$

Dimana C<sub>0</sub> adalah konsentrasi awal zat warna sebelum iradiasi, C<sub>t</sub> adalah konsentrasi zat warna pada t. Berdasarkan hasil analisis, dibuat profil hubungan antara waktu degradasi dengan presentase degradasi

### 3.5.5 Spektrofotometri UV-Vis

Spektrofotometri UV-Vis adalah teknik analisis spektroskopik yang memakai sumber radiasi elektromagnetik ultra violet dekat(190-380 nm) dan sinar tampak (380-780 nm) dengan memakai alat spektrofotometer. Spektrofotometer UV-VIS digunakan untuk mendapatkan absorbance spectra dari suatu material, mengukur intensitas cahaya yang melewati larutan sampel dalam kuvet, dan membandingkannya dengan intensitas cahaya sebelum melewati

sampel. Pengujian UV-Vis bertujuan untuk mengetahui panjang gelombang ( $\lambda$ ) dan nilai absorbansi dengan cara menembakkan sinar ultraviolet (UV) pada larutan. Prinsip pengujian UV-Vis adalah mengamati elektron yang tereksitasi menuju level energi yang tinggi diamati sebagai absorbansi cahaya atau radiasi elektromagnetik. Pada pengujian UV-Vis menggunakan panjang gelombang UV visible light dengan rentang 200-800 nm yang memiliki energi sebesar 1.5-6.2 eV. (Henry & Yanuar, 2002) Alat pengujian spektrofotometer UV-VIS seperti **Gambar 3.23**.



**Gambar 3. 23** Mesin UV-Vis *Genesys 10S UV-Vis Spectrometer* (Dokumen Pribadi)

Radiasi maksimal yang diserap oleh larutan tersebut akan ditunjukkan pada panjang gelombang tertinggi dari nilai absorbansi maksimum dan persentase nilai transmisi minimum yang dihasilkan larutan tersebut. Untuk perhitungan nilai absorbansi digunakan Hukum Lambert-Beer yang dirumuskan seperti pada Persamaan (3.5) sebagai berikut.

$$A = \epsilon \cdot b \cdot c \quad (3.5)$$

dimana,

A : absorbansi (arb. units atau arbitrary units)

$\epsilon$  : absorptivitas molar dari material ( $M^{-1} \text{ cm}^{-1}$ )

b : panjang dari cuvette atau sample holder (~1 cm)

c : konsentrasi (M)

### 3.5.6 Brunaur, Emmett, and Teller (BET)

Pengujian BET (*Bruner Emmet Teller*) merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui besar luas permukaan aktif atau karakterisasi permukaan pada suatu sampel. Sampel dengan data yang dihasilkan yaitu Specific surface area (SA,  $\text{m}^2/\text{g}$ ) dan Volume pori ( $V_{pr}$ ,  $\text{mm}^3/\text{g}$ ). Prinsip kerja pengujian BET yaitu dengan memanfaatkan daya serap sampel terhadap gas nitrogen. Gas nitrogen umumnya digunakan sebagai molekul probe dan diekspos ke benda padat pada kondisi nitrogen cair. Sampel yang diuji minimal memiliki massa 0,1 g. Pada pengujian BET sampel akan dipanaskan namun temperatur pemanasannya dibawah perlakuan aktivasi fisiknya agar tidak mempengaruhi hasil sampel karbon aktif.

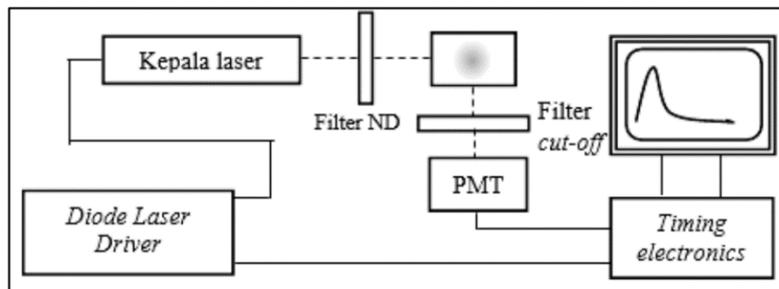
Teknik pengujian BET keseluruhan dari prosesnya dilakukan secara otomatis. Data sampel yang diuji akan otomatis didapatkan pada komputer yang terhubung dengan BET Analyzer berupa grafik dan tabel data isotherm, grafik dan tabel data Multiple BET plot, grafik dan tabel data pore diameter dan luas Specific surface. Untuk mengetahui specific surface area maka dilakukan pengujian BET specific surface area measurment. Specific surface area benda padat yang diukur didapatkan dari measured monolayer capacity dan data cross sectional area dari molekul yang dijadikan probe. Alat pengujian BET digambarkan pada **Gambar 3.25**.



**Gambar 3. 24** Alat Pengujian BET

### 3.5.7 Photoluminescence (PL)

Pengujian fotoluminens menggunakan laser dioda sebagai sumber cahaya dengan panjang gelombang 420 nm. Laser yang beroperasi secara Continues Wavelength (CW) diarahkan ke sampel. Cahaya yang dipancarkan oleh sampel ditangkap oleh fiber optic dan dikarakterisasi dengan Spektrofotometer Ocean Optic Maya2000Pro yang terhubung dengan aplikasi di komputer. Foton dari emisi yang terdeteksi dihitung oleh *Photomultiplier Tube* dan diubah menjadi sinyal listrik yang dapat ditampilkan dalam bentuk grafik di Spectra Suit. Berikut merupakan gambar Prinsip Spektroskopi PL terdapat pada **Gambar 3.27**.



**Gambar 3. 25** Skematik Instrumen Pengukuran *Photoluminescence* (PL)

### 3.6 Rancangan Penelitian

Adapun rancangan penelitian yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada **tabel 3.2** sebagai berikut.

**Tabel 3. 2** Rancangan Penelitian

Material	Pengujian Karakterisasi Material				Pengujian Elektrokimia	
	XRD	SEM/EDX	FTIR	BET	UV-Vis	PL
GQDs	✓	✓	✓	-	-	-
TiO <sub>2</sub>	✓	✓	✓	-	✓	-
TiO <sub>2</sub> /GQDs - 9	✓	✓	✓	✓	✓	✓
TiO <sub>2</sub> /GQDs -10	✓	✓	✓	✓	✓	✓
TiO <sub>2</sub> /GQDs	✓	✓	✓	✓	✓	✓

---

-11							
MB	-	-	-	-	✓	-	
MB-n	-	-	-	-	✓	-	

---

Keterangan:

GQDs	: Graphine Qauantum Dots
TiO <sub>2</sub>	: TiO <sub>2</sub>
TiO <sub>2</sub> /GQDs 9	: Komposit TiO <sub>2</sub> /GQDs variasi pH 9
TiO <sub>2</sub> /GQDs 10	: Komposit TiO <sub>2</sub> /GQDs variasi pH 10
TiO <sub>2</sub> /GQDs 11	: Komposit TiO <sub>2</sub> /GQDs variasi pH 11
MB	: Larutan <i>Methylene blue</i> sebelum terdegradasi
MB-n	: Larutan <i>Methylene blue</i> sesudah terdegradasi

### 3.7 Jadwal Penelitian

**Tabel 3. 3** Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	November				Desember				Januari				Februari				
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	Studi Literatur	[Solid Brown Bar]																
2	Asistensi kepada dosen pembimbing	[Solid Light Brown Bar]																
3	Penyusunan Laporan	[Solid Dark Brown Bar]																
4	Persiapan alat dan bahan				[Yellow]													
5	Preparasi TiO <sub>2</sub>								[Green]	[Green]	[Green]	[Green]	[Green]	[Green]	[Green]			
6	Preparasi GQDs								[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]
6	Preparasi Komposit																	
7	Pengujian XRD											[Red]					[Red]	[Red]
8	Pengujian FTIR																[Brown]	[Brown]
9	Pengujian SEM/EDX																[Cyan]	[Cyan]
10	Pengujian UV-Vis																[Yellow]	[Yellow]
11	Pengujian BET																	
12	Analisa dan Pembahasan																	

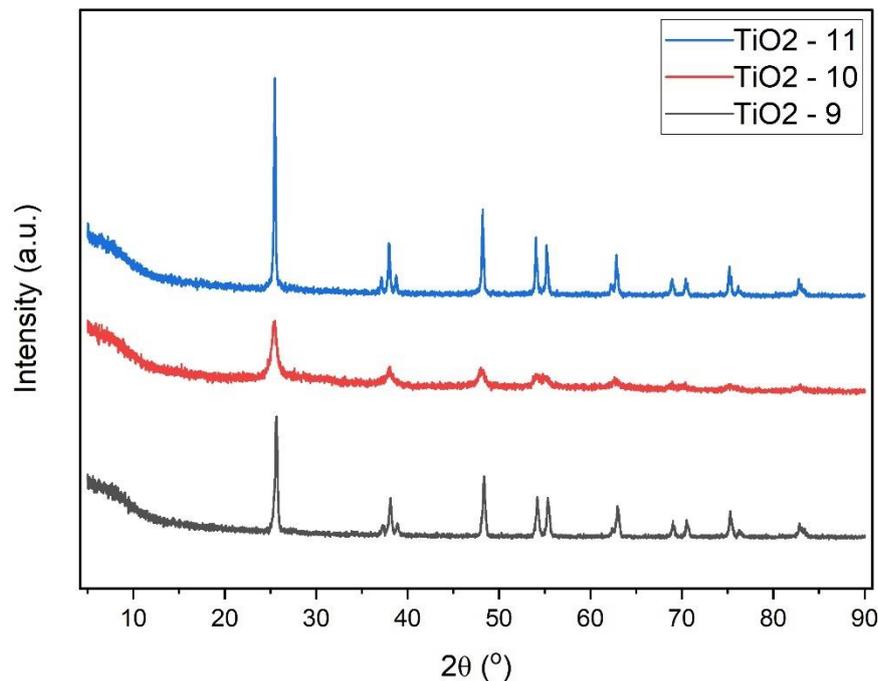
No	Kegiatan	Maret				April				Mei				Juni					
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
1	Studi Literatur	[Solid Brown Bar]																	
2	Asistensi kepada dosen pembimbing	[Light Brown Bar]																	
3	Penyusunan Laporan	[Dark Brown Bar]																	
4	Persiapan alat dan bahan																		
5	Preparasi TiO <sub>2</sub>																		
6	Preparasi GQDs																		
6	Preparasi Komposit																		
7	Pengujian XRD																		
8	Pengujian FTIR																		
9	Pengujian SEM/EDX																		
10	Pengujian UV-Vis																		
11	Pengujian BET																		
12	Pengujian PL																		
13	Analisa dan Pembahasan																		

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pengujian

#### 4.1.1 Hasil Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)

Pada pengujian X-Ray Diffraction (XRD) ini menggunakan alat XRD *Philip Analytical* dengan parameter  $2\theta = 5 - 90^\circ$ . Pada sintesis  $\text{TiO}_2$  pengujian dilakukan untuk mengetahui karakterisasi struktur kristal serta mengetahui perbedaan posisi puncak (*peak*) dari sampel yang disintesis dengan perbedaan pH. Grafik perbedaan puncak (*peak*) pada tiap-tiap sampel dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.



**Gambar 4. 1** Hasil pengujian XRD  $\text{TiO}_2$  pada variasi pH 9, pH 10, dan pH 11

Dari **Gambar 4.1** ditunjukkan hasil pengujian XRD dari masing-masing  $\text{TiO}_2$  pada variasi pH basa. Pada  $\text{TiO}_2$  pH 9 didapatkan puncak (*peak*) tertinggi terletak pada  $2\theta = 25,652$  mewakili bidang (101), lalu diperoleh puncak  $2\theta$  lainnya pada  $37,604^\circ$ ,  $38,958^\circ$ ,  $48,376^\circ$ ,  $54,233^\circ$ ,  $55,660^\circ$ ,  $68,999^\circ$ ,  $70,311^\circ$  dengan bidang difraksi (004), (112), (200), (105), (211), (116), dan (220). Kemudian pada  $\text{TiO}_2$  pH 10 didapatkan puncak tertinggi terletak pada  $2\theta = 25,367$  yang mewakili bidang (101), lalu diperoleh puncak  $2\theta$  lainnya pada  $37,909^\circ$ ,  $38,667^\circ$ ,  $48,158^\circ$ ,  $54,051^\circ$ ,  $55,204^\circ$ ,  $68,976^\circ$ , dan  $70,479^\circ$  dengan bidang difraksi yang sama dengan sebelumnya. Pada  $\text{TiO}_2$  pH 10 terbentuk *peak*  $2\theta$  yang melebar pada *peak*  $37,99^\circ$ ,  $48,26^\circ$ ,  $54,03^\circ$ ,  $55,12^\circ$ , dan  $62,68^\circ$  yang mengindikasikan titania menjadi material berpori. Perlu dilakukan analisis lebih lanjut untuk memastikan mekanisme pada sintesis  $\text{TiO}_2$  pH 10. Kemudian pada pH 11 diperoleh puncak tertinggi pada  $2\theta = 25,367$ , kemudian pada puncak lainnya diperoleh  $37,909^\circ$ ,  $38,667^\circ$ ,  $48,158^\circ$ ,  $54,051^\circ$ ,  $55,204^\circ$ ,  $68,976^\circ$ , dan  $70,479^\circ$ . Hal ini menunjukkan puncak XRD  $\text{TiO}_2$  pada variasi pH basa yang diamati sesuai dengan JCPDS (*Joint Committee of Powder Diffraction Standard*) card no. 021-1272 dengan *space group* 141/amd dan *crystal system* berbentuk tetragonal. Pada  $\text{TiO}_2$  memiliki parameter *lattice*  $a = 3,785 \text{ \AA}$ ,  $b = 3,785 \text{ \AA}$ ,  $c = 9,513 \text{ \AA}$ . Kemudian puncak  $2\theta$  terdapat pada  $25, 281^\circ$ ,  $37,801^\circ$ ,  $38,576^\circ$ ,  $48,050^\circ$ ,  $53,891^\circ$ ,

55,062°, 68,762°, dan 70,311°. Jika dilihat pada puncak yang terbentuk, terdapat perbedaan pada puncak TiO<sub>2</sub> pH 9, pH 10, dan pH 11, namun perbedaan yang terjadi hanya berbeda sedikit. Kemudian jika dilihat dari *peak* yang ditemukan pada *peak* 25° dan 48° menunjukkan terbentuknya TiO<sub>2</sub> fase anatase. Intensitas yang ditunjukkan oleh *peak* pengujian XRD tersebut menunjukkan bahwa TiO<sub>2</sub> yang terbentuk berbentuk kristalin dan pada difraksi yang luas pada *peak* menunjukkan kristalit yang kecil (Theivasanthi & Alagar, 2013).

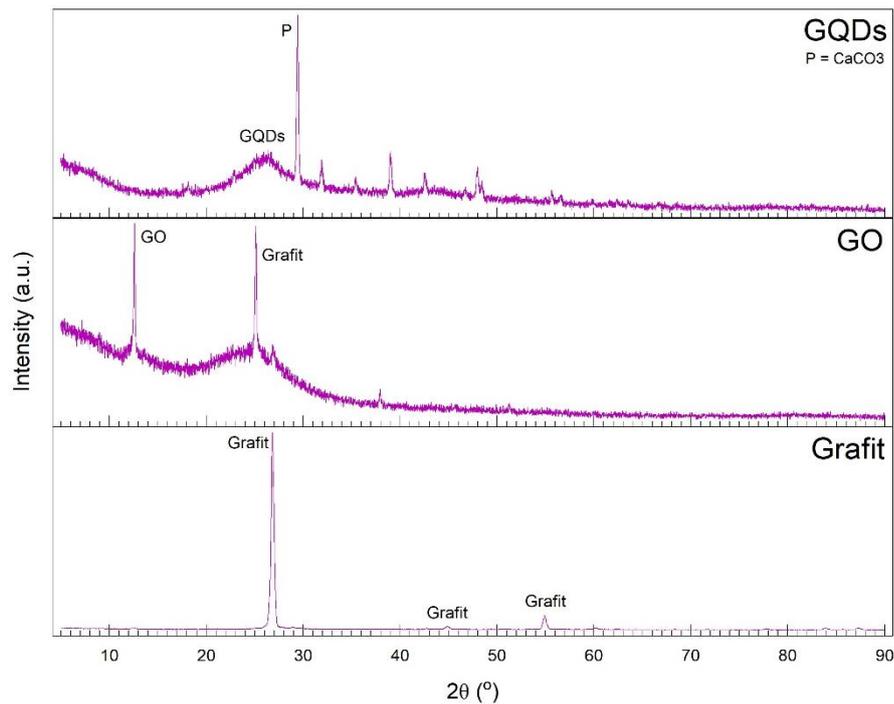
Pada hasil pengujian XRD TiO<sub>2</sub> pada variasi pH 9, pH 10, dan pH 11 terlihat adanya perubahan FWHM (*broadening*) akibat dari perbedaan dari pH. *Peak broadening* ini mengindikasikan adanya perubahan *crystallite size* yang terjadi setelah TiO<sub>2</sub> di sintesis dengan pH yang berbeda. Hal ini didapatkan dengan persamaan *Scherrer* pada persamaan 3.3. Dengan mengetahui ukuran kristalin dari material. Kita dapat mengetahui pengaruh ukuran kristal terhadap proses fotokatalitik. Ukuran kristal dapat berpengaruh terhadap lebarnya luas permukaan penampang material. Semakin kecil ukuran kristal, maka semakin besar ukuran luas permukaan yang dihasilkan. Hasil perhitungan nilai ukuran kristal dari setiap sampel dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

**Tabel 4. 1** Hasil perhitungan nilai ukuran kristal dari sampel TiO<sub>2</sub> dengan variasi pH basa

No	Sampel	FWHM (rad)	2θ (°)	Ukuran Kristal (nm)
1	TiO <sub>2</sub> pH 9	0,234	25,652	34,790
2	TiO <sub>2</sub> pH 10	0,401	25,367	20,282
3	TiO <sub>2</sub> pH 11	0,150	25,367	54,087

Menentukan ukuran kristal dari TiO<sub>2</sub> digunakan puncak dengan intensitas tertinggi, yakni pada puncak 2θ = 25°. Nilai ukuran kristal dapat diketahui dengan mengetahui nilai FWHM, semakin besar nilai FWHM maka semakin kecil ukuran kristal, dan juga semakin besar luas permukaan. Adapun nilai ukuran kristal dari TiO<sub>2</sub> pada variasi pH 9, pH 10, dan pH 11 secara berturut-turut ialah 34,790 nm, 20,282 nm, dan 54,087 nm. Ukuran kristal tertinggi diperoleh pada sampel TiO<sub>2</sub> pH 11 dan paling kecil terdapat pada TiO<sub>2</sub> pH 10. Ukuran kristalit ini dapat mempengaruhi uji fotokatalitik. Semakin kecil ukuran kristalin maka semakin tinggi persentase degradasi (Ichzan, 2015).

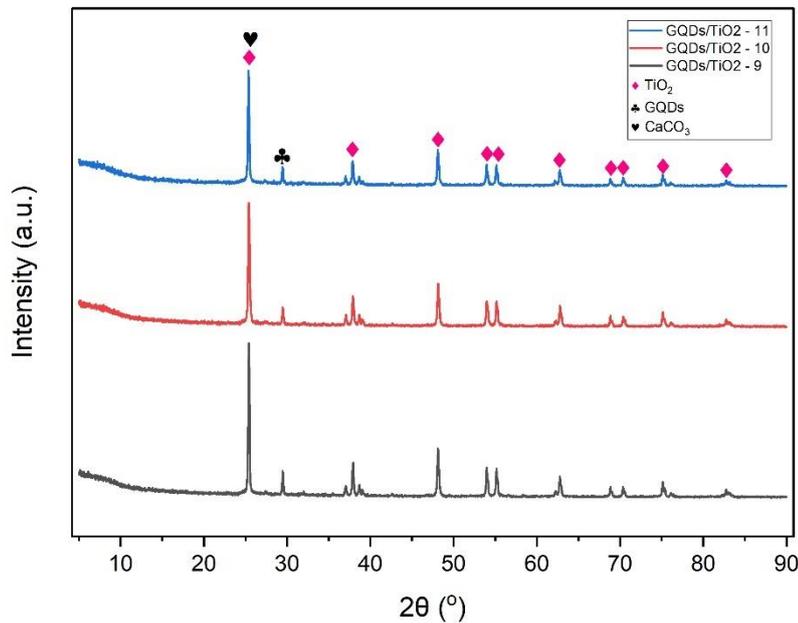
Lalu selanjutnya setelah sintesis TiO<sub>2</sub> terbentuk, dilakukan sintesis Graphene Quantum Dots untuk dinanokompositkan dengan TiO<sub>2</sub>. Sebelum GQDs di nanokompositkan dengan TiO<sub>2</sub>, dilakukan pengujian XRD untuk mengetahui karakterisasi dari material. Hasil pengujian XRD pada grafit, *graphene oxide*, dan *graphene quantum dots* dapat dilihat pada **Gambar 4.2**.



**Gambar 4. 2** Hasil pengujian XRD Grafrit, Graphene Oxide, dan Graphene Quantum Dots

Pada grafik tersebut menunjukkan adanya perbedaan pada puncak (*peak*) grafrit, *graphene oxide*, dan *graphene quantum dots*. Pada grafrit menunjukkan puncak pada  $2\theta = 26,7^\circ$ ,  $44,8^\circ$ , dan  $54,9^\circ$  dengan bidang difraksi (002), (101), dan (004) (Todica et al., 2014). Kemudian hasil uji XRD pada *graphene oxide* ditemukan pada  $2\theta = 12,6^\circ$  dan  $25,1^\circ$ . Pada *peak*  $25,1^\circ$  masih tersisa grafrit yang disebabkan kurangnya teroksidasi grafrit oleh  $\text{KMnO}_4$ .  $\text{KMnO}_4$  memiliki peranan sebagai agen oksidasi yang kuat dalam sintesis GO. Semakin besar rasio  $\text{KMnO}_4$  yang diberikan terhadap grafrit, maka semakin tinggi oksidasi yang terjadi yang berefek pada puncak difraksi. Pada puncak difraksi,  $\text{KMnO}_4$  dapat menyebabkan pelebaran atau menggeser puncak difraksi, yang dapat dilihat pada grafrit *peak*  $26,7^\circ$  berubah menjadi GO di *peak*  $12,6^\circ$  (Krishnamoorthy et al., 2013). Selanjutnya dilakukan sintesis GQDs dengan mereflux  $\text{HNO}_3$  pada GO yang terbentuk.  $\text{HNO}_3$  digunakan sebagai pemotong oksidatif karbon dengan cara mengoksidasi permukaan GO (Abbas et al., 2020). Kemudian pada hasil uji XRD GQDs didapatkan *peak* pada  $2\theta = 22,8^\circ$  dan  $29,4^\circ$ . Pada *peak*  $22,8^\circ$  mengindikasikan adanya GQDs yang terbentuk dengan ditandai pada bidang difraksi (002) dari grafrit, yang menunjukkan sifat grafrit dari GQDs dengan aom karbon yang tidak teratur. Menurut penelitian yang dilakukan sebelumnya hal ini menunjukkan hipotesis bahwa GQDs yang disintesis memiliki struktur grafrit dengan jumlah carbon amorf yang sedikit (Kadyan et al., 2024). Pada *peak*  $29,4^\circ$  menunjukkan adanya pengotor pada GQDs yang disintesis yaitu  $\text{CaCO}_3$ .

Selanjutnya perbedaan puncak pada nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{GQDs}$  pada variasi pH basa, yakni pada  $\text{TiO}_2$  pH 9, pH 10, dan pH 11 dapat dilihat pada **Gambar 4.3**



**Gambar 4. 3** Hasil pengujian XRD nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs

Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui karakterisasi struktur kristal dan ukuran kristal dari nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pada pH 9, pH 10, dan pH 11. Berdasarkan **Gambar 4.3** menunjukkan adanya puncak khas yang berada pada posisi  $2\theta = 25^\circ$  untuk TiO<sub>2</sub> dan GQDs, yang menunjukkan bahwa terdapat GQDs berada di *peak* yang sama dengan TiO<sub>2</sub>. *Peak* GQDs yang tertutupi dengan *peak* TiO<sub>2</sub> yang disebabkan karena *peak* TiO<sub>2</sub> yang lebih dominan dibandingkan GQDs yang diakibatkan rasio berat TiO<sub>2</sub> yang lebih besar dari pada GQDs. Namun, pada  $29^\circ$  terdapat unsur lain yang terkandung dalam nanokomposit yakni CaCO<sub>3</sub>. Tidak diketahui penyebab adanya CaCO<sub>3</sub> pada nanokomposit ini.

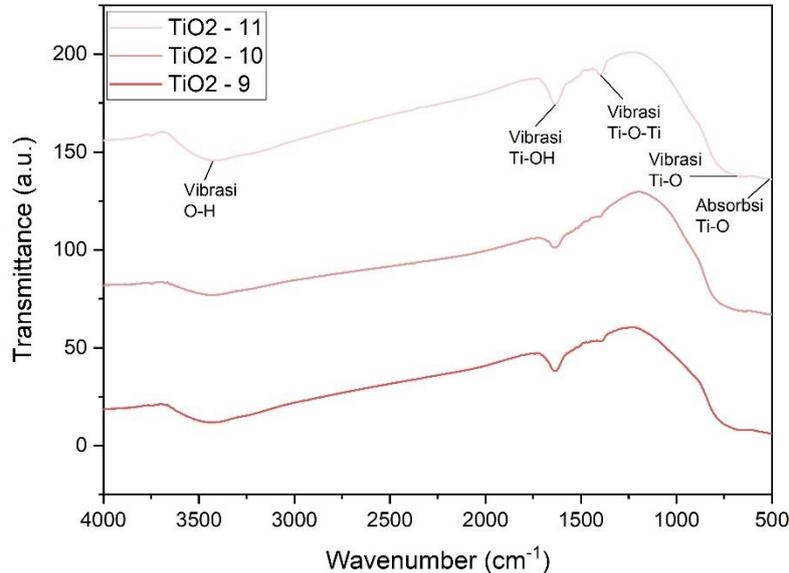
Jika dilihat pada pengujian XRD nanokomposit ini, tidak menunjukkan adanya pergeseran puncak yang signifikan di setiap perbedaan pH pada nanokomposit. Adapun karakteristik puncak difraksi XRD GQDs terdapat pada  $2\theta = 25^\circ$  diamati dari pengujian XRD pada GQDs sebelumnya, yang mewakili masing-masing bidang yaitu (002) (Ahmed et al., 2018). Namun, ditemukan pula kadar Carbon pada  $2\theta = 31^\circ$  dan  $37^\circ$  yang mengindikasikan adanya kandungan tersebut akibat pembentukan GQDs pada nanokomposit tersebut. Sedangkan pada puncak  $2\theta = 25^\circ, 37^\circ, 38^\circ, 48^\circ, 54^\circ, 55^\circ, 68^\circ,$  dan  $70^\circ$  dengan bidang difraksi (101), (004), (112), (200), (105), (211), (116), dan (220) menunjukkan kristalinitas TiO<sub>2</sub> anatase yang dimana ini sesuai dengan JCPDS card no. 021-1272. Tidak ditemukan adanya puncak karakteristik TiO<sub>2</sub> *rutile* dan *brookite*. Tidak ada puncak yang berbeda diamati dari nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs dibandingkan dengan TiO<sub>2</sub> murni, dan posisi serta intensitas puncak difraksi juga tidak terjadi perubahan yang signifikan, yang menunjukkan GQDs tidak memiliki dampak pada struktur kristal dan ukuran TiO<sub>2</sub>, hal ini disebabkan karena penambahan GQDs yang lebih sedikit dibanding TiO<sub>2</sub> sehingga tidak terjadi perubahan difraksi (Hao et al., 2016).

Jika dilihat dari hasil pengujian XRD yang dilakukan pada nanokomposit ini, GQDs berhasil ternanokomposit dengan TiO<sub>2</sub> dengan ditandai terdapat *peak* yang sesuai dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya.

#### 4.1.2 Hasil Pengujian Fourier Transform Infrared (FTIR)

Pengujian *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dilakukan dengan menggunakan mesin Shimadzu IRTracer-1000 dengan range panjang gelombang sebesar 500-4000 cm<sup>-1</sup>. Pengujian

ini dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung dalam sampel. Pengujian dilakukan pada sampel TiO<sub>2</sub> pada variasi pH. Hasil pengujian dapat dilihat pada **Gambar 4.4**.



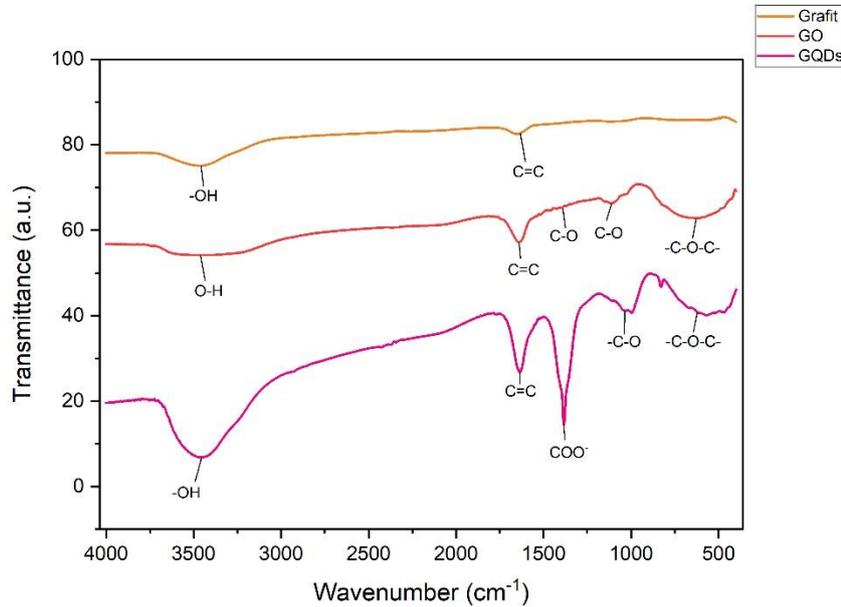
**Gambar 4. 4** Hasil Pengujian FTIR pada TiO<sub>2</sub> pH 9, pH 10, dan pH 11

**Tabel 4. 2** Gugus Fungsi dan nilai *wavenumber* TiO<sub>2</sub>

No.	<i>Wavenumber</i> (cm <sup>-1</sup> )			Referensi (cm <sup>-1</sup> )	Gugus Fungsi
	pH 9	pH 10	pH 11		
1	3441	3441	3747	3443	Vibrasi O-H
2	1635	1629	1629	1632	Vibrasi Ti-OH
3	1392	1400	1396	1400	Vibrasi Ti-O-Ti
4	665	659	671	633	Vibrasi Ti-O
5	511	524	478	503	Absorpsi Ti-O-O

Pada **Tabel 4.2** merupakan hasil pengujian FTIR dari sintesis TiO<sub>2</sub> pada variasi pH basa yakni pH 9, pH 10, dan pH 11. Hasil uji FTIR pada TiO<sub>2</sub> variasi pH berturut-turut pada *peak* 3441, 3441, dan 3747 terdapat ikatan vibrasi O-H. Terjadi juga adsorpsi H<sub>2</sub>O pada rentang gelombang 2377 cm<sup>-1</sup> lalu pada *peak* 1635, 1629, dan 1629 terdapat ikatan Vibrasi Ti-OH, pada *peak* 1392, 1400, dan 1396 terbentuk gugus fungsi Vibrasi Ti-O-Ti, dan pada *peak* 655, 659, dan 671 terbentuk gugus fungsi Vibrasi Ti-O, kemudian pada *peak* 511, 524, dan 478 terbentuk absorpsi Ti-O-O yang dimana ini sesuai dengan karakterisasi hasil FTIR dari material TiO<sub>2</sub> anatase yang dilakukan oleh penelitian sebelumnya (Listanti et al., 2018). Terbentuknya gugus hidroksil ini membuktikan terbentuknya TiO<sub>2</sub>.

Selanjutnya dilakukan pengujian FTIR untuk sampel grafit, *graphene oxide*, dan *graphene quantum dots*. Pengujian dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk pada grafit, GO, dan GQDs. Hasil pengujian dapat dilihat pada **Gambar 4.5**.



**Gambar 4.5** Hasil Pengujian FTIR Grafit, *Graphene Oxide*, dan *Graphene Quantum Dots*

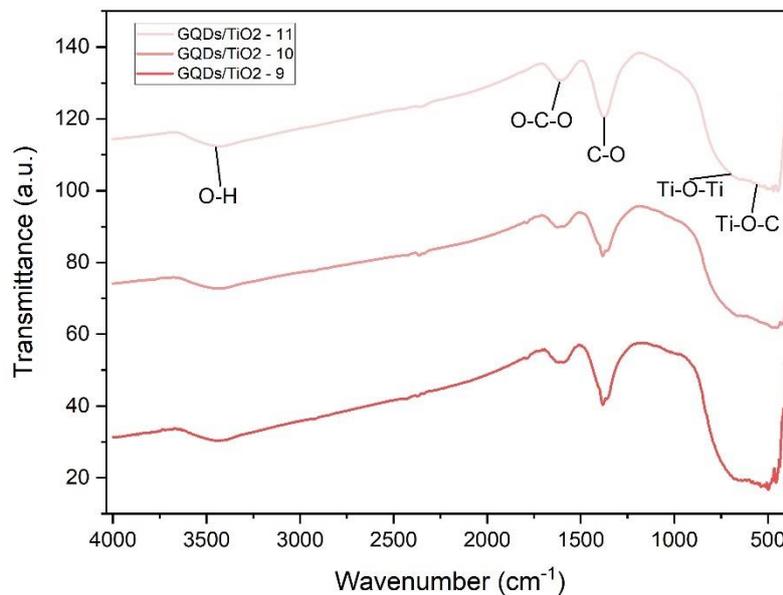
**Tabel 4.3** Gugus Fungsi dan nilai *wavenumber* Grafit, *Graphene Oxide*, dan *Graphene Quantum Dots*

No.	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )			Referensi (cm <sup>-1</sup> )	Gugus Fungsi
	Grafit	GO	GQDs		
1	3462	3479	3454	3200-3550	O-H stretching
2	1654	1637	1633	1600-1700	C=C stretching
3	-	1398	-	1350-1400	C-O stretching
4	-	-	1382	-	Vibrasi COO
5	-	1112	1031	1000-1150	C-O stretching
6	-	667	613	-	Vibrasi C-O-C

Pada **Tabel 4.3** merupakan hasil pengujian FTIR dari sintesis Grafit, *Graphene Oxide*, dan *Graphene Quantum Dots*. Hasil uji FTIR yang dilakukan pada grafit ditemukan *peak* pada *wavenumber* 3462 cm<sup>-1</sup> yang merupakan O-H stretching dan *wavenumber* 1654<sup>-1</sup> yang merupakan C=C stretching. Hasil uji FTIR grafit yang didapatkan mengacu pada referensi (Kanta et al., 2017). Kemudian hasil uji FTIR dilakukan pada sampel *graphene oxide* yang sudah disintesis. Pada hasil pengujian yang dilakukan, didapatkan *peak* pada *wavenumber* 3479

$\text{cm}^{-1}$  yang merupakan O-H *stretching*, *wavenumber*  $1637 \text{ cm}^{-1}$  merupakan C=C peregangan (*stretching*), dari pengujian ini menunjukkan bahwa grafit telah dioksidasi secara efisien selama proses oksidasi dengan adanya  $\text{KMnO}_4$  yang diberikan (Bharath et al., 2017). Pada *wavenumber*  $1398 \text{ cm}^{-1}$  dan  $1112 \text{ cm}^{-1}$  terdapat gugus fungsi C-O *stretching* (Wazir & Kundi, 2016). Selanjutnya pada pengujian FTIR yang dilakukan pada *Graphene Quantum Dots* (GQDs), pada *wavenumber*  $3454 \text{ cm}^{-1}$  terdapat gugus fungsi O-H *stretching*, pada *wavenumber*  $1633$  terdapat gugus fungsi C=C *stretching*, pada *wavenumber*  $1382 \text{ cm}^{-1}$  terbentuk vibrasi COO yang ditunjukkan dengan adanya absorpsi dari gugus karboksil dan gugus hidroksil (Yuan et al., 2014), *wavenumber*  $1112 \text{ cm}^{-1}$  terdapat gugus fungsi C-O *stretching*, dan pada *peak wavenumber*  $667 \text{ cm}^{-1}$  terdapat vibrasi C-O-C (Fan et al., 2015).

Setelah dilakukan pengujian FTIR pada sampel  $\text{TiO}_2$  variasi pH basa dan pada sampel Grafit, GO, dan GQDs, selanjutnya dilakukan pengujian FTIR pada nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{GQDs}$  pada masing-masing variasi pH. Hasil pengujian FTIR pada nanokomposit dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 4. 6** Hasil pengujian FTIR nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{GQDs}$

**Tabel 4. 4** Gugus fungsi dan nilai *wavenumber* nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{GQDs}$

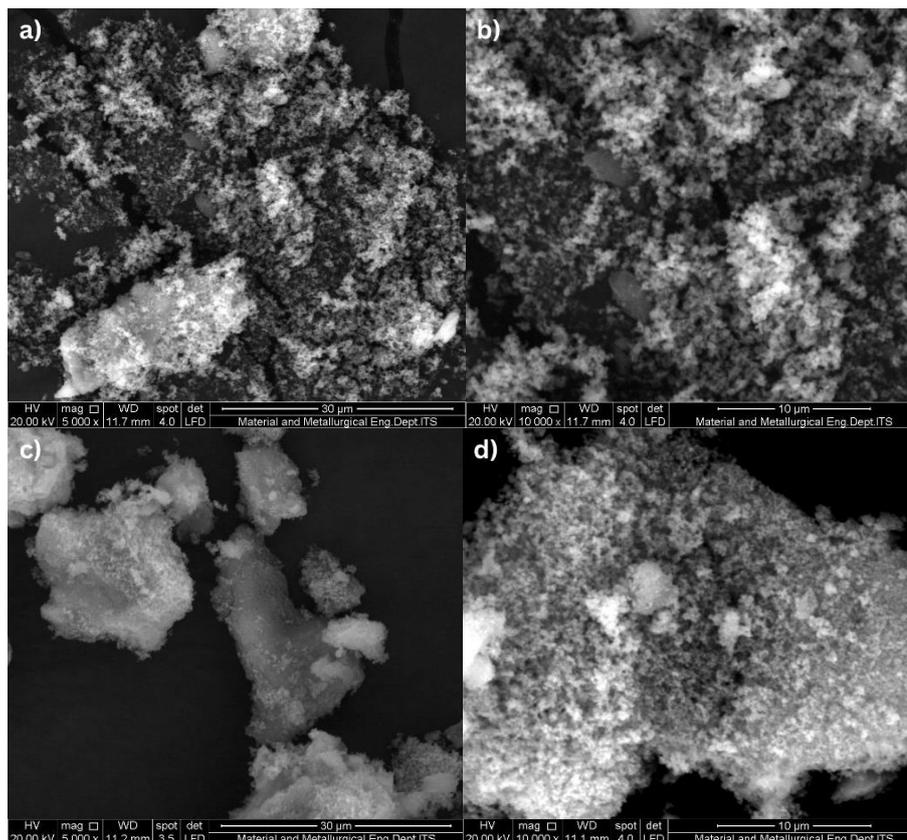
No.	Wavenumber ( $\text{cm}^{-1}$ )			Referensi ( $\text{cm}^{-1}$ )	Gugus Fungsi
	$\text{TiO}_2/\text{GQDs}$ - 9	$\text{TiO}_2/\text{GQDs}$ - 10	$\text{TiO}_2/\text{GQDs}$ - 11		
1	3439	3437	3429	3432	O-H <i>stretching</i>
2	1589	1622	1606	1416-1593	O-C-O <i>stretching vibrations</i>
3	1381	1381	1373	1350-1400	C-O <i>stretching</i>

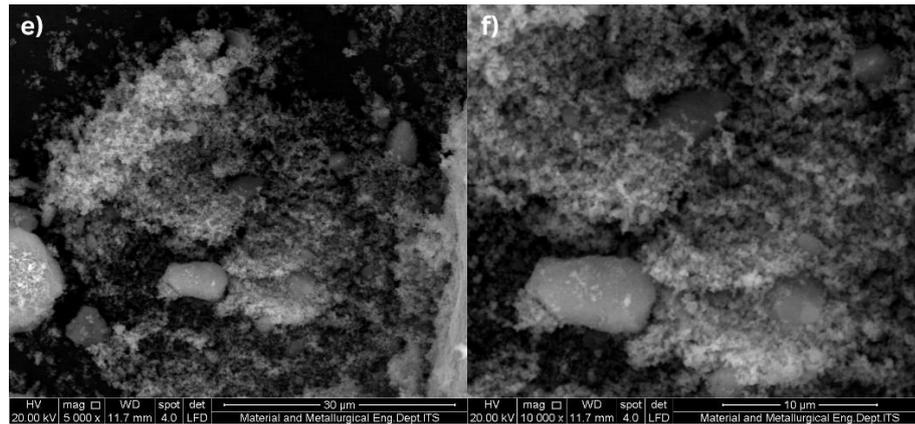
4	611	665	643	480-700	Ti-O-Ti <i>Stretching vibrations</i>
5	536	476	503	480-700	Ti-O-C <i>vibrations</i>

Pada **Tabel 4.4** merupakan hasil pengujian FTIR dari nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 9, pH 10, dan pH 11. Hasil uji FTIR pada nanokomposit pH 9, pH 10, dan pH 11 berturut-turut pada *peak* 3439, 3437, dan 3429 terdapat ikatan O-H *stretching* yang terikat hidrogen, lalu pada *peak* 11589, 1622, dan 1606 terdapat ikatan O-C-O *stretching vibrations*. Kemudian pada *peak* 1381, 1381, dan 1373 terbentuk gugus fungsi C-O *stretching*, pada *peak* 611, 665, dan 643 terbentuk gugus fungsi Ti-O-Ti *stretching vibrations*. Kemudian pada *peak* 536, 476, dan 503 terbentuk Ti-O-C *vibrations*. Hasil pengujian FTIR ini mengacu pada referensi (Hao et al., 2016).

#### 4.1.3 Hasil Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM) dan Energy Dispersive X-Ray Analysis (EDX)

Pengujian SEM yang dilakukan menggunakan alat INSPECT S50. Pengujian SEM ini dilakukan untuk mengetahui morfologi (bentuk partikel) dari sampel TiO<sub>2</sub>. Hasil SEM dari sintesis TiO<sub>2</sub> dapat dilihat pada **Gambar 4.7**.

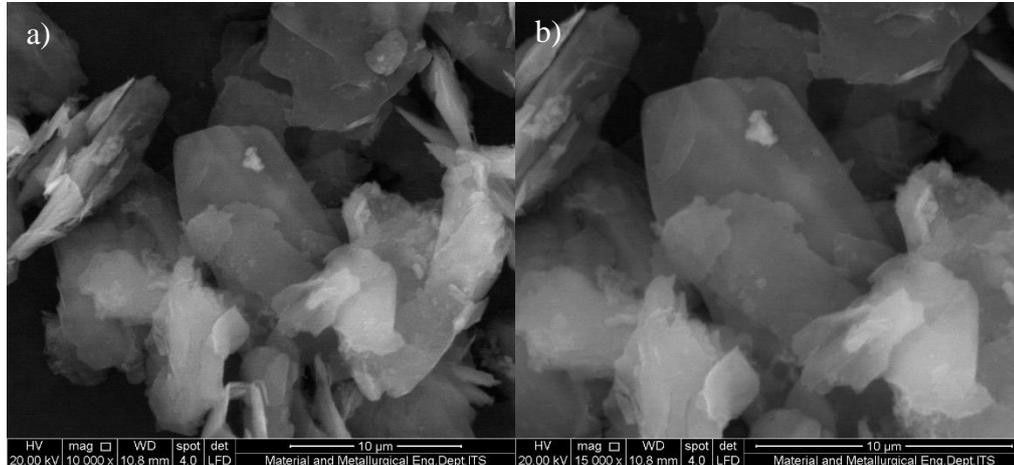


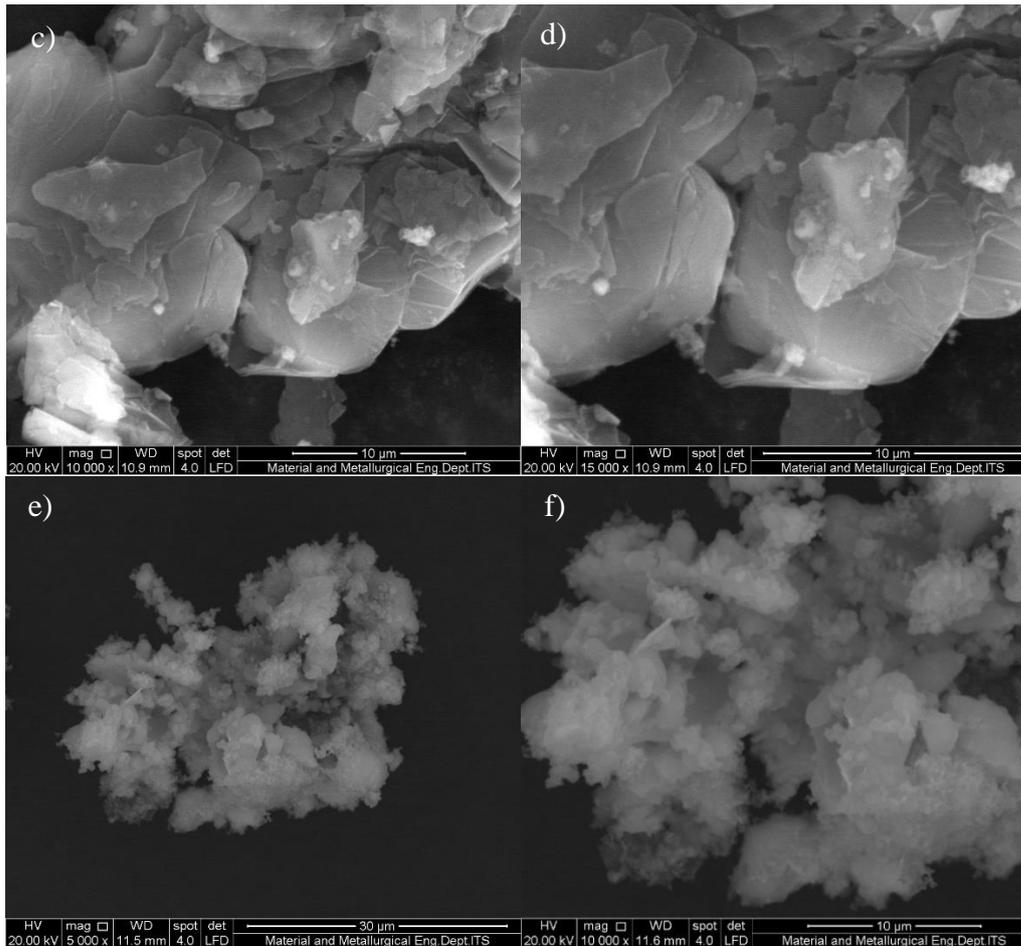


**Gambar 4. 7** Hasil pengujian SEM TiO<sub>2</sub> dengan variasi (a) pH 9 perbesaran 5000x, (b) pH 9 perbesaran 10000x, (c) pH 10 perbesaran 5000x, (d) pH 10 perbesaran 10000x, (e) pH 11 perbesaran 5000x, (f) pH 11 perbesaran 10000x

Dari **Gambar 4.7** terlihat morfologi dari material TiO<sub>2</sub> pH 10. Morfologi yang terbentuk adalah *spherical* (bulat) dan cenderung beraglomerat. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Praven et al (2018). Jika dilihat pada **Gambar 4.7** tidak terdapat perbedaan *significant* yang terjadi antara masing-masing TiO<sub>2</sub> pada pH 9, pH 10, dan pH 11.

Selanjutnya dilakukan pengujian SEM untuk mengetahui morfologi dari grafit, *graphene oxide*, dan *graphene quantum dots* sebelum dilakukan pengompositan dengan TiO<sub>2</sub>. Hasil pengujian SEM pada grafit, GO, dan GQDs dapat dilihat pada **Gambar 4.8**

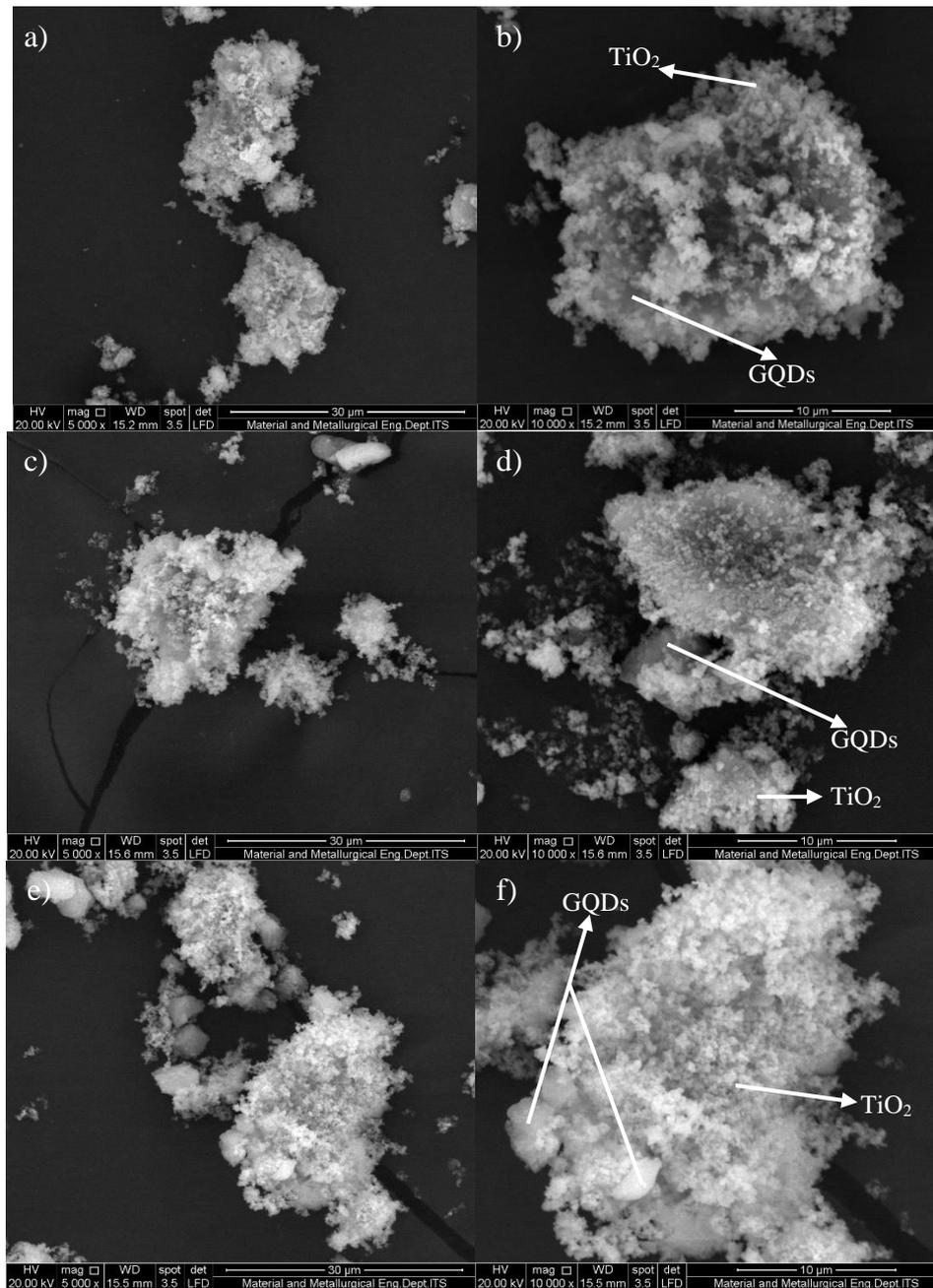




**Gambar 4. 8** Hasil pengujian SEM pada (a) Grafit perbesaran 10000x, (b) Grafit perbesaran 15000x, (c) Graphene Oxide perbesaran 10000x, (d) Graphene Oxide perbesaran 15000x, (e) Graphene Quantum Dots perbesaran 10000x, (f) Graphene Quantum Dots perbesaran 15000x

Dari hasil pengujian SEM yang dilakukan pada grafit, *graphene oxide*, dan *graphene quantum dots* menunjukkan gambar grafit berbentuk serpihan pelat tipis. Kemudian, pada *graphene oxide* memiliki bentuk yang hampir sama dengan grafit, namun dapat dilihat garis-garis lekukan atau lipatan pada permukaan GO, serta dapat dilihat permukaan GO yang sangat tipis. Selanjutnya hasil pengujian pada *graphene quantum dots* (GQDs) menunjukkan masih terdapat serpihan atau lekukan seperti pada grafit dan GO, namun terdapat bentuk *spherical* juga yang terbentuk pada GQDs disela-sela lapisan-lapisan yang menumpuk.

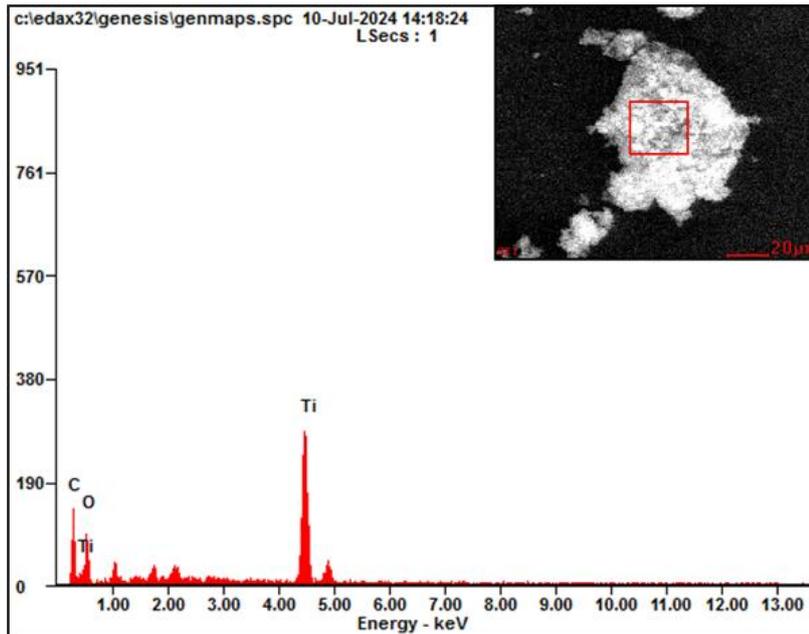
Kemudian pengujian SEM juga dilakukan untuk nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{GQDs}$  untuk mengetahui perubahan bentuk yang terjadi dengan pengompositan GQDs dengan  $\text{TiO}_2$ . Hasil pengujian SEM nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{GQDs}$  dapat dilihat pada **Gambar 4.9**.



**Gambar 4. 9** Hasil pengujian SEM pada nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{GQDs}$  (a) pH 9 perbesaran 5000x, (b) pH 9 perbesaran 10000x, (c) pH 10 perbesaran 5000x, (d) pH 10 perbesaran 10000x, (e) pH 11 perbesaran 5000x, (f) pH 11 perbesaran 10000x

Jika dilihat dari hasil pengujian SEM pada nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{GQDs}$  pH 9, pH 10, dan pH 11,  $\text{TiO}_2$  dan GQDs dibedakan dengan  $\text{TiO}_2$  berbentuk *spherical* dan beraglomerat, sedangkan GQDs berbentuk lapisan tipis.

Kemudian dilakukan pengujian *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDX) pada nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{GQDs}$  untuk mengetahui kadar dari unsur-unsur pada sampel. Hasil uji EDX pada nanokomposit dapat dilihat pada **Gambar 4.10** dan **Tabel 4.5**.

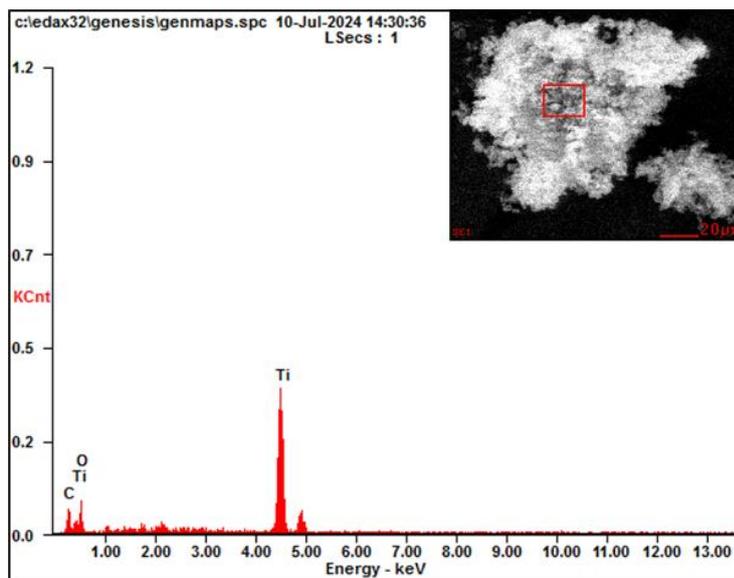


**Gambar 4. 10** Hasil kurva EDX nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 9

**Tabel 4. 5** Komposisi unsur pada nanokompost TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 9

Elemen	Wt%	At%
CK	15,25	27,99
OK	35,96	49,55
TiK	48,79	22,46

Dari **gambar 4.10** dan **tabel 4.5** di atas menunjukkan bahwa komposisi nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pada pH 9 tersusun atas unsur karbon (C), oksigen (O), dan titanium (Ti) dengan persentase masing-masing sebesar 15,25% pada karbon, 35,96% pada oksigen, dan 48,79% pada titanium. Hal ini menunjukkan persentase titanium yang lebih besar dibanding dengan karbon dan oksigen karena perbandingannya titanium yang lebih besar dari pada GQDs, yakni 5 : 1.

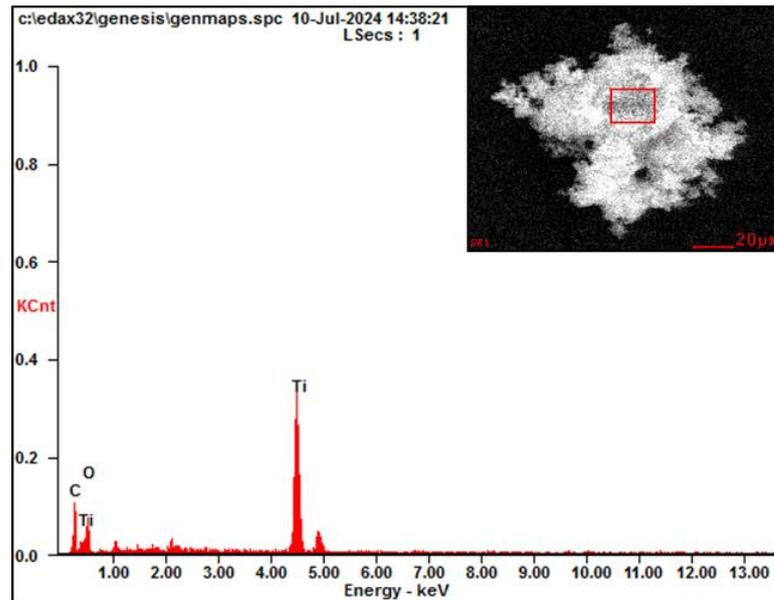


**Gambar 4. 11** Hasil kurva EDX nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 10

**Tabel 4. 6** Komposisi unsur pada nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 10

Elemen	Wt%	At%
CK	8,04	16,79
OK	33,53	52,59
TiK	58,43	30,61

Dari **Gambar 4.11** dan **Tabel 4.6** di atas menunjukkan bahwa komposisi nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pada pH 10 tersusun atas unsur karbon (C), oksigen (O), dan titanium (Ti) dengan persentase masing-masing sebesar 8,04% pada karbon, 33,53% pada oksigen, dan 58,43% pada titanium.



**Gambar 4. 12** Hasil kurva EDX nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 11

**Tabel 4. 7** Komposisi unsur pada nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 11

Elemen	Wt%	At%
CK	11,92	23,14
OK	35	51,01
TiK	53,09	25,85

Dari **Gambar 4.12** dan **Tabel 4.7** di atas menunjukkan bahwa komposisi nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pada pH 11 tersusun atas unsur karbon (C), oksigen (O), dan titanium (Ti) dengan persentase masing-masing sebesar 11,92% pada karbon, 35% pada oksigen, dan 53,09% pada titanium.

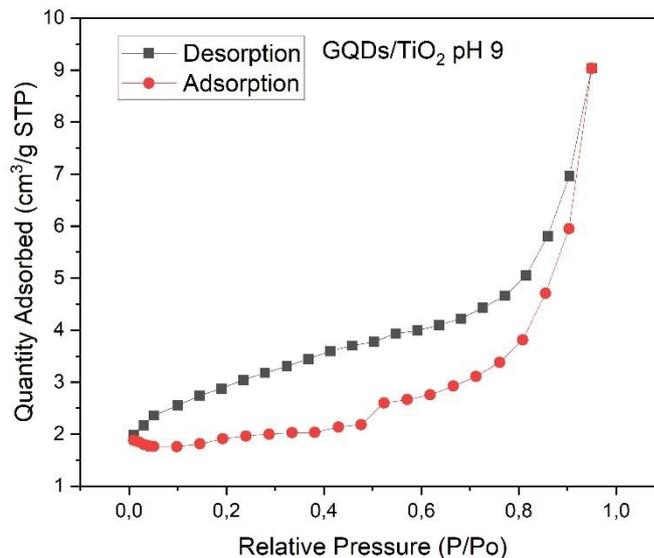
#### 4.1.4 Hasil Pengujian Brunauer, Emmett, and Teller (BET)

Pengujian *Brunauer, Emmett, and Teller* (BET) dilakukan menggunakan mesin Quantachrome Quadrasorb-EVO. Pengujian BET dilakukan untuk mengetahui luas permukaan dari area, ukuran pori-pori sampel, volume pori, dan kemampuan adsorpsi dan desorpsi dari sampel nanokomposit. Adapun nanokomposit dilakukan uji BET karena memiliki morfologi yang mempunyai banyak pori pada permukaan nanokomposit. Pada **Tabel 4.8** menunjukkan hasil pengujian BET pada sampel nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pada variasi pH basa.

**Tabel 4. 8** Hasil pengujian BET

Sampel	Surface Area (m <sup>2</sup> /g)	Ukuran pori (nm)	Volume pori (cm <sup>3</sup> /g)
TiO <sub>2</sub> /GQDs - 9	6,162	4,53	3,987
TiO <sub>2</sub> /GQDs - 11	6,417	8,33	0,027

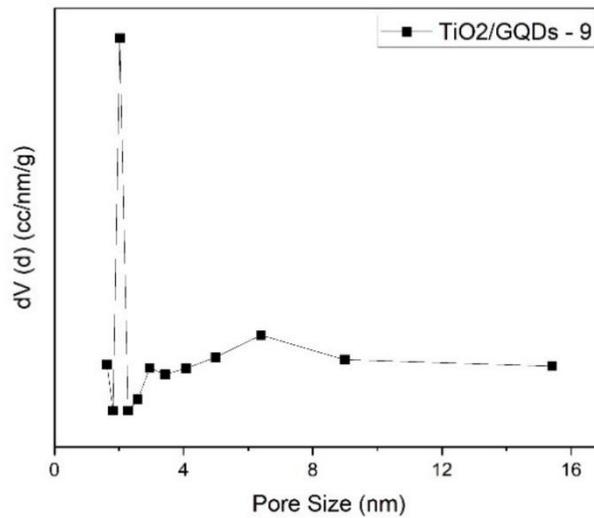
Berdasarkan **Tabel 4.8** menunjukkan hasil dari pengujian BET berupa *surface area*, ukuran pori, dan volume dari pori. Pada nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 9 didapatkan *surface area* sebesar 6,162 m<sup>2</sup>/g, ukuran pori sebesar 4,53 nm, dan volume pori sebesar 3,987 cm<sup>3</sup>/g. Kemudian pada nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 11 didapatkan *surface area* sebesar 6,417 m<sup>2</sup>/g, ukuran pori sebesar 8,33 nm, dan volume pori sebesar 0,027 cm<sup>3</sup>/g. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Bokare et al, 2021 ukuran pori dari TiO<sub>2</sub>/GQDs didapatkan sebesar 2,5 – 7 nm, dimana ukuran pori pada TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 9 sesuai dengan ukuran pori tersebut, sedangkan pada ukuran pori TiO<sub>2</sub>/GQDs terdapat sedikit perbedaan ukuran pori yang berada pada 8,33 nm atau melebihi 7 nm. GQDs memiliki pengaruh dengan menambahkan luas permukaan pada nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs yang memungkinkan menaikkan penyerapan yang terjadi pada polutan (Bokare et al., 2021). Berdasarkan standar *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) 2015, bahwa ukuran pori terbagi atas tiga jenis, yakni mikropori (di bawah 2 nm), mesopori (2-50 nm), dan makropori (di atas 50 nm). Maka sampel nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pada pH 9 dan pH 10 dapat dikategorikan sebagai mesopori karena ukurannya yang ada pada rentang 2-50 nm. Hal ini sesuai dengan referensi, bahwa TiO<sub>2</sub>/GQDs termasuk jenis mesopori.



**Gambar 4. 13** Kurva adsorpsi isothermal nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 9

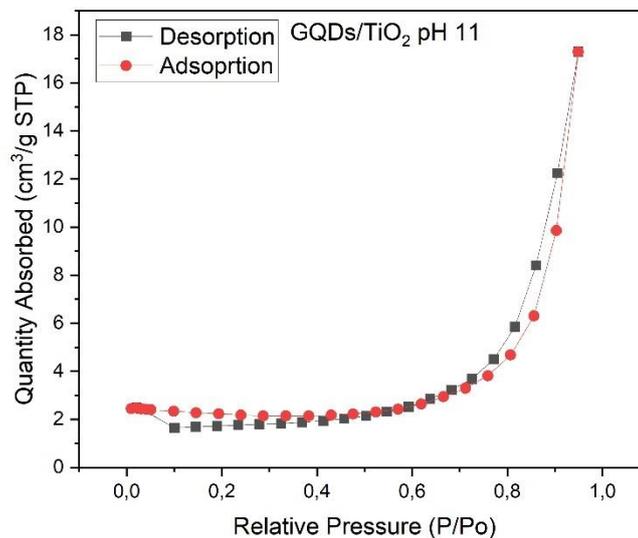
Pada **Gambar 4.13** di atas menunjukkan adsorpsi-desorpsi isothermal dari sampel nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 9. Pada hasil pengujian ini grafik adsorpsi-desorpsi dari TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 9 masuk ke dalam kurva isotherm gabungan. Dapat dikatakan hal ini terjadi karena adanya percabangan pada kurva adsorpsi-desorpsi. Percabangan yang terjadi ini disebut dengan *hysteresis*. Pada kasus ini kurva yang terbentuk merupakan gabungan dari kurva tipe III dan VI. Pada sampel ini menunjukkan histeresis H5 yang mempunyai karakteristik mikro atau mesopori dimana interaksi *adsorption* dan *desorption* relatif lemah. Loop histeresis pada p/po >0,0 tersebut menunjukkan jumlah adsorbat (N<sub>2</sub>) yang tertinggal dalam pori saat desorpsi paling

banyak, ini mengindikasikan bahwa jumlah mesopori pada sampel ini tinggi (Djoko Hartanto et al, 2011).



**Gambar 4.14** Hubungan ukuran pori dengan volume pori Nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pada pH

Adapun pada **Gambar 4.14** menjelaskan mengenai hubungan ukuran pori dengan volume pori dari nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs. Dari kurva tersebut dapat disimpulkan bahwa ukuran pori dari nanokomposit memiliki rentang pori dari 1 – 15 nm dengan nilai maksimal volume pori sebesar 0,00000050922 cm<sup>3</sup>/nm/g berada pada ukuran pori 2 nm, sehingga masuk ke jenis mesopori.

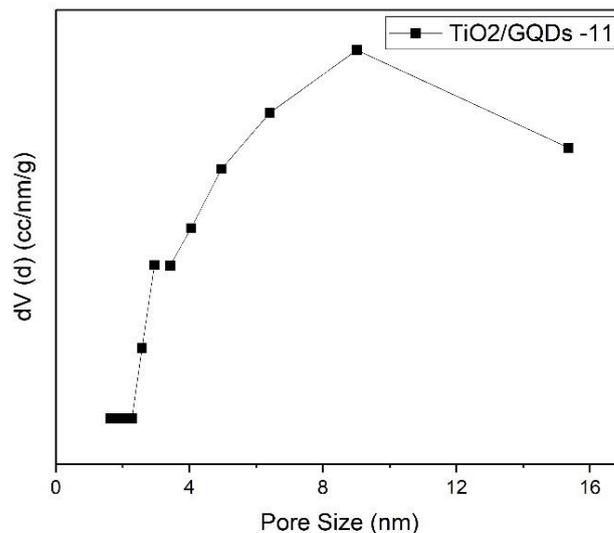


**Gambar 4.15** Kurva adsorpsi isothermal nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 11

Pada **Gambar 4.15** di atas menunjukkan adsorpsi-desorpsi isothermal dari sampel nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 11. Berdasarkan IUPAC, kurva isotherm nanokomposit ini sesuai dengan tipe IV yaitu jenis adsorpsi dari padatan berpori meso, yang memiliki ukuran

pori 2 -50 nm. Interaksi adsorpsi dan desorpsi menunjukkan pola kenaikan secara cepat pada tekanan relatif ( $P/P_0$ ) rendah, kemudian naik perlahan pada tekanan relatif ( $P/P_0$ ) kisaran 0,8 hingga mendekati 1.

Adanya pori yang terdapat pada permukaan akan menyebabkan terjadinya fenomena kondensasi kapiler. Kondensasi kapiler inilah yang menyebabkan terjadinya histeresis. Histeresis yang terjadi pada kurva BET ini ialah histeresis H3. Kemudian pada loop histeresis pada  $P/P_0$  0,0 – 0,22 dan  $>0,7$  dan terlihat kecil, hal ini menunjukkan bahwa jumlah adsorbat ( $N_2$ ) yang tertinggal dalam pori saat desorpsi sedikit, sehingga dapat mengindikasikan mesopori yang terbentuk sedikit.

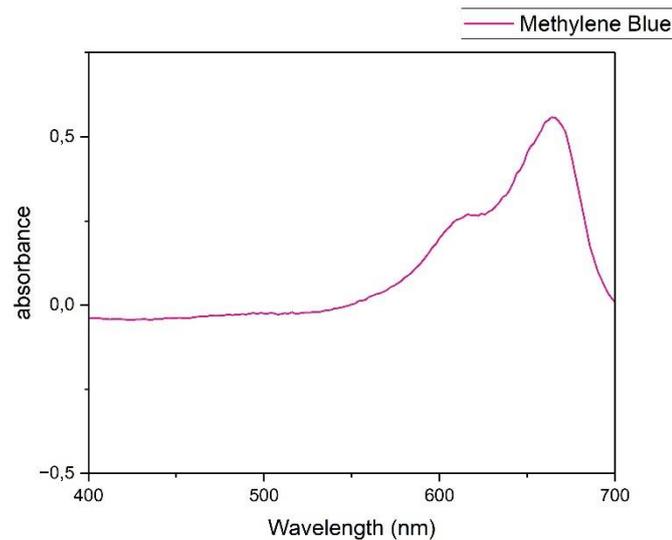


**Gambar 4.16** Hubungan ukuran pori dengan volume pori Nanokomposit  $TiO_2/GQDs$  pada pH 11

Adapun pada **Gambar 4.16** menjelaskan mengenai hubungan ukuran pori dengan volume pori dari nanokomposit  $TiO_2/GQDs$ . Dari kurva tersebut dapat disimpulkan bahwa ukuran pori dari nanokomposit memiliki rentang pori dari 1 – 15 nm dengan nilai maksimal volume pori sebesar  $0,00000020283 \text{ cm}^3/\text{nm}^3/\text{g}$  berada pada ukuran pori 9 nm, sehingga masuk ke jenis mesopori.

#### 4.1.5 Hasil Pengujian UV-Vis

Pengujian UV-Vis yang dilakukan menggunakan alat spektrofotometer GENESYS 150 UV-Vis. Pengujian UV-Vis terlebih dahulu dilakukan pada larutan *methylene blue*, untuk menentukan kurva standar dan rumus acuan untuk memperoleh nilai konsentrasi (ppm) dan persen degradasi. Range panjang gelombang yang digunakan pada pengujian ini adalah 200 - 700nm. Hasil pengujian UV-Vis pada larutan *methylene blue* ditunjukkan pada **gambar 4.17**.



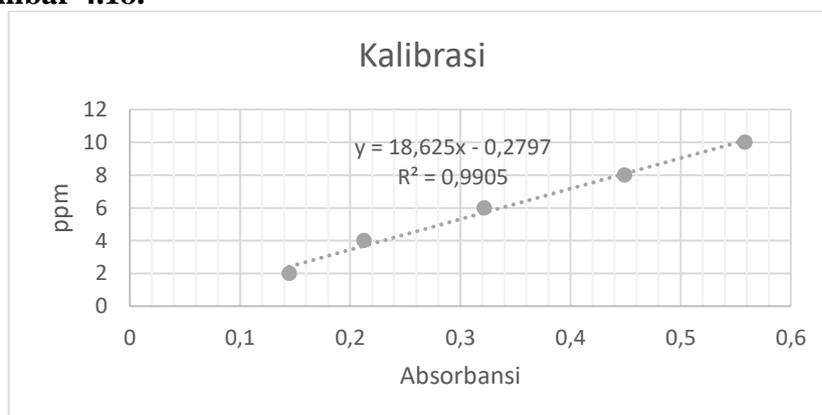
**Gambar 4. 17** Hasil pengujian UV-Vis *methylene blue*

Pada **Gambar 4.17** menunjukkan bahwa *methylene blue* pada konsentrasi 10 ppm memiliki nilai absorbansi yang maksimal, yaitu 0,55815 pada panjang gelombang maksimum sebesar 664 nm. Nilai panjang gelombang maksimum dari *methylene blue* digunakan sebagai acuan dalam pembuatan kurva kalibrasi dengan memasukkan nilai absorbansi yang didapatkan pada deret larutan konsentrasi 2, 4, 6, 8, dan 10 ppm. Nilai absorbansi dari setiap konsentrasi dapat dilihat pada **Tabel 4.9**.

**Tabel 4. 9** Nilai absorbansi *methylene blue*

No	Konsentrasi (ppm)	Nilai Absorbansi
1	2	0,14462
2	4	0,21246
3	6	0,32157
4	8	0,44901
5	10	0,55815

Berdasarkan **Tabel 4.9** menunjukkan data nilai absorbansi pada masing-masing konsentrasi (ppm) larutan berwarna *methylene blue*. Jika dilihat pada tabel tersebut seiring dengan pertambahan konsentrasi (ppm) maka nilai dari absorbansi juga semakin meningkat. Selanjutnya dari data yang sudah didapatkan, ditentukan kurva standar dan persamaan regresi linear pada **gambar 4.18**.



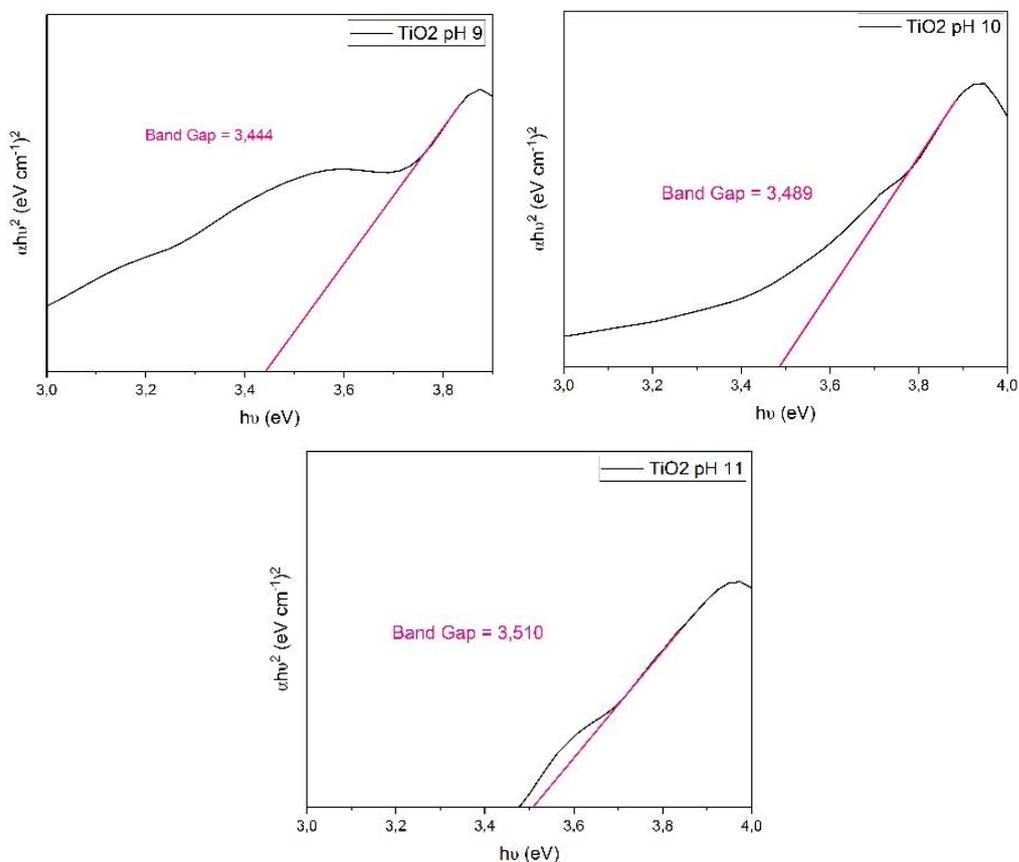
**Gambar 4. 18** Kurva regresi linear hubungan konsentrasi terhadap absorbansi *methylene blue*

Berdasarkan pada kurva tersebut diperoleh persamaan regresi linear yakni  $y = 18,625x - 0,2797$  dimana  $y$  merupakan besaran konsentrasi, kemudian  $x$  merupakan nilai absorbansi. Adapun koefisien korelasi  $R^2 = 0,990$  yang di mana hampir mendekati angka satu. Nilai  $R^2$  yang mendekati satu menunjukkan bahwa adanya korelasi yang kuat serta hubungan yang linier antara konsentrasi dan absorbansi. Hal ini selaras dengan hukum *Lambert-Beer* bahwa konsentrasi berbanding lurus dengan absorbansi, semakin tinggi konsentrasi maka semakin besar nilai absorbansi (Ahriani, 2021).

Kemudian melalui pengujian UV-Vis dilakukan pengujian pada sampel  $\text{TiO}_2$  pH basa untuk mengetahui *band gap* dari masing-masing sampel. *Band gap* dilakukan untuk mengetahui sifat dari sampel ini bersifat konduktor, semikonduktor, atau insulator.

Pengujian UV-Vis pada sampel ini dilakukan dengan melarutkan sampel menggunakan larutan etanol pada konsentrasi rendah. Melalui pengujian UV-Vis ini dapat diperoleh nilai *band gap* (celah pita) dari material  $\text{TiO}_2$  variasi pH basa. Nilai *band gap* ini dapat mengklasifikasikan material  $\text{TiO}_2$  ini memiliki sifat material yang konduktor, semikonduktor, atau insulator. *Band gap energy* memiliki hubungan dengan banyaknya energi minimum yang dibutuhkan untuk elektron dapat tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi. Jika nilai dari *band gap energy* kecil, maka material ini membutuhkan energi yang tinggi untuk dapat bereksitasi dan begitu juga sebaliknya jika *band gap energy* tinggi.

*Band gap energy* didapatkan dengan mengonversi data UV-Vis menggunakan *Tauc plot* kedalam plot kurva  $h\nu$  vs  $(\alpha h\nu)^2$ . Nilai *band gap energy* didapatkan melalui penarikan garis lurus mengikuti gradien dari kurva yang terbentuk. Sehingga dapat diperoleh nilai *band gap energy* dari material  $\text{TiO}_2$  yang disintesis menggunakan  $\text{TiCl}_3$  pada pH 9, pH 10, dan pH 11 yang ditunjukkan pada **Gambar 4.19** dan **Tabel 4.10**.



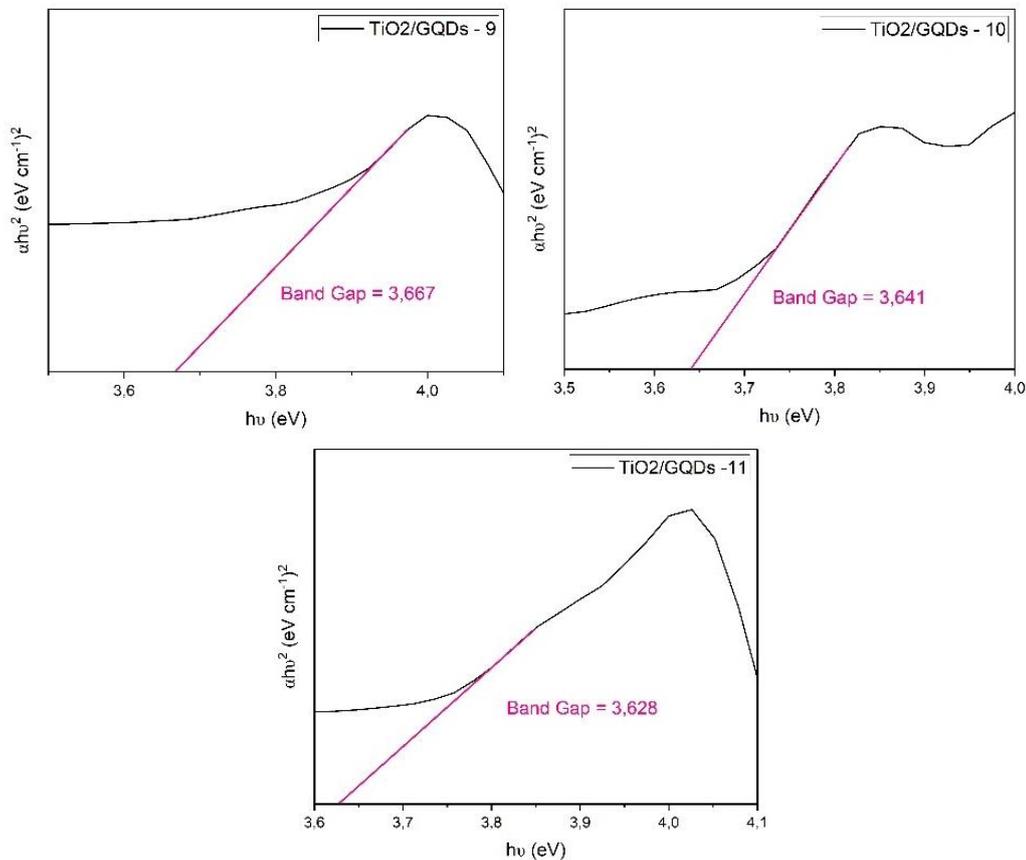
**Gambar 4. 19** Energi *band gap* pada material  $\text{TiO}_2$  pada pH 9, pH 10, dan pH 11

**Tabel 4. 10** Hasil perhitungan energi *band gap*

Sampel	<i>Band gap</i> (eV)
TiO <sub>2</sub> pH 9	3.444
TiO <sub>2</sub> pH 10	3.489
TiO <sub>2</sub> pH 11	3.510

Berdasarkan **Gambar 4.19** dan **Tabel 4.10** yang didapatkan nilai *band gap energy* pada TiO<sub>2</sub> pH 9, pH 10, dan pH 11 berturut-turut adalah 3.444 eV, 3.489 eV, dan 3.510 eV. Adapun nilai *band gap energy* dari material semikonduktor TiO<sub>2</sub> sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan dengan memperoleh *band gap* sebesar 3.2 - 3.8 eV (Bekti et al., 2014).

Selanjutnya dilakukan pengujian UV-Vis pada nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs dengan variasi pH basa 9, 10, dan 11. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besaran *band gap* dari nanokomposit. Berikut nilai *band gap energy* yang diperoleh pada nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 9, pH 10, dan pH 11.



**Gambar 4. 20** Energi *band gap* nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 9, pH 10, dan pH 11

**Tabel 4. 11** Hasil perhitungan energi *band gap*

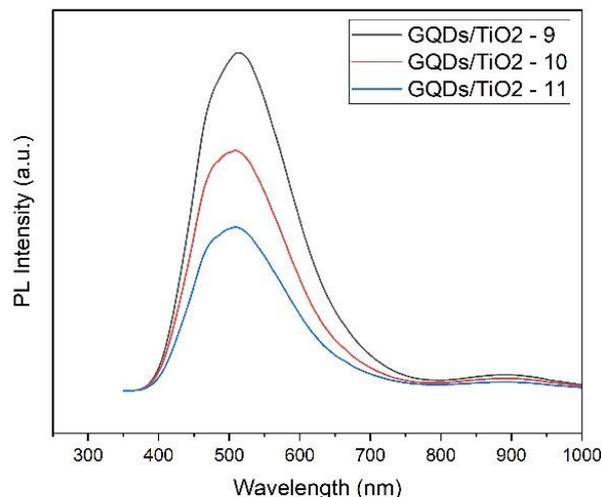
Sampel	<i>Band gap</i> (eV)
TiO <sub>2</sub> /GQDs pH 9	3.667
TiO <sub>2</sub> /GQDs pH 10	3.641
TiO <sub>2</sub> /GQDS pH 11	3.628

Berdasarkan **Gambar 4.20** dan **Tabel 4.11** yang didapatkan nilai *band gap energy* pada TiO<sub>2</sub> pH 9, pH 10, dan pH 11 berturut-turut adalah 3.667 eV, 3.641 eV, dan 3.628 eV. Adapun

nilai *band gap energy* dari material nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs dari semua variasi pH tidak terjadi perubahan besar pada energi *band gap* yang didapatkan. Jika dilihat dari energi *band gap* yang didapatkan, dengan adanya penambahan GQDs pada TiO<sub>2</sub> mengakibatkan kenaikan pada energi *band gap*. Hal ini dapat disebabkan karena adanya pengotor CaCO<sub>3</sub> pada nanokomposit. Berdasarkan penelitian sebelumnya pernah dilakukan adanya CaCO<sub>3</sub> pada TiO<sub>2</sub> dapat menaikkan *band gap*. Pada kasus penelitian tersebut TiO<sub>2</sub> memiliki *band gap* 3.2 eV, ketika ditambahkan CaCO<sub>3</sub> terjadi perubahan *band gap* yakni 3,59 eV (Kaur & Verma, 2014). Hal ini menyebabkan terjadinya kenaikan *band gap* pada nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs. Kemudian, jika dilihat dari *band gap* yang didapatkan, semakin naik pH pada nanokomposit, maka *band gap* semakin menurun walau tidak terjadi penurunan yang signifikan.

#### 4.1.6 Hasil Pengujian Micro Photoluminescence (PL)

Pengujian *Micro Photoluminescence* (PL) dilakukan pada semua sampel nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs variasi pH basa. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin *Micro Photoluminescence* tipe iHR320 dengan *range wavelength* yang digunakan 300-1200 nm. Pengujian PL dilakukan untuk mengetahui sifat fotofisika dan fotokimia dari sampel semikonduktor. Sifat yang diketahui dapat berupa sifat yang berhubungan dengan aktivitas fotokatalitik. Hasil pengujian PL dapat dilihat pada **gambar 4.21**.



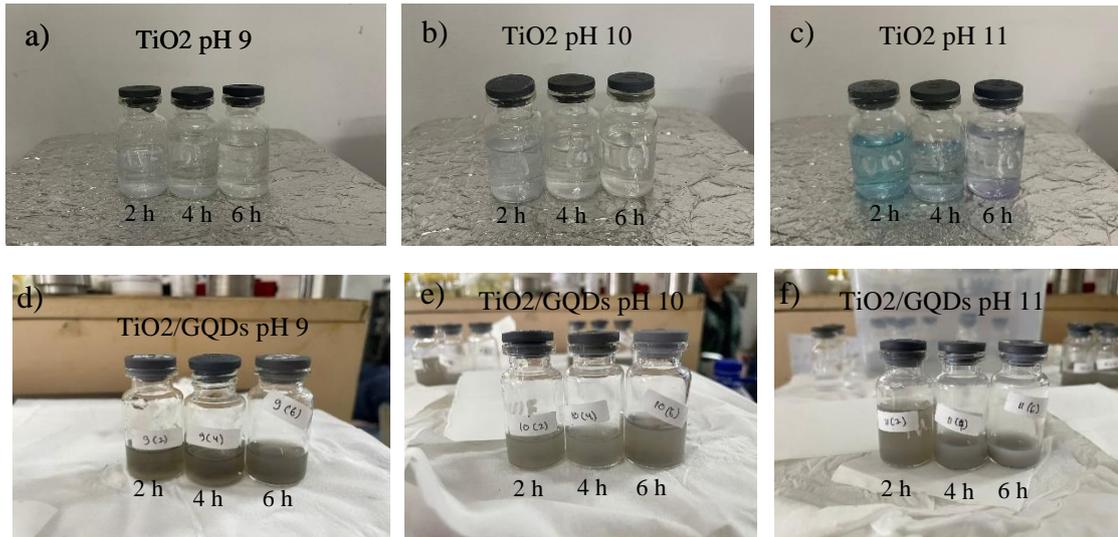
**Gambar 4. 21** Spektrum PL nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pada pH 9, pH 10, dan pH 11

Jika dilihat pada **Gambar 4.21** pada *wavelength* 508nm nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 9 memiliki *intensity peak* yang paling tinggi dibandingkan dengan nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 10 dan pH 11. Menurut jurnal Hao et al, 2016 menunjukkan spektrum PL nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs berada pada *wavelength* 514nm. *Peak wavelength* yang terbentuk sesuai dengan referensi tersebut.

Kemudian berdasarkan hasil pengujian PL, menunjukkan semakin tinggi pH TiO<sub>2</sub> yang digunakan untuk nanokomposit maka semakin kecil intensitas PL yang didapatkan. Intensitas dari pengujian PL menandakan semakin tingginya intensitas maka semakin meningkatnya jumlah emisi foton yang dihasilkan dari rekombinasi elektron-hole yang berarti efisiensi pemisahan akan lebih rendah dan aktivitas fotokatalitiknya juga rendah (Wellia, 2014). Oleh karena itu, nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 11 memiliki aktivitas fotokatalitik yang lebih baik dibandingkan dengan nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 9 dan pH 10, karena intensitas PL yang rendah.

#### 4.1.7 Hasil Pengujian Fotokatalitik

Pengujian fotokatalitik dilakukan untuk mengetahui hasil kinerja katalis  $\text{TiO}_2$  yang telah dikompositkan dengan *Graphene Quantum Dots* dalam pendegradasian polutan *methylene blue*. Pengujian fotokatalis dilakukan dengan penambahan GQDs dan memvariasikan pH dalam sintesis  $\text{TiO}_2$ . Variasi pH yang digunakan ialah pH 9, pH 10, dan pH 11. Pengujian fotokatalis dilakukan terhadap polutan *methylene blue* dengan besaran konsentrasi 10 ppm. Adapun waktu iradiasi yang dilakukan selama 6 jam dengan pengambilan sampel dilakukan berulang-ulang per 2 jam dengan bantuan sinar UV 20 watt.



**Gambar 4.22** Pengamatan visual larutan *methylene blue* setelah uji fotokatalisis berdasarkan pH dengan (a)  $\text{TiO}_2$  pH 9, (b)  $\text{TiO}_2$  pH 10, (c)  $\text{TiO}_2$  pH 11, (d)  $\text{TiO}_2/\text{GQDs}$  pH 9, (e)  $\text{TiO}_2/\text{GQDs}$  pH 10, (f)  $\text{TiO}_2/\text{GQDs}$  pH 11

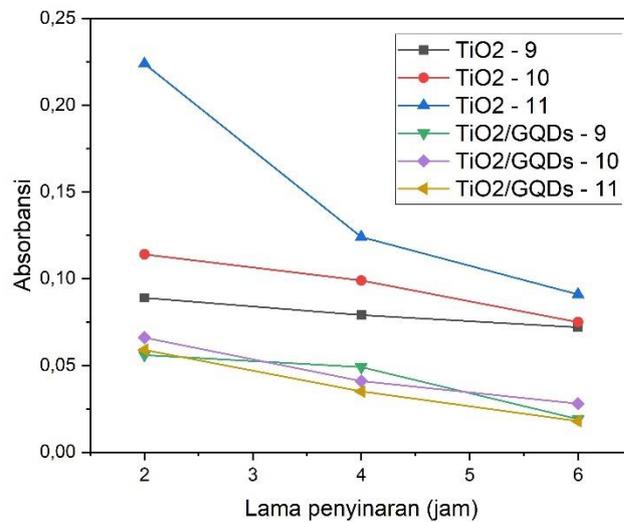
*Band gap*  $\text{TiO}_2$  yang didapatkan pada sintesis ini pada pH 9, pH 10, dan pH 11 secara berturut-turut adalah 3.444 eV, 3.489 eV, dan 3.510 eV. Kemudian *band gap* nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{GQDs}$  pada pH 9, pH 10, dan pH 11 secara berturut-turut adalah 3,667 eV, 3,641 eV, dan 3,638 eV. Sehingga penggunaan lampu UV pada uji fotokatalisis sangat sesuai karena lampu UV memiliki rentang panjang gelombang di 100 – 40 nm. Adapun data nilai absorbansi larutan dari semua sampel yang sudah dilakukan pada pengujian UV-Vis ditunjukkan pada **Tabel 4.12**.

**Tabel 4.12** Nilai absorbansi larutan *methylene blue* setiap katalis sampel katalis

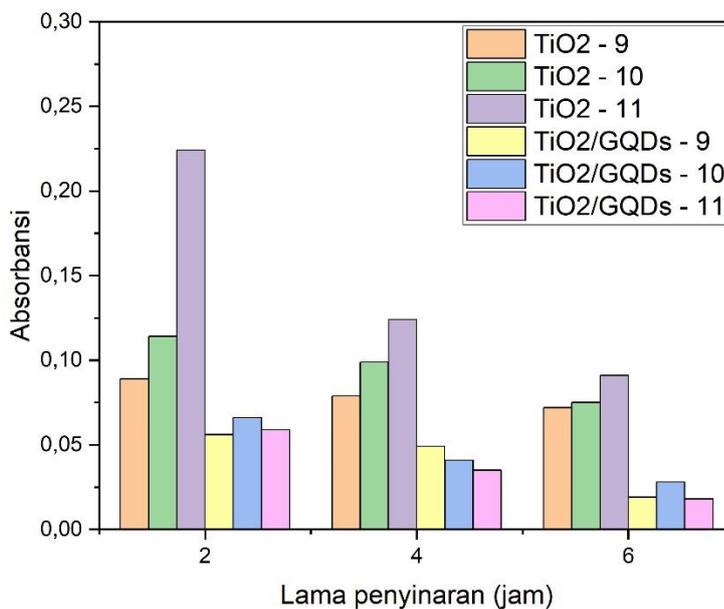
Lama Penyinaran (Jam)	$\text{TiO}_2$			$\text{TiO}_2/\text{GQDs}$		
	pH 9	pH 10	pH 11	pH 9	pH 10	pH 11
2	0,089	0,114	0,224	0,056	0,066	0,059
4	0,079	0,099	0,124	0,049	0,041	0,035
6	0,072	0,075	0,091	0,019	0,028	0,018

Berdasarkan **Tabel 4.12** menunjukkan data hasil UV-Vis yaitu berupa nilai absorbansi pada masing-masing sampel dengan penyinaran selama 6 jam di bawah lampu UV. Adapun nilai absorbansi yang diperoleh pada masing-masing sampel memiliki nilai yang berbeda-beda.

Selanjutnya data tersebut digunakan untuk membuat kurva absorbansi *methylene blue* yang ditunjukkan pada **Gambar 4.23** dan **Gambar 4.24**.



**Gambar 4. 23** Kurva nilai absorbansi TiO<sub>2</sub> dan nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pada variasi pH basa terhadap *methylene blue*



**Gambar 4. 24** Diagram batang nilai absorbansi TiO<sub>2</sub> dan nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pada variasi pH basa terhadap *methylene blue*

Berdasarkan **Gambar 4.23** dan **Gambar 4.24** menunjukkan bahwa rata-rata semakin lama waktu penyinaran pada proses fotokatalis, maka semakin menurun juga nilai absorbansi yang diperoleh pada masing-masing sampel. Dengan menurunnya nilai absorbansi dari sampel ini, dapat mengindikasikan terjadinya degradasi pada larutan pewarna *methylene-blue*. Pada sampel TiO<sub>2</sub> pH 9, pH 10, dan pH 11 mampu mendegradasi larutan *methylene blue* selama 2 jam dengan perolehan absorbansi setiap interval 2 jam sebesar secara berturut-turut pada pH 9

ialah 0,089, 0,079, dan 0,072. Pada pH 10 sebesar 0,114, 0,099, dan 0,75. Kemudian pada pH 11 sebesar 0,224, 0,124, dan 0,091.

Selanjutnya nilai absorbansi pada nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDS dengan variasi pH basa TiO<sub>2</sub> pH 9 yakni sebesar 0,019, 0,056, dan 0,049. Pada nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs variasi pH 10 sebesar 0,066, 0,041, dan 0,028. Kemudian pada nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs variasi pH 11 sebesar 0,059, 0,035, dan 0,018. Hal ini menunjukkan bahwa nilai absorbansi pada sampel TiO<sub>2</sub> murni memiliki performa degradasi lebih kecil dibandingkan nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs. Perolahan data nilai absorbansi menunjukkan bahwa nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pada pH 9, pH 10, dan pH 11 pada lama penyinaran waktu 2 jam sebesar 0,056, 0,066, dan 0,059. Pada lama penyinaran 4 jam sebesar 0,049, 0,041, dan 0,035. Kemudian pada rentang waktu 6 jam sebesar 0,019, 0,028, dan 0,018.

Nilai absorbansi (y) dari masing-masing katalis selanjutnya disubstitusikan kedalam persamaan regresi linear  $y = 18,625x - 0,2797$ , maka akan didapatkan nilai konsentrasi (x) dari larutan *methylene blue* daring masing-masing penambahan katalis yang ditunjukkan pada **Tabel 4.13**.

**Tabel 4.13** Nilai konsentrasi (ppm) larutan *methylene-blue* di setiap sampel

Lama Penyinaran (Jam)	TiO <sub>2</sub>			TiO <sub>2</sub> /GQDs		
	9	10	11	9	10	11
2	1,3781	1,8437	3,8925	0,7635	0,9497	0,8193
4	1,1918	1,5643	2,03	0,6331	0,4841	0,3723
6	1,0615	1,1173	1,4151	0,0743	0,2420	0,0557

Berdasarkan **Tabel 4.13** menunjukkan data hasil pengujian UV-Vis dalam nilai ppm/t dari masing-masing sampel yang sudah ditambahkan katalis dan dilakukan penyinaran selama 6 jam menggunakan lampu UV. Adanya relasi antara lama penyinaran dengan interval 2 jam hingga mencapai 6 jam dengan konsentrasi (ppm) larutan *methylene blue*, yaitu semakin lama penyinaran menggunakan sinar UV, maka nilai konsentrasi (ppm) larutan *methylene blue* akan semakin kecil. Dengan semakin kecilnya nilai konsentrasi (ppm) larutan *methylene blue* ini menunjukkan terjadinya degradasi dan semakin besar persentase degradasi pada larutan *methylene blue*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa terjadinya penurunan konsentrasi (ppm) dari larutan *methylene blue* seiring dengan lama waktu penyinaran menggunakan lampu UV.

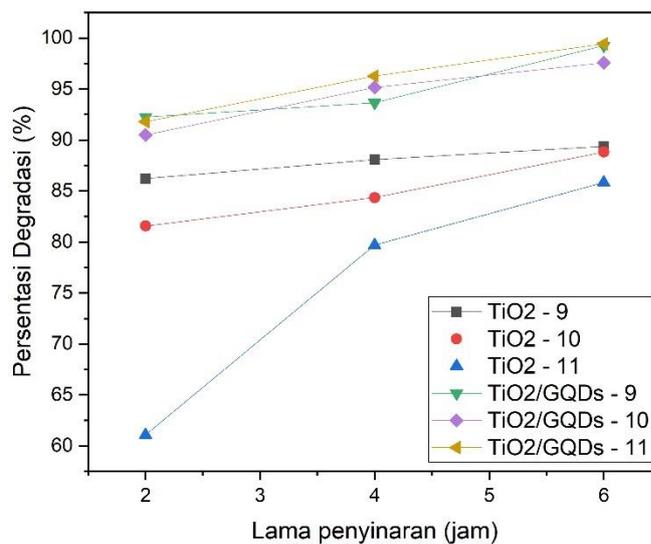
Selama proses uji fotokatalitik selama 6 jam pada TiO<sub>2</sub> murni pada variasi pH mampu mendegradasi konsentrasi (ppm) berturut-turut mengikuti interval waktu sebesar, pada pH 9 yakni 1,3781, 1,1918, dan 1,0615. Pada pH 10 sebesar 1,8437, 1,5643, dan 1,1173. Kemudian pada pH 11 sebesar 3,8925, 2,03, dan 1,415. Sedangkan pada nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pada pH 9 sebesar 0,7635, 0,6331, dan 0,0743. Pada nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pada pH 10 sebesar 0,9497, 0,4841, dan 0,2420. Kemudian pada nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pada pH 11 sebesar 0,8193, 0,3723, dan 0,0557.

Selanjutnya setelah didapatkan konsentrasi (ppm) dari larutan *methylene blue* setelah uji fotokatalitik, dilakukan perhitungan untuk mengetahui persentase degradasi dari larutan *methylene blue*. Nilai persentase degradasi larutan *methylene blue* dapat dilihat pada **Tabel 4.14**.

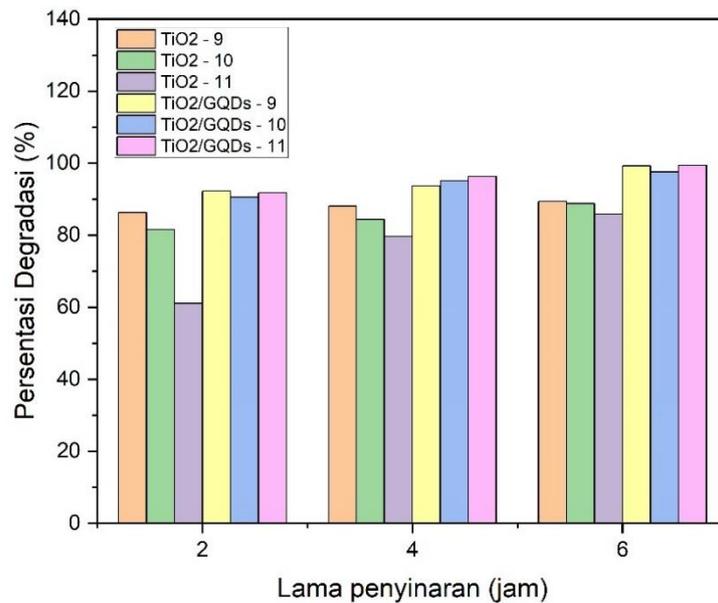
**Tabel 4. 14** Nilai persentase degradasi larutan *methylene blue* di setiap sampel

Lama Penyinaran (Jam)	TiO <sub>2</sub>			TiO <sub>2</sub> /GQDs		
	9	10	11	9	10	11
2	86,218%	81,562%	61,075%	92,256%	90,502%	91,806%
4	88,081%	84,356%	79,7%	93,668%	95,158%	96,276%
6	89,385%	88,826%	85,846%	99,256%	97,58%	99,425%

Selanjutnya data dari **Tabel 4.14**, didapatkan kurva persentase degradasi *methylene blue* yang ditunjukkan pada **Gambar 4.25** dan **Gambar 4.26**.



**Gambar 4. 25** Grafik nilai persentase degradasi TiO<sub>2</sub> dan nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pada variasi pH basa terhadap *methylene blue*



**Gambar 4. 26** Kurva nilai persentase degradasi TiO<sub>2</sub> dan nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pada variasi pH basa terhadap *methylene blue*

Berdasarkan **Gambar 4.25** dan **Gambar 4.26** menunjukkan kurva persentase degradasi *methylene blue* dengan sampel katalis TiO<sub>2</sub> dan nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pada variasi pH basa. Kurva di atas membandingkan nilai persentase degradasi terhadap lama penyinaran selama 6 jam menggunakan sinar UV. Adapun nilai absorbansi, konsentrasi (ppm), dan persentase degradasi saling berkaitan satu sama lain. Ketiganya menunjukkan besar degradasi *methylene blue*. Semakin kecil nilai absorbansi, maka semakin kecil juga nilai konsentrasi (ppm) *methylene blue*, sehingga akan meningkatkan nilai persentase degradasi. Semua sampel menunjukkan adanya kenaikan tren pada nilai persentase degradasi setiap interval 2 jam. Adapun pada sampel TiO<sub>2</sub> murni pada variasi pH basa merupakan variabel dengan nilai persentase degradasi terkecil, yaitu pH 11. Pada nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs dengan variasi pH basa sebesar pH 10. Pada nanokomposit terjadi peningkatan yang signifikan pada persentase degradasi. Perubahan persentase degradasi yang terjadi antara TiO<sub>2</sub> murni dengan nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs juga dipengaruhi karena penambahan GQDs pada TiO<sub>2</sub> yang menyebabkan terjadi perubahan *band gap*.

**Gambar 4.27**, **Gambar 4.28**, dan **Gambar 4.29** menampilkan plot reaksi linear yang mengikuti orde nol, orde pertama, dan orde kedua dari setiap sampel untuk mengetahui kinetika degradasi polutan. Dalam orde nol, laju reaksi tidak dipengaruhi oleh perubahan konsentrasi sehingga persamaannya ditunjukkan melalui **Persamaan 4.1**. Dari **Persamaan 4.1** kemudian diintegrasikan menjadi **Persamaan 4.2** dengan nilai awal  $C = C_0$  pada  $t = 0$  dan nilai akhir  $C = C$  pada  $t = t$ .

$$\frac{dC}{dt} = -k \quad (4.1)$$

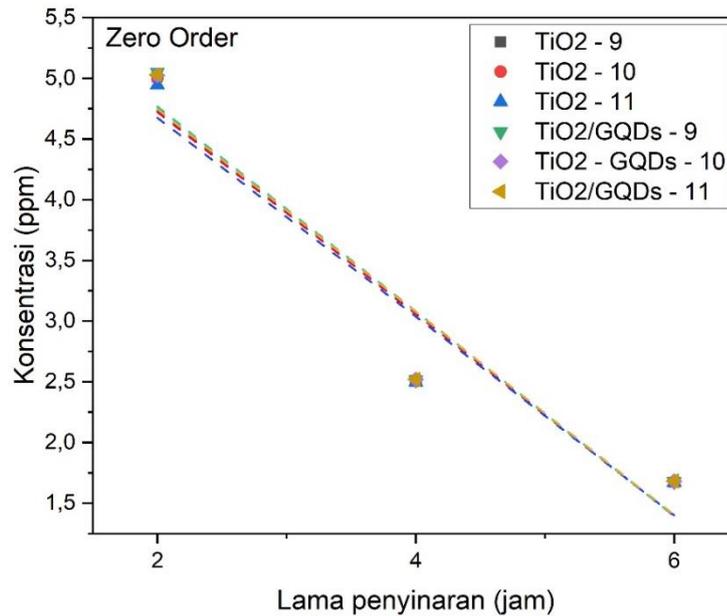
$$C = -kt + C_0 \quad (4.2)$$

Dimana,

$C_0$ : Konsentrasi *Methylene Blue* (ppm)

t : Waktu (jam)

k : Konstanta laju reaksi ( $\text{ppm jam}^{-1}$ )



**Gambar 4. 27** Grafik konsentrasi *methylene blue* terhadap waktu sesuai kinetika *zero order*

Untuk orde pertama, laju reaksinya ditunjukkan melalui **Persamaan 4.3** sedangkan **Persamaan 4.4** merupakan integrasi dari **Persamaan 4.3**

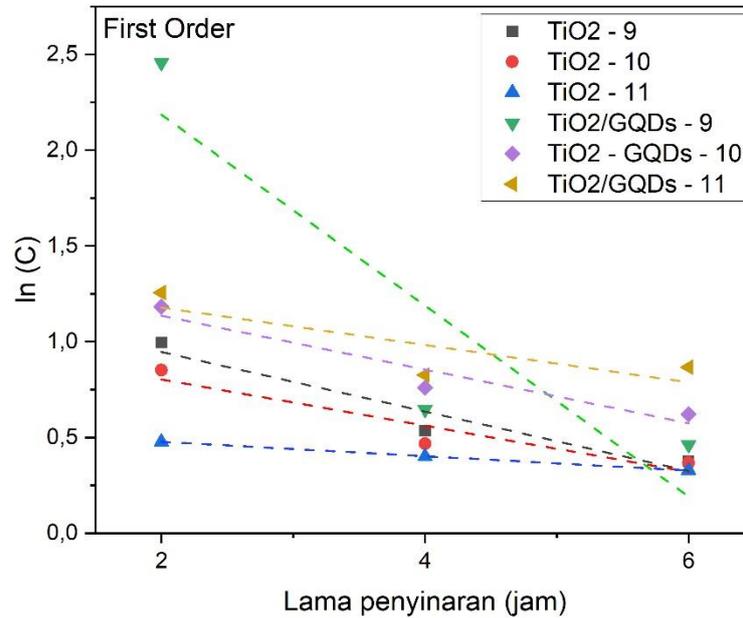
$$\frac{dc}{dt} = -kC \quad (4.3)$$

$$\ln C = -kt + \ln C_0 \quad (4.4)$$

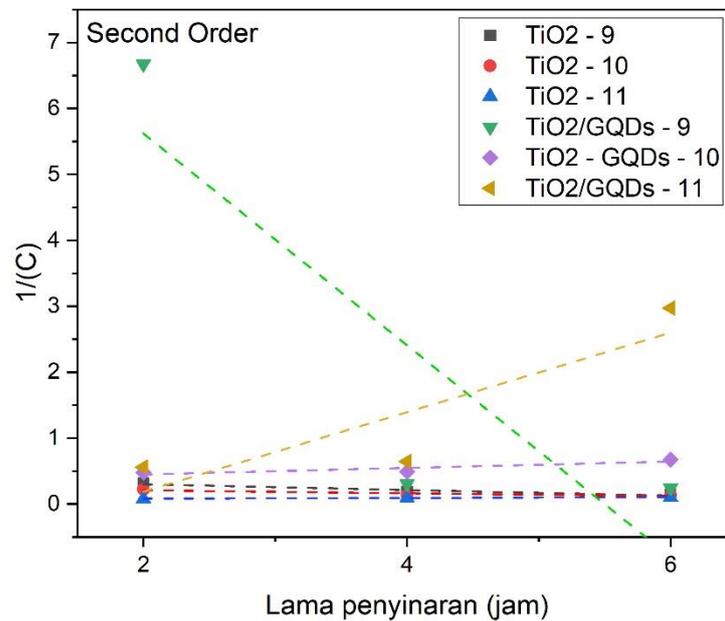
Orde pertama memiliki defisini bahwa kecepatan reaksi hanya bergantung pada salah satu zat yang bereaksi atau sebanding dengan salah satu pangkat reaktannya. Sedangkan orde kedua adalah laju reaksi berbanding lurus dengan hasil kali konsentrasi dua reaktannya atau dengan kuadrat konsentrasi salah satu reaktannya (Sanjaya & Agustine, 2015). Untuk orde kedua, persamaan laju reaksi dan hasil integrasinya ditunjukkan melalui **Persamaan 4.5** dan **Persamaan 4.6**.

$$\frac{dc}{dt} = kC^2 \quad (4.5)$$

$$\frac{1}{c} = -kt + \frac{1}{c_0} \quad (4.6)$$



Gambar 4. 28 Grafik  $\ln C$  terhadap waktu sesuai kinetika *first order*



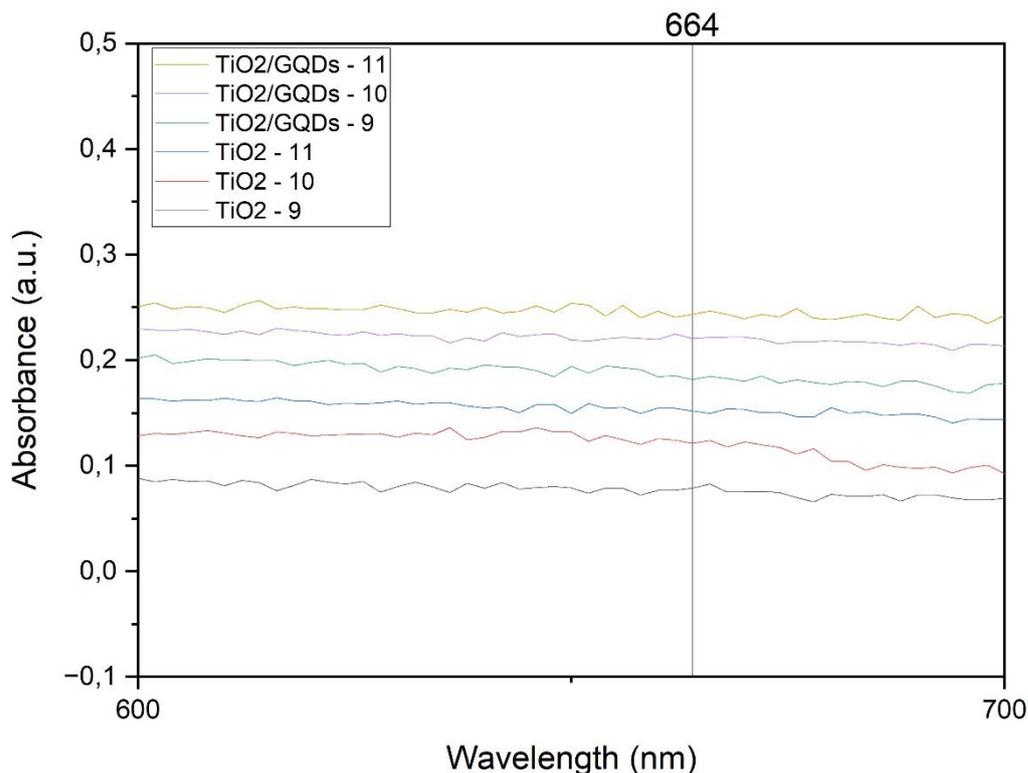
Gambar 4. 29 Grafik  $1/C$  terhadap waktu sesuai kinetika *second order*

Tabel 4. 15 Perbandingan kinetika dekadasi *methylene blue* sesuai *zero order*, *first order*, dan *second order*

Sampel	Zero Order		First Order		Second Order	
	k (ppm.h <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	k (h <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	k (ppm.h) <sup>-1</sup>	R <sup>2</sup>
TiO <sub>2</sub> - 9	1,674007	0,92314	0,37574	0,9264	0,140535	0,92732

<b>TiO<sub>2</sub> – 10</b>	1,673507	0,9228	0,367201	0,89636	0,132694	0,77027
<b>TiO<sub>2</sub> – 11</b>	1,670841	0,92452	0,32782	0,99992	0,101302	0,84458
<b>TiO<sub>2</sub>/GQDs – 9</b>	1,677841	0,92215	0,461868	0,81859	0,246769	0,75653
<b>TiO<sub>2</sub>/GQDs – 10</b>	1,681341	0,9233	0,622157	0,92059	0,67233	0,80596
<b>TiO<sub>2</sub>/GQDs – 11</b>	1,683007	0,92323	0,866833	0,67127	0,78344	0,77666
<b>Rata-rata</b>	-	0,92319	-	0,872188	-	0,813553

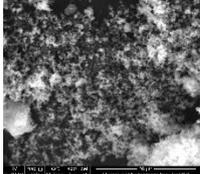
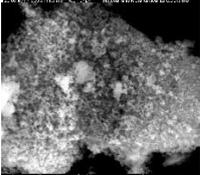
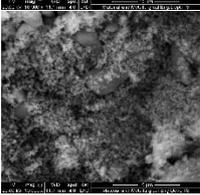
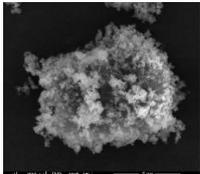
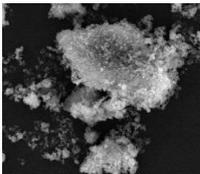
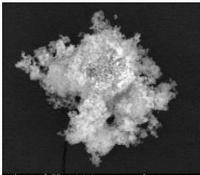
Pada **Tabel 4.15** menunjukkan bahwa konstanta laju reaksi ( $k$ ) dan korelasi koefisien ( $R^2$ ) dari masing-masing orde reaksi pada setiap sampel. Dari data yang didapatkan kinetika reaksi pada orde nol korelasi koefisiennya mencapai 92,31%, pada orde pertama mencapai 87,21%, dan orde kedua mencapai 81,35%. Ini menunjukkan bahwa kinetika degradasi dari *methylene blue* mengikuti model dari reaksi orde nol.



**Gambar 4. 30** Wavelength TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub>/GQDs pada variasi pH Basa

Pada **Gambar 4.30** menunjukkan hubungan nilai absobransi dengan panjang gelombang pada TiO<sub>2</sub> pH 9, pH 10, dan pH 11 serta variasi nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs. Diperoleh bahwa larutan pewarna *methylene blue* 10 ppm dengan *wavelength* 664 nm. Nilai absorban tertinggi dimiliki oleh TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 11 dan paling rendah pada TiO<sub>2</sub> pH 9.

**Tabel 4. 16** Tabulasi hasil pengujian

Sampel	SEM	EDX	XRD	BET	PL	Persen degradasi selama 6 jam
TiO <sub>2</sub> – 9		-	2θ = 25,5 2θ = 38,10 2θ = 48,34 2θ = 54,18	-	-	89,385%
TiO <sub>2</sub> – 10		-	2θ = 25,29 2θ = 37,99 2θ = 48,26 2θ = 54,03	-	-	88,826%
TiO <sub>2</sub> – 11		-	2θ = 25,49 2θ = 37,92 2θ = 48,19 2θ = 54,03	-	-	85,846%
TiO <sub>2</sub> /GQDs – 9		CK = 15,25% OK = 35,96% TiK = 48,79%	2θ = 25,41 2θ = 29,47 2θ = 37,88 2θ = 48,10	Surface area = 6,162 m <sup>2</sup> /g Ukuran pori = 4,53 nm Volume pori = 3,987 cm <sup>3</sup> /g	Intensity = 19,979	99,256%
TiO <sub>2</sub> /GQDs – 10		CK = 8,04% OK = 33,53% TiK = 58,43%	2θ = 25,33 2θ = 29,46 2θ = 37,86 2θ = 48,10	-	Intensity = 14.115	97,58%
TiO <sub>2</sub> /GQDs – 11		CK = 11,92% OK = 35% TiK = 53,09%	2θ = 25,36 2θ = 29,45 2θ = 37,88 2θ = 48,09	Surface area = 6,417 m <sup>2</sup> /g Ukuran pori = 8,33 nm Volume pori = 0,027 cm <sup>3</sup> /g	Intensity = 9.623	99,425%

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil pada penelitian ini, antara lain:

1. Sintesis TiO<sub>2</sub> dari TiCl<sub>3</sub> dengan pH basa 9, 10, dan 11 membentuk material dengan bentuk spherical dan aglomerasi. Analisis XRD menunjukkan fase anatase dengan ukuran kristal pada pH 9, pH 10, dan pH 11 secara berturut-turut adalah 34,790 nm, 20,282 nm, dan 54,087 nm. FTIR mengindikasikan adanya gugus O-H dan Ti-O. Band gap TiO<sub>2</sub> meningkat seiring dengan naiknya pH, yakni 3,444 eV pada pH 9, 3,489 eV pada pH 10, dan 3,510 eV pada pH 11. Dalam uji fotokatalitik, TiO<sub>2</sub> pada pH 9 menunjukkan persentase degradasi tertinggi sebesar 89,385% setelah 6 jam, diikuti oleh pH 10 sebesar 88,826% dan pH 11 sebesar 85,846%. Secara keseluruhan, TiO<sub>2</sub> pada pH 9 memiliki performa terbaik dalam degradasi fotokatalitik.
2. Sintesis nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs berhasil dilakukan dengan dibuktikan melalui beberapa hasil dari pengujian karakteristik. Pada hasil uji SEM menunjukkan bahwa TiO<sub>2</sub> sebagai matriks melekat pada GQDs yang berperan sebagai *filler*. Pada hasil EDX menunjukkan adanya atom-atom seperti Ti, O, dan C yang mengindikasikan nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs. Morfologi yang terbentuk pada nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs berupa lapisan tipis yang menumpuk sebagai GQDs dan *spherical* dan cenderung beraglomerat disela-sela lapisan tersebut sebagai TiO<sub>2</sub> anatase. Pada hasil uji XRD nanokomposit, menunjukkan terbentuknya nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs dengan adanya pengotor CaCO<sub>3</sub>. Pada hasil uji FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi O-H *stretching*, O-C-O *stretching vibrations*, C-O *stretching*, Ti-O-Ti *stretching*, dan Ti-O-C *stretching* yang mengindikasikan adanya material TiO<sub>2</sub> dan GQDs pada nanokomposit. Pada hasil uji BET didapatkan *surface area* sebesar 6,162 m<sup>2</sup>/g untuk TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 9 dan 6,417 m<sup>2</sup>/g untuk ukuran pori dari TiO<sub>2</sub>/GQDs yang tergolong dalam ukuran mesopori. Selanjutnya pada hasil uji UV-Vis dilakukan untuk mengetahui *band gap* pada nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 9, pH 10, dan pH 11, yang didapatkan sebesar 3,667 eV, 3,641 eV, dan 3,628 eV. Semakin naik pH pada nanokomposit, maka *band gap* yang didapatkan semakin kecil. Selanjutnya pada hasil uji PL didapatkan data intensitas nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pada pH 9, pH 10, dan pH 11 sebesar 19.979, 14.115, dan 9.623 yang mana seiring dengan kenaikan pH, maka terjadi penurunan intensitas.
3. Dilakukan uji fotokatalitik pada nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 9, pH 10, dan pH 11 terhadap polutan *methylene blue* untuk mengetahui degradasi yang terjadi. Nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs mampu mendegradasi larutan pewarna *methylene blue* dengan lama waktu penyinaran selama 6 jam dengan menggunakan lampu UV. Hasil persentase degradasi yang diperoleh berturut-turut pada variasi pH dengan rentang waktu 6 jam yaitu 99,256%, 97,58%, dan 99,425%. Material nanokomposit TiO<sub>2</sub>/GQDs pada pH 11 memiliki hasil degradasi yang paling optimum dibandingkan variasi lainnya di mana pada waktu 6 jam mencapai 99,4%.

### 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian ini, antara lain:

1. Pencucian GQDs perlu dilakukan lebih lama dengan memastikan pH pada air pencucian sudah menyentuh pH netral untuk menghilangkan berbagai kontaminan yang terdapat pada GQDs.
2. Dalam uji UV-Vis perlu dipastikan tidak mengandung padatan pada larutan sampel yang mau di uji sehingga tidak mengganggu hasil uji pada sampel.

3. Dapat dilakukan penelitian lain dengan variasi dan parameter lain.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, A., Tabish, T. A., Bull, S. J., Lim, T. M., & Phan, A. N. (2020). High yield synthesis of graphene quantum dots from biomass waste as a highly selective probe for Fe<sup>3+</sup> sensing. *Scientific Reports*, *10*(1), 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78070-2>
- Ahmed, B., Kumar, S., Ojha, A. K., Hirsch, F., Riese, S., & Fischer, I. (2018). *Facile synthesis and photophysics of graphene quantum dots*.
- Ahriani. (2021). Analisis Nilai Absorbansi Pada Penentuan Kadar Flavonoid Daun Jarak Merah (*Jatropha Gossypifolia L.*). *Skripsi*, 1–92.
- Ali, H. H., & Al-bahrani, M. R. (2020). *Synthesis of TiO<sub>2</sub> / Graphene Quantum Dots as Photoanode to Enhance Power Conversion Efficiency for Dye-Sensitized Solar Cells*. *29*(3), 11071–11081.
- Alma, C. M. (2021). *Pengaruh Suhu Kalsinasi TiO<sub>2</sub> dengan TiCl<sub>3</sub> sebagai Prekursor Terhadap Unjuk Kerja Sel Surya Perovskite*.
- Azizah, Y. D. N. (2018). *Biodekolorisasi Pewarna Metilen Biru oleh bakteri Ralstonia Picketti*. *1*, 430–439.
- Bekti, S., Prambasto, U., & Sugiyono, W. (2014). *Info Artikel*. *3*(2252).
- Bharath, G., Latha, B. S., Alsharaeh, E. H., Prakash, P., & Ponpandian, N. (2017). Enhanced hydroxyapatite nanorods formation on graphene oxide nanocomposite as a potential candidate for protein adsorption, pH controlled release and an effective drug delivery platform for cancer therapy. *Analytical Methods*, *9*(2), 240–252. <https://doi.org/10.1039/c6ay02348g>
- Bokare, A., Chinnusamy, S., & Erogbogbo, F. (2021). TiO<sub>2</sub>–graphene quantum dots nanocomposites for photocatalysis in energy and biomedical applications. *Catalysts*, *11*(3), 1–51. <https://doi.org/10.3390/catal11030319>
- Bungan, G. K., Aritonang, H. F., & Wuntu, A. D. (2021). PEMBUATAN NANOKOMPOSIT KITOSAN/TiO<sub>2</sub>/Ag DAN ANALISIS AKTIVITASNYA SEBAGAI ANTIBAKTERI. *Chemistry Progress*, *14*(1), 32–39. <https://doi.org/10.35799/cp.14.1.2021.34128>
- Djarwanti, C. S., & Yuniati, A. (2009). *Degradasi Fotokatalitik Polutan Organik dalam Air Limbah Menggunakan TiO<sub>2</sub> Nano Partikel Sistem Lapisan Tipis-Air*.
- Fan, T., Zeng, W., Tang, W., Yuan, C., Tong, S., Cai, K., Liu, Y., Huang, W., Min, Y., & Epstein, A. J. (2015). Controllable size-selective method to prepare graphene quantum dots from graphene oxide. *Nanoscale Research Letters*, *10*(1). <https://doi.org/10.1186/s11671-015-0783-9>
- Fauzi, A. (2022). *Modifikasi nanostruktur titanium dioksida hasil pengolahan mineral ilmenit lokal indonesia untuk aplikasi fotokatalisis*.
- Geldasa, F. T., Kebede, M. A., Shura, M. W., & Hone, F. G. (2023). Experimental and computational study of metal oxide nanoparticles for the photocatalytic degradation of organic pollutants: a review. *RSC Advances*, *13*(27), 18404–18442. <https://doi.org/10.1039/d3ra01505j>
- Hao, X., Jin, Z., Xu, J., Min, S., & Lu, G. (2016). Functionalization of TiO<sub>2</sub> with graphene quantum dots for efficient photocatalytic hydrogen evolution. *Superlattices and Microstructures*, *94*, 237–244. <https://doi.org/10.1016/j.spmi.2016.04.024>
- Ibrahim, S. A., Tun, U., Onn, H., & Sreekantan, S. (2022). *Effect of pH on TiO<sub>2</sub> Nanoparticles via Sol-Gel Method*. *Effect of pH on TiO<sub>2</sub> Nanoparticles via Sol-Gel Method*. December 2010. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.173.184>
- Ichzan, N. A. (2015). Pengaruh pH pada Pembentukan Nano-powder TiO<sub>2</sub> Fase Anatase dan Sifat Fotokatalisnya. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, *11*(2), 60. <https://doi.org/10.12962/j24604682.v11i2.1056>

- Kadyan, P., Thillai Arasu, P., & Kataria, S. K. (2024). Graphene Quantum Dots: Green Synthesis, Characterization, and Antioxidant and Antimicrobial Potential. *International Journal of Biomaterials*, 2024. <https://doi.org/10.1155/2024/2626006>
- Kanta, U. A., Thongpool, V., Sangkhun, W., Wongyao, N., & Wootthikanokkhan, J. (2017). Preparations, characterizations, and a comparative study on photovoltaic performance of two different types of graphene/TiO<sub>2</sub> nanocomposites photoelectrodes. *Journal of Nanomaterials*, 2017(March). <https://doi.org/10.1155/2017/2758294>
- Kaur, M., & Verma, N. K. (2014). CaCO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> nanoparticles based dye sensitized solar cell. *Journal of Materials Science and Technology*, 30(4), 328–334. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2013.10.016>
- Krishnamoorthy, K., Veerapandian, M., Yun, K., & Kim, S. J. (2013). The chemical and structural analysis of graphene oxide with different degrees of oxidation. *Carbon*, 53, 38–49. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2012.10.013>
- Listanti, A., Taufiq, A., Hidayat, A., & Sunaryono, S. (2018). Investigasi Struktur dan Energi Band Gap Partikel Nano Tio<sub>2</sub> Hasil Sintesis Menggunakan Metode Sol-Gel. *JPSE (Journal of Physical Science and Engineering)*, 3(1), 8–15. <https://doi.org/10.17977/um024v3i12018p008>
- Maulana, F. A. (2022). *Sintesis Nanotubes Titanium Dioksida dengan Metode Hidrothermal Menggunakan Prekursor Ilmenite Lokal Indonesia Termodifikasi untuk Aplikasi Fotokatilis Degradasi Limbah Polutan Organik*.
- Nagamine, M., Osial, M., Jackowska, K., Krysinski, P., & Widera-Kalinowska, J. (2020). Tetracycline Photocatalytic Degradation under CdS Treatment. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(7), 483. <https://doi.org/10.3390/jmse8070483>
- Oladoye, P. O., Ajiboye, T. O., Omotola, E. O., & Oyewola, O. J. (2022). Methylene blue dye: Toxicity and potential elimination technology from wastewater. *Results in Engineering*, 16(September), 100678. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100678>
- Özönder, Ş., Ünlü, C., Güleriyüz, C., & Trabzon, L. (2022). Doped Graphene Quantum Dots UV-vis Absorption Spectrum: A High-Throughput TDDFT Study. *ACS Omega*. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c06091>
- Prabowo, H. E. (2019). *Karakterisasi TiO<sub>2</sub> Sebagai Nano Material Semikonduktor pada DSSC dengan Metode Sol-Gel*. 1(1).
- Prastiwi, W. D., Maulana, K. D., Wibowo, E. A. P., Aji, N. R., & Setyani, A. (2017). SINTESIS DAN KARAKTERISTIK TiO<sub>2</sub> DAN SiO<sub>2</sub> SERTA APLIKASINYA TERHADAP KADAR Fe DALAM AIR SUMUR. *Jurnal Ilmiah Sains*, 17(1), 30. <https://doi.org/10.35799/jis.17.1.2017.15220>
- Qu, D., Zheng, M., Zhang, L., Zhao, H., Xie, Z., Jing, X., Haddad, R. E., Fan, H., & Sun, Z. (2014). Formation mechanism and optimization of highly luminescent N-doped graphene quantum dots. *Scientific Reports*, 4, 1–11. <https://doi.org/10.1038/srep05294>
- Safardoust-hojaghan, H., & Salavati-niasari, M. (2017). *Degradasi Methylene Blue sebagai Polutan dengan N-Doped Graphene Quantum Nanokomposit Titik / Titanium Dioksida* Machine Translated by Google. 1–23.
- Saud, H. R., & Al-Taweel, S. S. (2016). New route for synthesis of pure anatase TiO<sub>2</sub> nanoparticles via ultrasound-assisted sol-gel method. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 8(2), 620–626. [www.jocpr.com](http://www.jocpr.com)
- Selvakumar, T., Rajaram, M., Natarajan, A., Harikrishnan, L., Alwar, K., & Rajaram, A. (2022). Highly Efficient Sulfur and Nitrogen Codoped Graphene Quantum Dots as a Metal-Free Green Photocatalyst for Photocatalysis and Fluorescent Ink Applications. *ACS Omega*, 7(15), 12825–12834. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c00092>
- Sutanto, H., & Wibowo, S. (2015). Semikonduktor Fotokatilis Seng Oksida dan Titania :

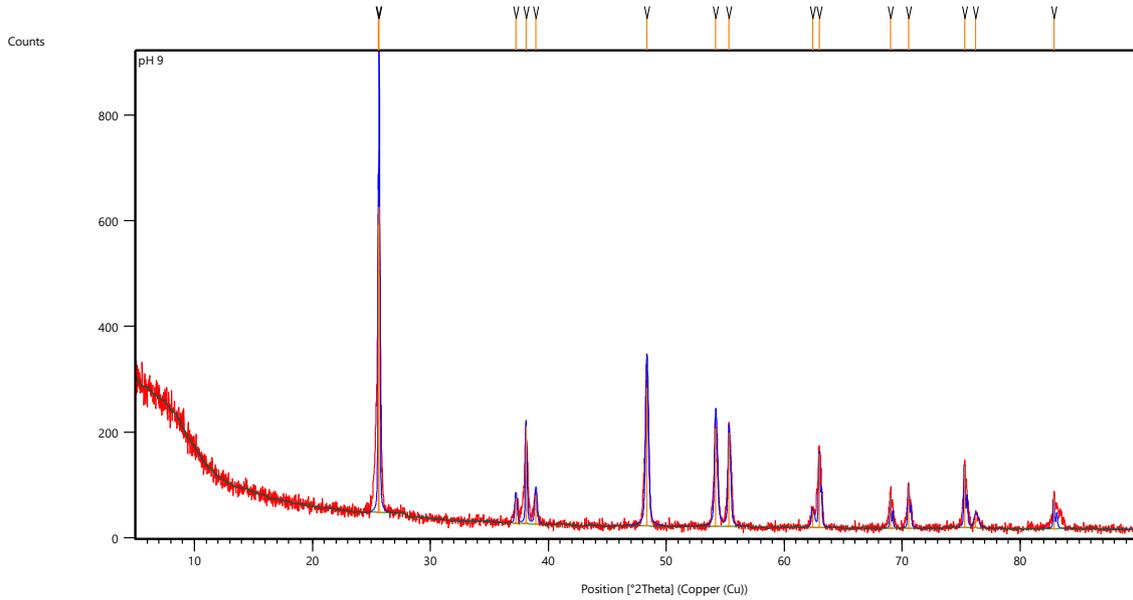
- Sintesis , Deposisi dan Aplikasi. In *Eprints.Undip.Ac.Id.*
- Taufantri, Y., Irdhawati, I., & Asih, I. A. R. A. (2016). Sintesis dan Karakterisasi Grafena dengan Metode Reduksi Grafit Oksida Menggunakan Pereduksi Zn. *Jurnal Kimia VALENSI*, 2(1), 17–23. <https://doi.org/10.15408/jkv.v2i1.2233>
- Theivasanthi, T., & Alagar, M. (2013). *Titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) Nanoparticles XRD Analyses: An Insight*. <http://arxiv.org/abs/1307.1091>
- Todica, M., Stefan, T., Simon, S., Balasz, I., & Daraban, L. (2014). UV-Vis and XRD investigation of graphite-doped poly(acrylic) acid membranes. *Turkish Journal of Physics*, 38(2), 261–267. <https://doi.org/10.3906/fiz-1305-16>
- Uyun, M. (2015). Synthesis Of TiO<sub>2</sub> Nanoparticles Rutile Using TiCl<sub>3</sub> Precursors (Hydrolysis And mineralization Process) And TiCl<sub>4</sub> Precursors. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 3, 1–108.
- Wazir, A. H., & Kundi, I. W. (2016). Synthesis of Graphene Nano Sheets by the Rapid Reduction of Electrochemically Exfoliated Graphene Oxide Induced by Microwaves. *J.Chem.Soc.Pak*, 38(1), 11–16. <https://doi.org/10.1039/c4cy01074d>
- Wellia, D. V. (2014). STUDI HASIL PHOTOLUMINESCENCE PADA LAPISAN TIPIS TiO<sub>2</sub> YANG DIDOPING Sn DAN HUBUNGANNYA DENGAN AKTIFITAS FOTOKATALITIK DALAM MENDEGRADASI SENYAWA ASAM STEARAT SEBAGAI MODEL POLUTAN. *Jurnal Ilmu Fisika | Universitas Andalas*, 6(2), 40–44. <https://doi.org/10.25077/jif.6.2.40-44.2014>
- Widianti, I. S., & Industri, F. T. (2015). *Pengaruh Variasi pH dan Temperatur Sintering terhadap Nilai Sensitivitas Material TiO<sub>2</sub> Sebagai Sensor Gas CO*. 4(1), 2–6.
- Yuan, X., Liu, Z., Guo, Z., Ji, Y., Jin, M., & Wang, X. (2014). Cellular distribution and cytotoxicity of graphene quantum dots with different functional groups. *Nanoscale Research Letters*, 9(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-9-108>
- Yudo, S., & Said, N. I. (2001). Masalah Pencemaran Air Di Jakarta, Sumber Dan Alternatif Penanggulangannya. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 2(2), 199–206. <http://ejurnal.bppt.go.id/index.php/JTL/article/view/233>
- Zhao, C., Song, X., Liu, Y., Fu, Y., Ye, L., Wang, N., Wang, F., Li, L., Mohammadniaei, M., Zhang, M., Zhang, Q., & Liu, J. (2020). Synthesis of graphene quantum dots and their applications in drug delivery. In *Journal of Nanobiotechnology* (Vol. 18, Issue 1). <https://doi.org/10.1186/s12951-020-00698-z>

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN

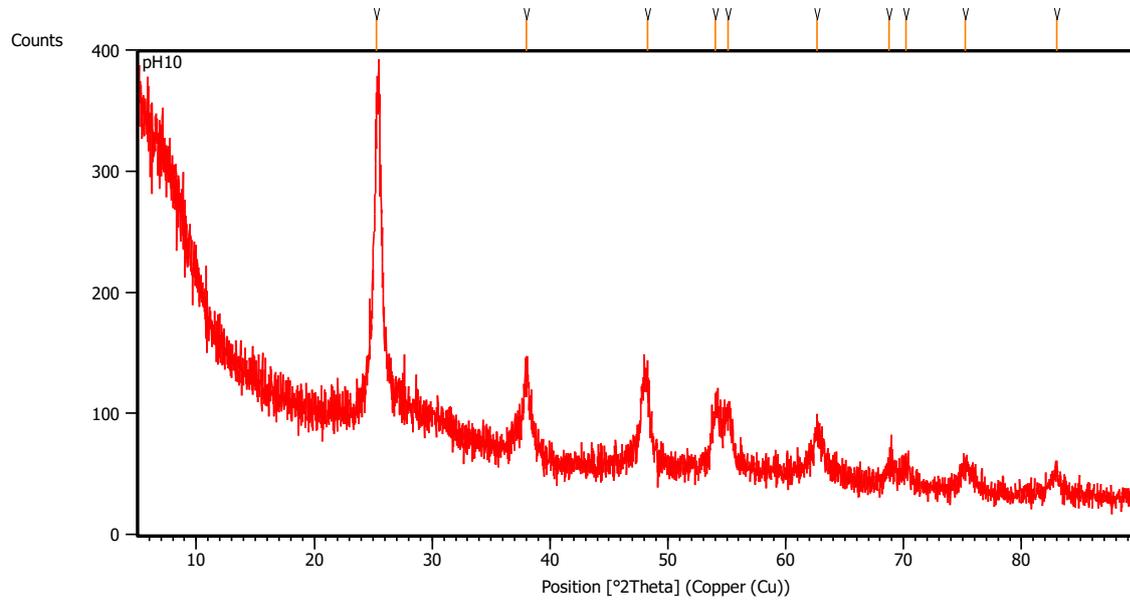
### Lampiran 1 : Hasil Pengujian XRD

#### a. Sampel TiO<sub>2</sub> pH 9



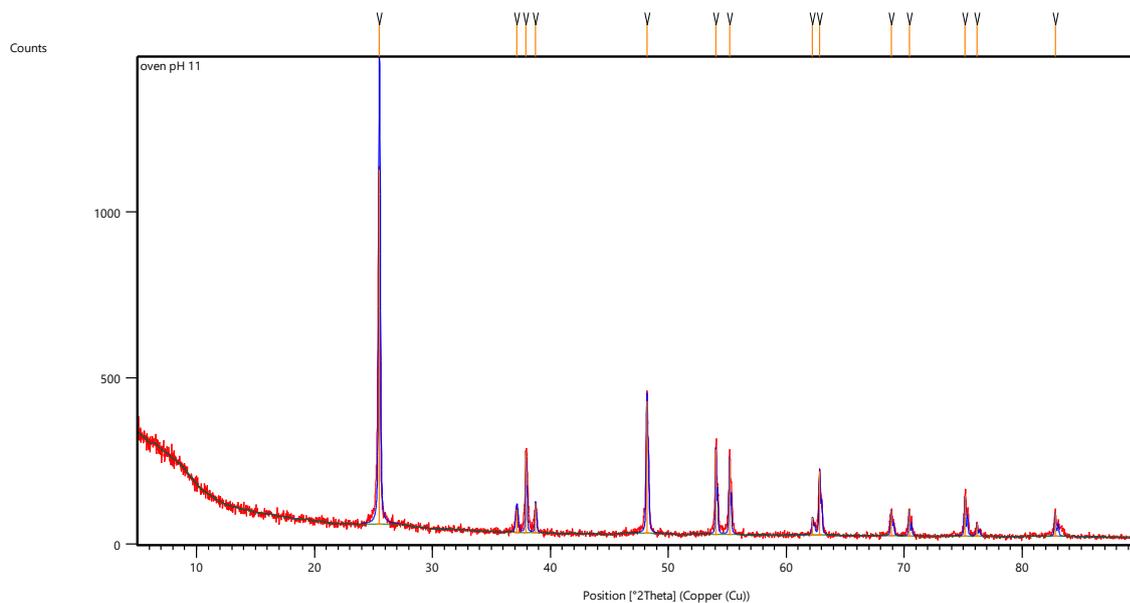
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25,5831	544,74	0,0612	3,47915	94,18
25,6683	578,39	0,0836	3,47066	100,00
37,2337	47,68	0,1673	2,41493	8,24
38,1064	184,17	0,1004	2,36161	31,84
38,9266	54,39	0,2007	2,31371	9,40
48,3432	261,96	0,2342	1,88276	45,29
54,1872	185,87	0,2342	1,69271	32,14
55,3117	177,15	0,1673	1,66093	30,63
62,3883	31,68	0,2007	1,48847	5,48
62,9735	139,42	0,1338	1,47604	24,10
69,0086	63,38	0,1004	1,36095	10,96
70,5307	81,94	0,1338	1,33527	14,17
75,2843	116,34	0,1338	1,26233	20,11
76,2294	24,22	0,3346	1,24901	4,19
82,8572	57,03	0,1338	1,16511	9,86

b. TiO<sub>2</sub> pH 10



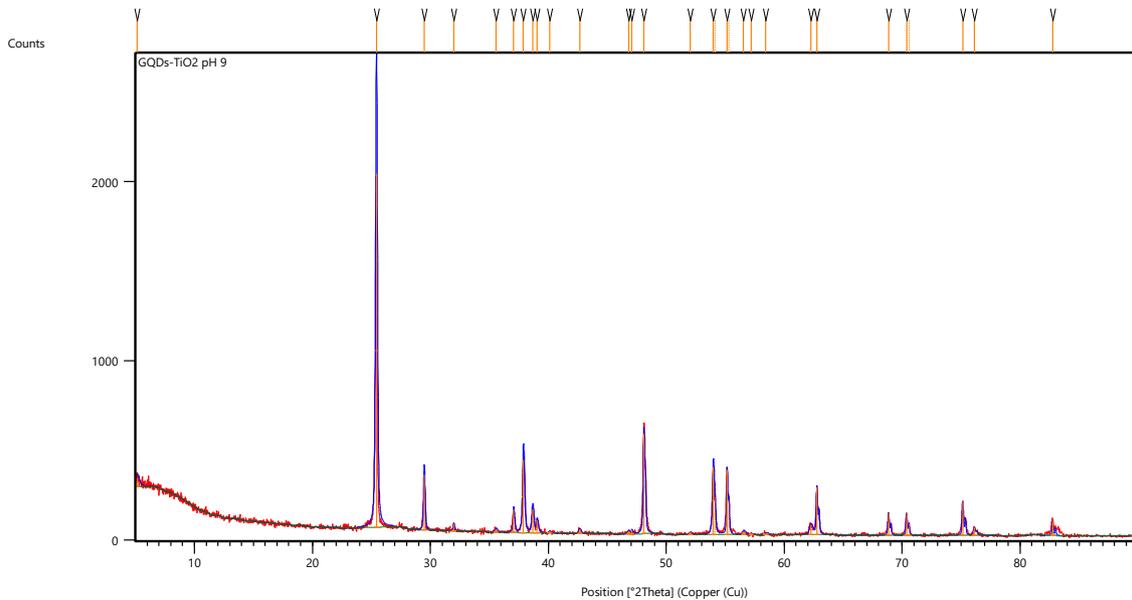
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25.2948	237.80	0.2342	3.52105	100.00
37.9960	64.14	0.2676	2.36822	26.97
48.2680	62.91	0.2676	1.88552	26.45
54.0359	47.83	0.5353	1.69709	20.11
55.1221	45.41	0.5353	1.66619	19.09
62.6830	30.16	0.8029	1.48218	12.68
68.7636	12.13	0.6691	1.36520	5.10
70.2099	15.88	0.6691	1.34058	6.68
75.1954	18.54	0.5353	1.26360	7.80
83.0127	16.58	0.5353	1.16332	6.97

c. TiO<sub>2</sub> pH 11



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25,4970	1067,59	0,1506	3,49359	100,00
37,1485	67,36	0,2007	2,42027	6,31
37,9299	242,88	0,0836	2,37219	22,75
38,7401	89,55	0,1004	2,32442	8,39
48,1961	397,68	0,1338	1,88817	37,25
54,0310	256,56	0,1004	1,69723	24,03
55,1845	230,20	0,1004	1,66446	21,56
62,2326	51,68	0,1338	1,49182	4,84
62,8287	192,75	0,1338	1,47909	18,05
68,9026	76,51	0,1338	1,36279	7,17
70,4224	78,56	0,1004	1,33706	7,36
75,1367	120,52	0,1171	1,26444	11,29
76,1665	37,89	0,1224	1,24885	3,55
82,8006	70,00	0,1338	1,16576	6,56

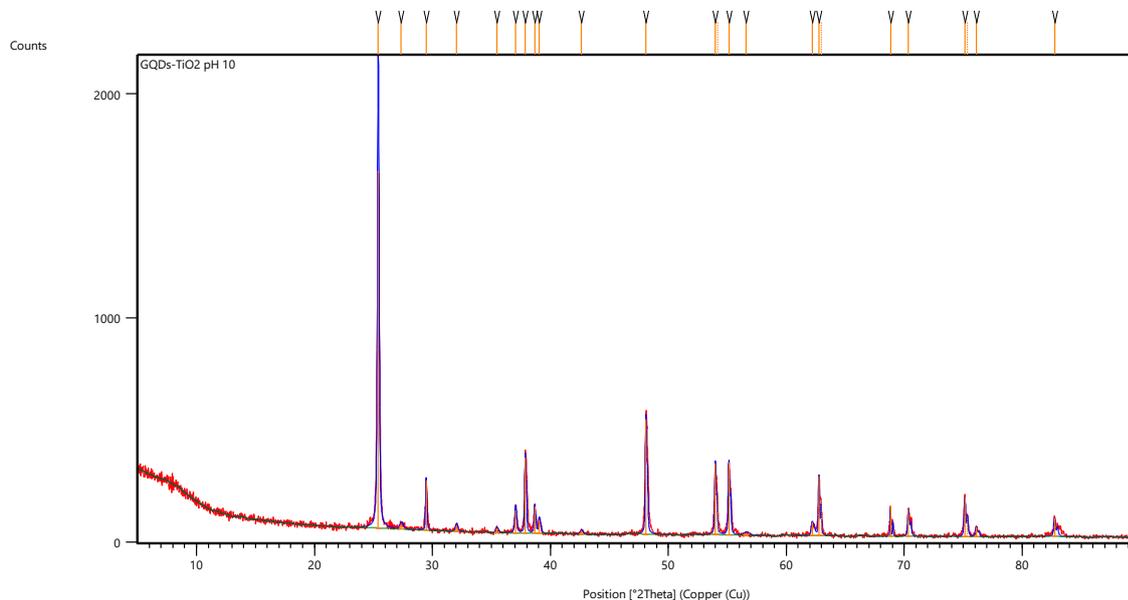
d. TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 9



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
5,1587	47,88	0,4015	17,13070	2,42
25,4198	1975,52	0,1673	3,50403	100,00
29,4796	307,45	0,1171	3,03006	15,56
31,9728	40,58	0,1004	2,79924	2,05
35,5751	17,18	0,2342	2,52362	0,87
37,0696	128,83	0,1171	2,42524	6,52
37,8878	403,44	0,1673	2,37473	20,42
38,6742	131,43	0,1673	2,32823	6,65
39,0625	69,32	0,1338	2,30598	3,51
40,0969	7,70	0,2007	2,24885	0,39
42,6512	23,05	0,2007	2,11990	1,17
46,7950	16,98	0,2007	1,94138	0,86
47,0911	23,88	0,0612	1,92826	1,21

48,1055	558,33	0,1338	1,89151	28,26
52,0235	13,32	0,2007	1,75790	0,67
53,9850	380,03	0,1836	1,69716	19,24
54,1389	206,94	0,0816	1,69691	10,48
55,1701	363,58	0,1224	1,66348	18,40
55,3203	193,19	0,1020	1,66344	9,78
56,5540	18,12	0,3264	1,62601	0,92
57,1965	6,54	0,2040	1,60926	0,33
58,4416	8,47	0,4896	1,57791	0,43
62,2447	51,72	0,2448	1,49032	2,62
62,7754	265,36	0,1224	1,47899	13,43
68,8439	125,74	0,1224	1,36268	6,37
70,3706	125,51	0,1224	1,33681	6,35
70,5813	66,44	0,1224	1,33665	3,36

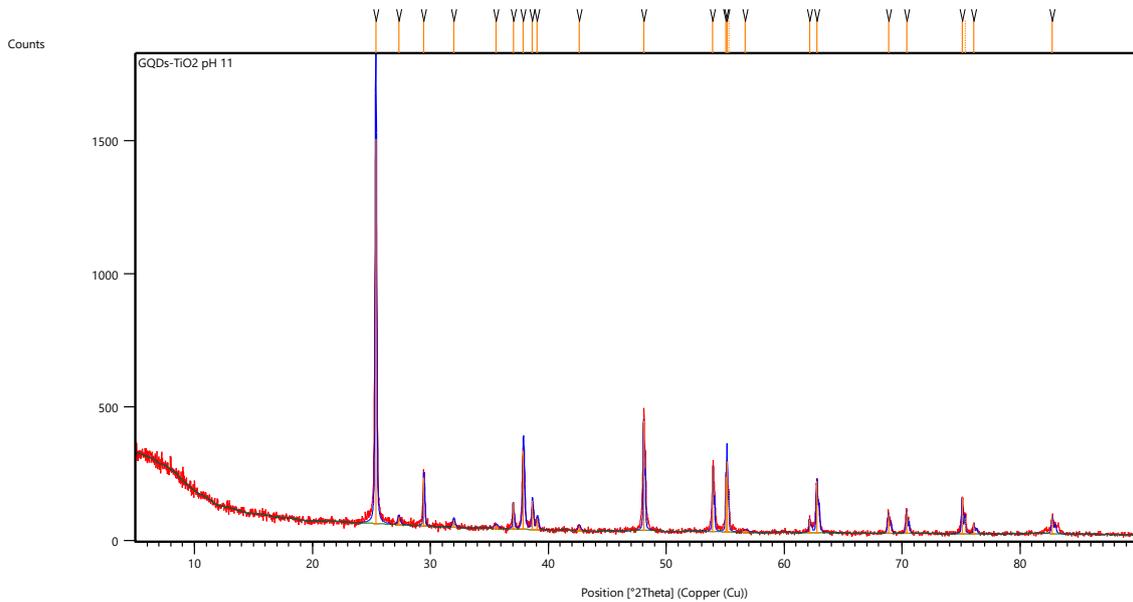
e. TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 10



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25,3935	1593,67	0,1506	3,50759	100,00
27,3597	22,99	0,3346	3,25983	1,44
29,4629	221,86	0,0836	3,03173	13,92
32,0454	27,55	0,2007	2,79306	1,73
35,4620	19,87	0,2007	2,53141	1,25
37,0438	101,96	0,1673	2,42687	6,40
37,8698	335,64	0,1004	2,37582	21,06
38,6704	118,35	0,1004	2,32845	7,43
39,0584	59,08	0,1673	2,30621	3,71
42,6207	15,34	0,2342	2,12134	0,96
48,1074	511,79	0,1171	1,89144	32,11
53,9821	315,71	0,1224	1,69725	19,81
54,1575	190,85	0,1224	1,69637	11,98
55,1407	323,76	0,1224	1,66430	20,32
56,6027	10,67	0,4896	1,62473	0,67

62,2086	57,89	0,2040	1,49110	3,63
62,7756	266,53	0,1020	1,47899	16,72
62,9550	150,55	0,1224	1,47887	9,45
68,8410	137,91	0,0612	1,36273	8,65
70,3485	119,99	0,1428	1,33717	7,53
75,1426	174,93	0,1428	1,26331	10,98
75,3689	88,12	0,1224	1,26321	5,53
76,1161	43,80	0,1632	1,24955	2,75
82,7481	82,62	0,1632	1,16540	5,18

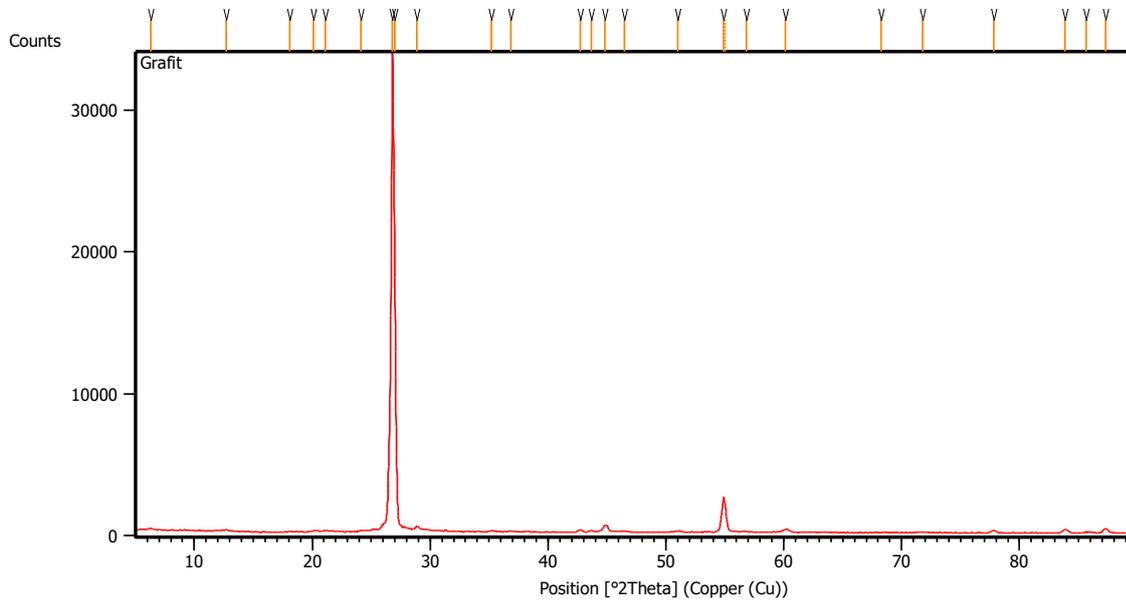
f. TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 11



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25,3698	1442,92	0,1171	3,51082	100,00
27,3205	27,62	0,2007	3,26442	1,91
29,4564	181,38	0,1004	3,03239	12,57
31,9737	28,63	0,2007	2,79916	1,98
35,5529	11,46	0,4015	2,52514	0,79
37,0278	97,37	0,0836	2,42788	6,75
37,8864	296,31	0,1506	2,37481	20,54
38,6528	106,72	0,1171	2,32947	7,40
39,0694	42,87	0,1673	2,30559	2,97
42,6097	17,58	0,2007	2,12186	1,22
48,0930	411,82	0,1004	1,89197	28,54
53,9442	244,77	0,1004	1,69976	16,96
55,0742	206,46	0,1020	1,66615	14,31
55,1594	264,37	0,0612	1,66378	18,32
55,3004	163,11	0,0612	1,66399	11,30
56,7059	7,22	0,4896	1,62202	0,50
62,1553	49,78	0,1224	1,49225	3,45
62,7870	194,48	0,1428	1,47875	13,48
68,8501	75,86	0,1632	1,36257	5,26
70,3777	84,85	0,1224	1,33669	5,88
75,0858	137,49	0,1224	1,26412	9,53

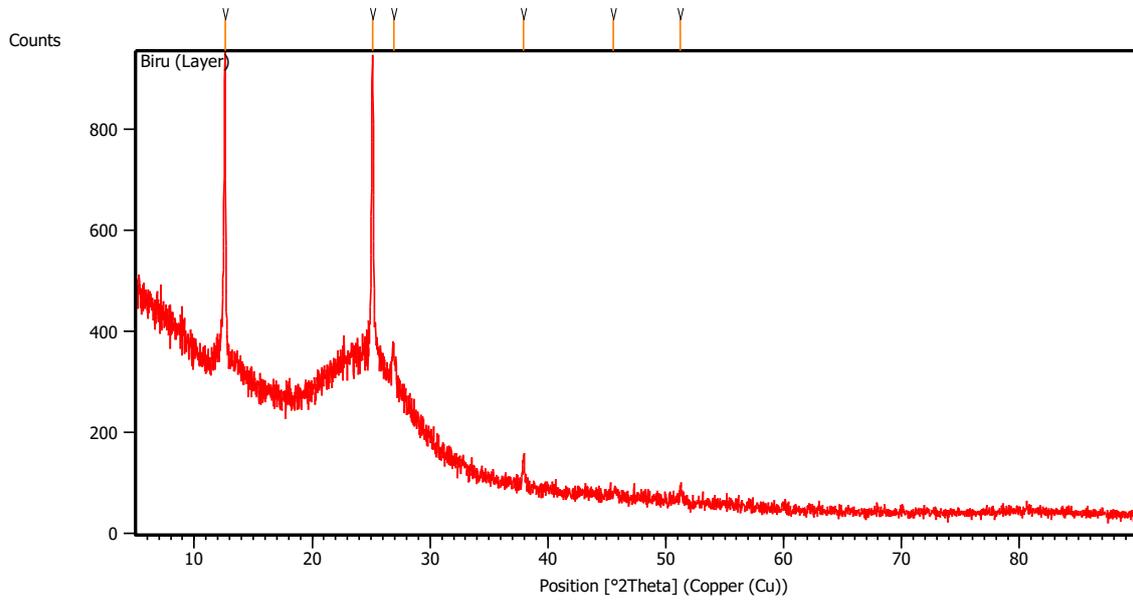
75,3710	62,81	0,1224	1,26318	4,35
76,0899	39,49	0,1224	1,24992	2,74
82,7341	70,03	0,1632	1,16557	4,85

g. Grafit



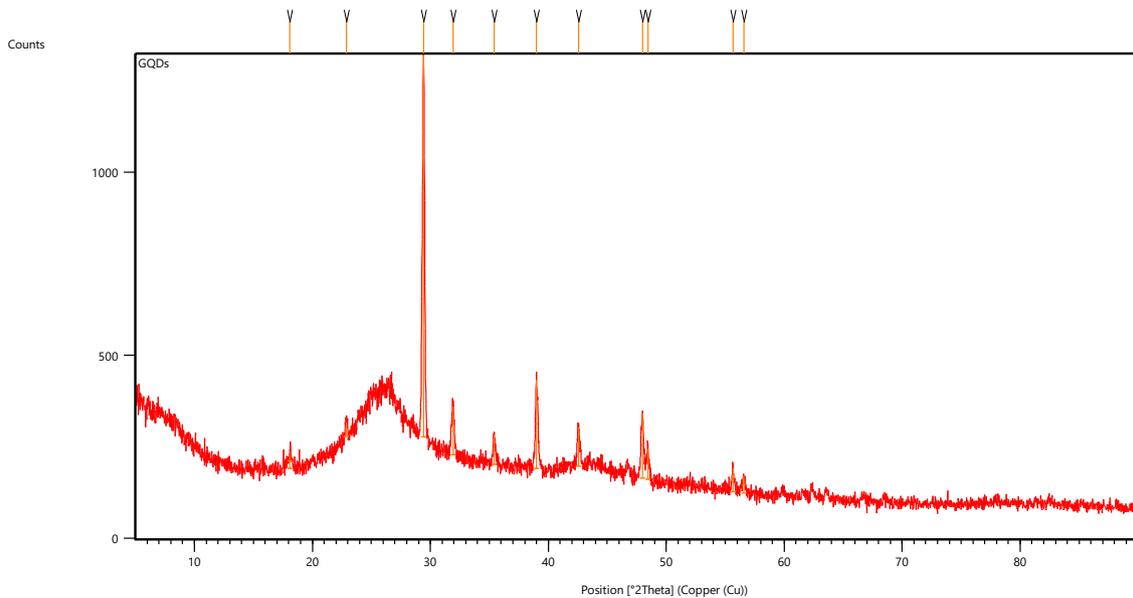
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6.2955	99.44	0.5353	14.03967	0.30
12.6675	100.53	0.2007	6.98821	0.30
18.0803	32.62	0.8029	4.90648	0.10
20.0680	73.68	0.4015	4.42476	0.22
21.1340	101.16	0.2676	4.20392	0.30
24.1450	74.30	0.4015	3.68606	0.22
26.7980	33313.70	0.1506	3.32686	100.00
27.0198	16614.63	0.1004	3.30005	49.87
28.8790	290.05	0.2007	3.09169	0.87
35.1861	57.95	0.6691	2.55063	0.17
36.8829	52.83	0.4015	2.43709	0.16
42.7399	161.23	0.2007	2.11570	0.48
43.6930	103.81	0.4015	2.07174	0.31
44.8398	478.60	0.1673	2.02138	1.44
46.5108	84.41	0.4015	1.95258	0.25
51.0351	82.07	0.4015	1.78960	0.25
54.9138	2454.49	0.1632	1.67064	7.37
55.0559	1800.72	0.0816	1.67080	5.41
56.8301	38.65	0.9792	1.61877	0.12
60.1615	228.08	0.4080	1.53685	0.68
68.2662	26.32	0.9792	1.37279	0.08
71.7557	21.83	0.9792	1.31437	0.07
77.8037	160.62	0.4896	1.22661	0.48
83.8420	251.94	0.5712	1.15296	0.76
85.6760	74.25	0.4896	1.13291	0.22
87.2815	319.23	0.2040	1.11616	0.96

h. *Graphene Oxide*



Pos. [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
12.6196	609.89	0.1004	7.01460	98.50
25.1302	619.16	0.1338	3.54374	100.00
26.9177	83.41	0.2676	3.31234	13.47
37.9512	63.28	0.1004	2.37091	10.22
45.5084	8.14	0.8029	1.99322	1.31
51.2461	29.30	0.1673	1.78273	4.73

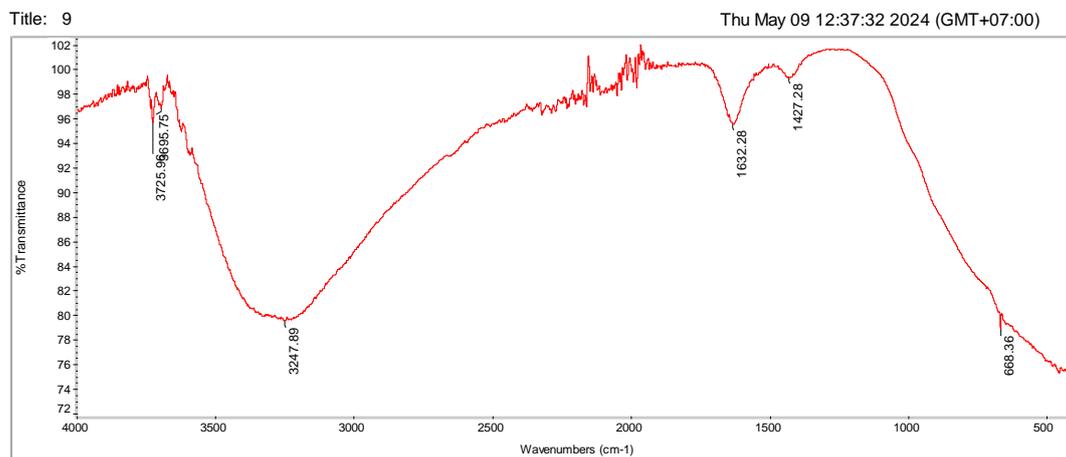
i. *Graphene Quantum Dots*



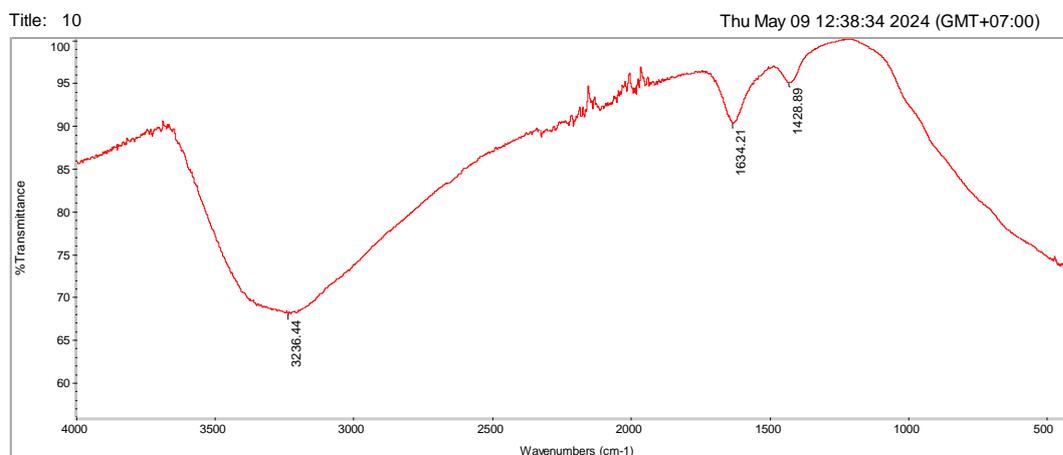
Pos. [ $^{\circ}$ Th.]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}$ Th.]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
18.0993	41.39	0.4015	4.90137	3.94
22.8775	39.54	0.2007	3.88734	3.76
29.4352	1050.78	0.1338	3.03453	100.00
31.9184	132.71	0.2007	2.80389	12.63
35.4170	81.56	0.2007	2.53452	7.76
38.9777	242.17	0.2342	2.31080	23.05
42.5647	105.23	0.1673	2.12400	10.01
48.0058	177.59	0.2007	1.89520	16.90
48.4631	81.15	0.2007	1.87839	7.72
55.6684	62.84	0.2007	1.65113	5.98
56.5924	46.18	0.2676	1.62635	4.40

## Lampiran 2 : Hasil Pengujian FTIR

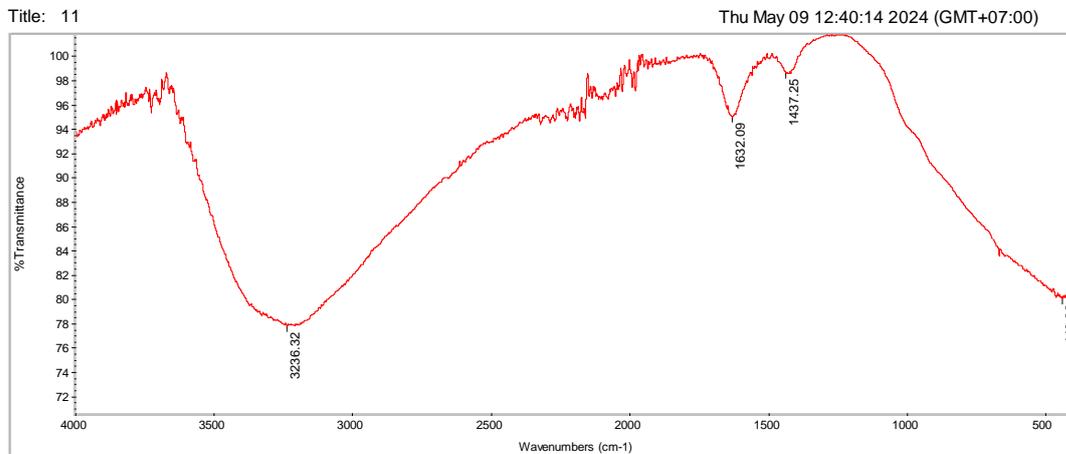
### a. $\text{TiO}_2$ pH 9



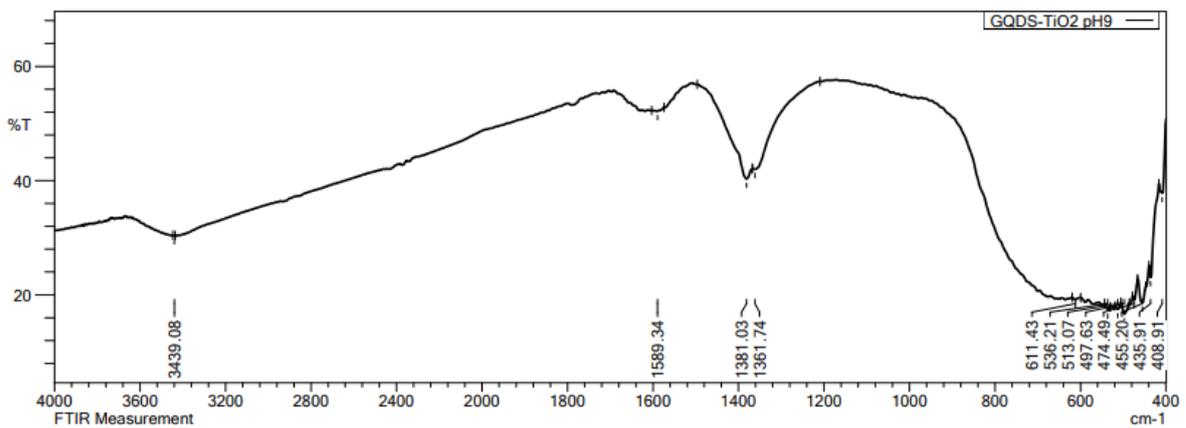
### b. $\text{TiO}_2$ pH 10



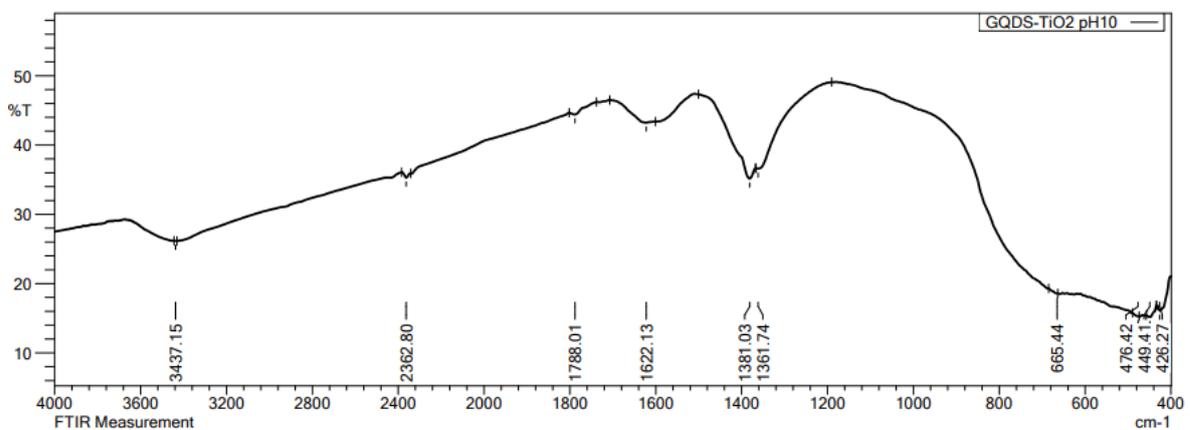
c. TiO<sub>2</sub> pH 11



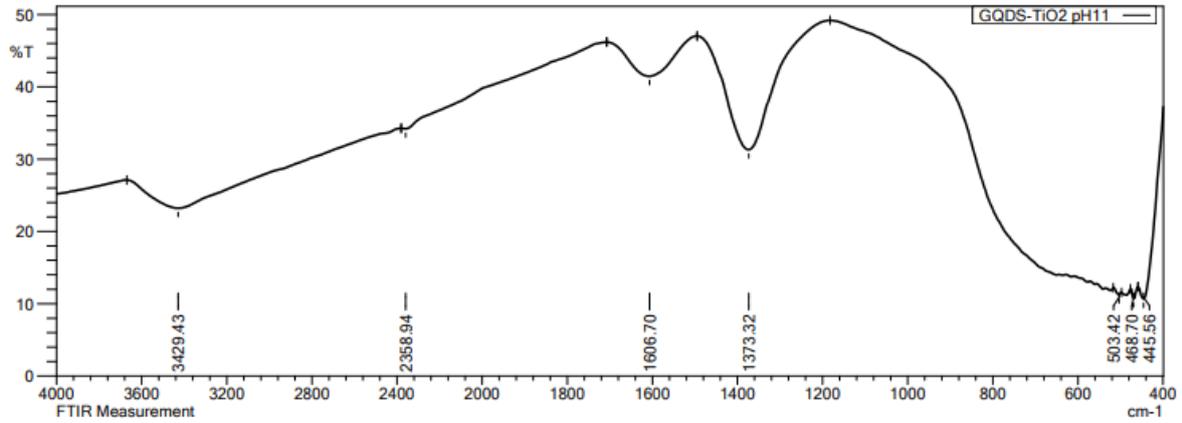
d. TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 9



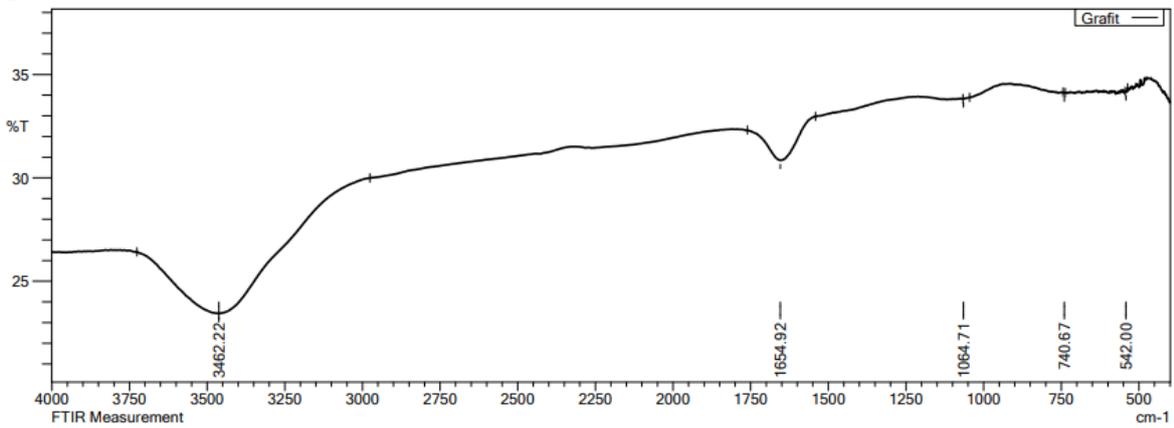
e. TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 10



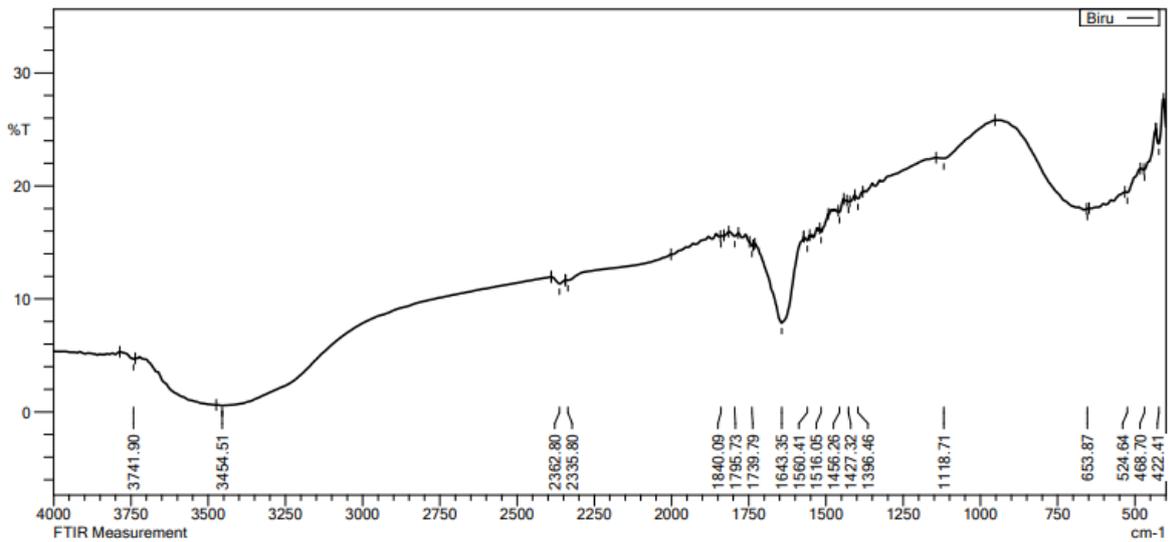
f.  $\text{TiO}_2/\text{GQDs}$  pH 11



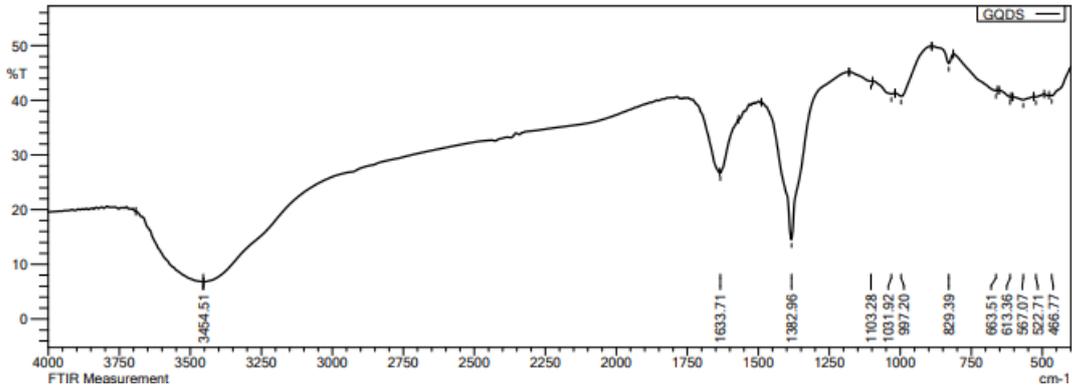
g. Grafit



h. Graphene Oxide

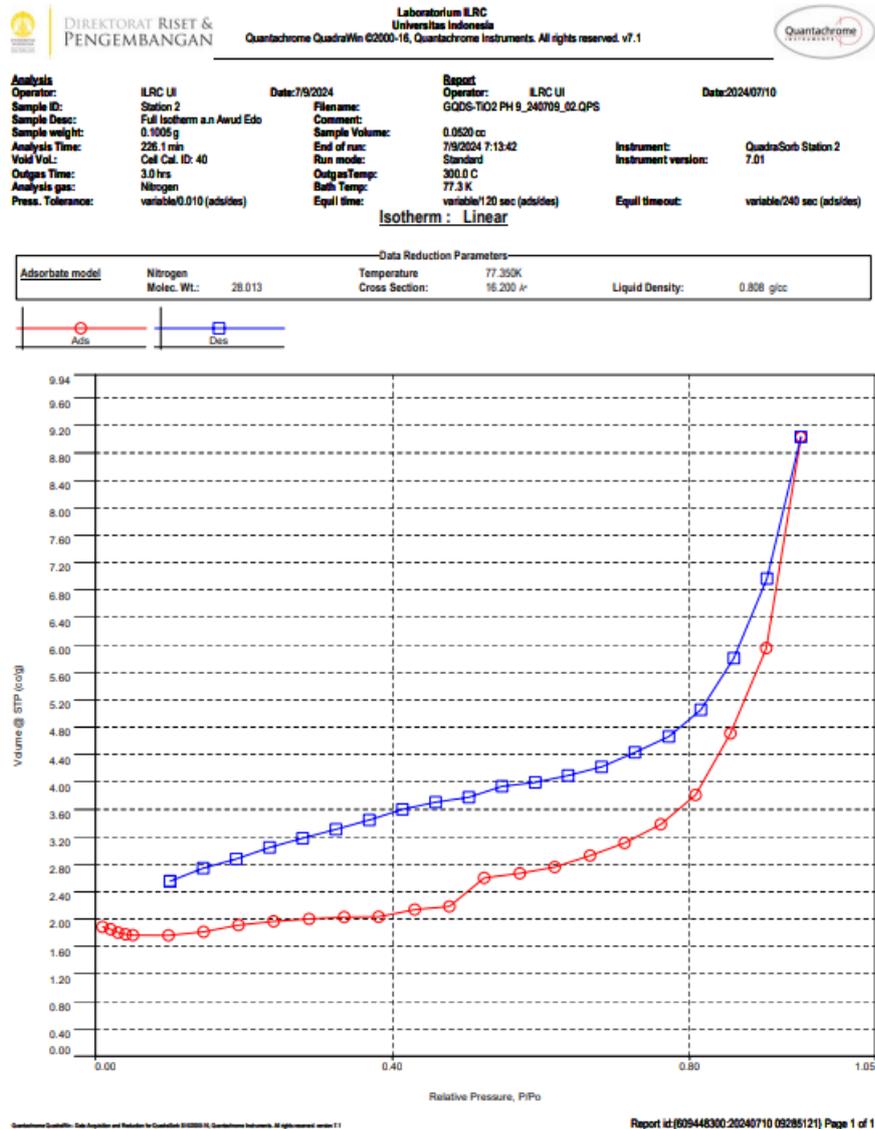


i. Graphene Quantum Dots



Lampiran 3 : Hasil Pengujian BET

a.  $\text{TiO}_2/\text{GQDs}$  pH 9





DIREKTORAT RISET &  
PENGEMBANGAN

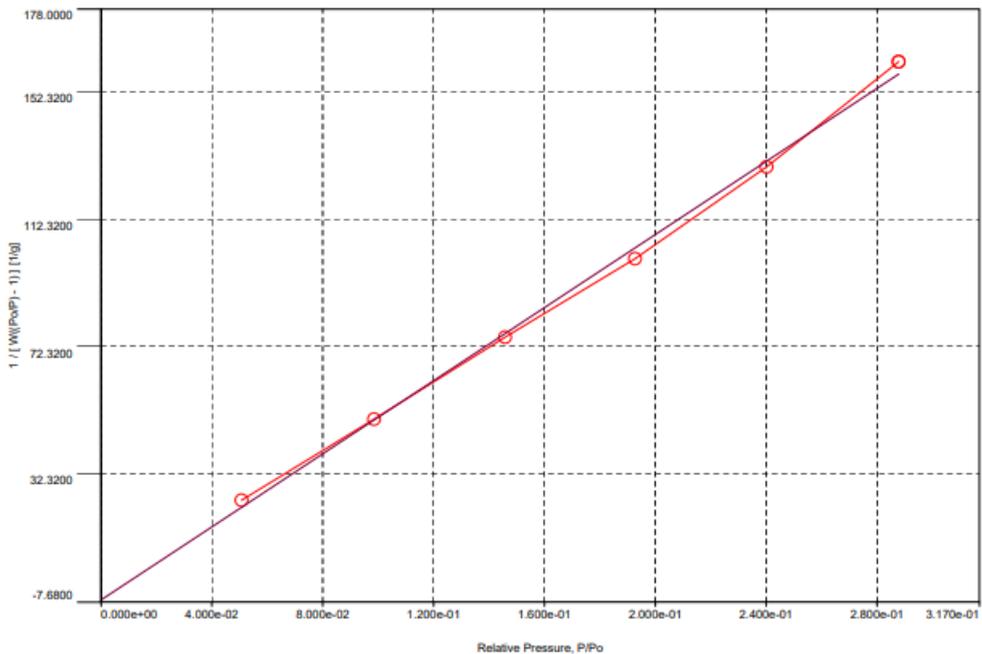
Laboratorium ILRC  
Universitas Indonesia  
Quantachrome QuadraWin ©2000-16, Quantachrome Instruments. All rights reserved. v7.1



<b>Analysis</b>	<b>ILRC UI</b>	<b>Date:</b> 7/9/2024	<b>Report</b>
<b>Operator:</b> Station 2	<b>Station 2</b>	<b>Filename:</b>	<b>Operator:</b> ILRC UI
<b>Sample Desc:</b> Full Isotherm a.n Awud Edo		<b>Comment:</b>	<b>GGDS-TiO2 PH 9_240709_02.QPS</b>
<b>Sample weight:</b> 0.1005 g		<b>Sample Volume:</b> 0.0520 cc	<b>Date:</b> 2024/07/10
<b>Analysis Time:</b> 226.1 min		<b>End of run:</b> 7/9/2024 7:13:42	<b>Instrument:</b> QuadraSorb Station 2
<b>Void Vol.:</b> Cell Cal. ID: 40		<b>Run mode:</b> Standard	<b>Instrument version:</b> 7.01
<b>Outgas Time:</b> 3.0 hrs		<b>Outgas Temp:</b> 300.0 C	
<b>Analysis gas:</b> Nitrogen		<b>Bath Temp:</b> 77.3 K	<b>Equil timeout:</b> variable/240 sec (ads/des)
<b>Pres. Tolerance:</b> variable/0.010 (ads/des)		<b>Equil time:</b> variable/120 sec (ads/des)	

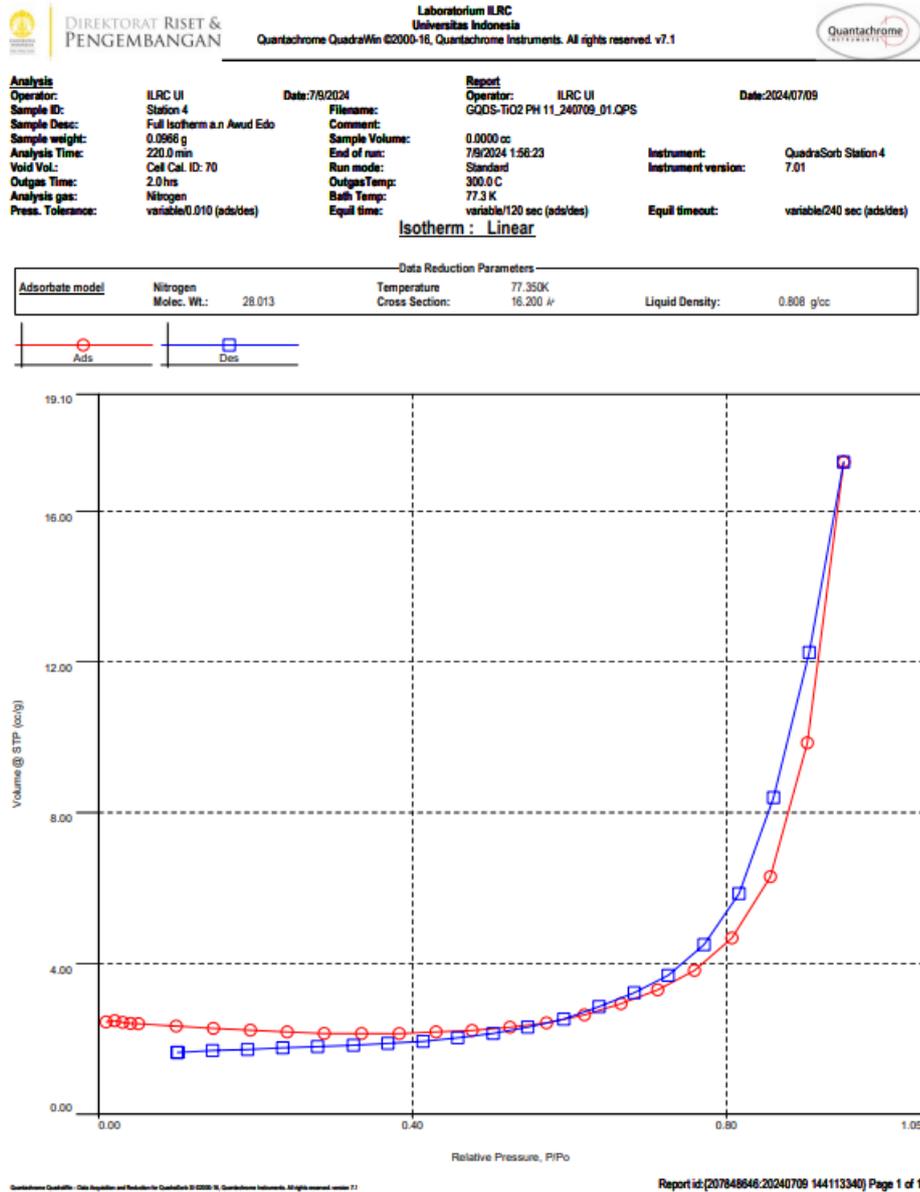
### Multi-Point BET Plot

Data Reduction Parameters			
<b>Adsorbate model</b>	Nitrogen	Temperature	77.350K
	Molec. Wt.: 28.013	Cross Section:	16.200 Å <sup>2</sup>
		Liquid Density:	0.808 g/cc



BET summary	
Slope =	572.132 1/g
Intercept =	-6.981e+00 1/g
Correlation coefficient, r =	0.998612
C constant =	-80.950
Surface Area =	6.162 m <sup>2</sup> /g

## b. TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 11





DIREKTORAT RISET &  
PENGEMBANGAN

Laboratorium ILRC  
Universitas Indonesia  
Quantachrome QuadraWin ©2000-16, Quantachrome Instruments. All rights reserved. v7.1



**Analysis**

**Operator:** ILRC UI  
**Sample ID:** Station 4  
**Sample Desc:** Full Isotherm a.n Awud Edo  
**Sample weight:** 0.0966 g  
**Analysis Time:** 220.0 min  
**Void Vol.:** Cell Cal. ID: 70  
**Outgas Time:** 2.0 hrs  
**Analysis gas:** Nitrogen  
**Press. Tolerance:** variable/0.010 (ads/des)

**Date:** 7/9/2024

**Filename:**  
**Comment:**  
**Sample Volume:** 0.0000 cc  
**End of run:** 7/9/2024 1:56:23  
**Run mode:** Standard  
**Outgas Temp:** 300.0 C  
**Bath Temp:** 77.3 K  
**Equil time:** variable/120 sec (ads/des)

**Report**

**Operator:** ILRC UI  
**Filename:** GQDS-T02 PH 11\_240709\_01.OPS

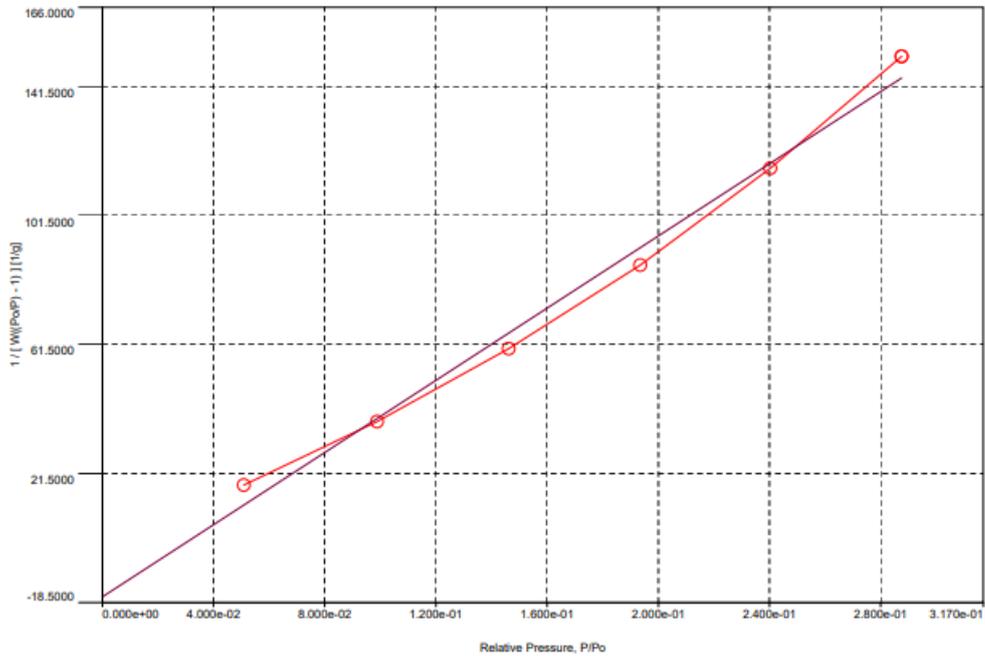
**Date:** 2024/07/09

**Instrument:** QuadraSorb Station 4  
**Instrument version:** 7.01

**Equil timeout:** variable/240 sec (ads/des)

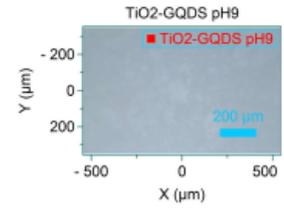
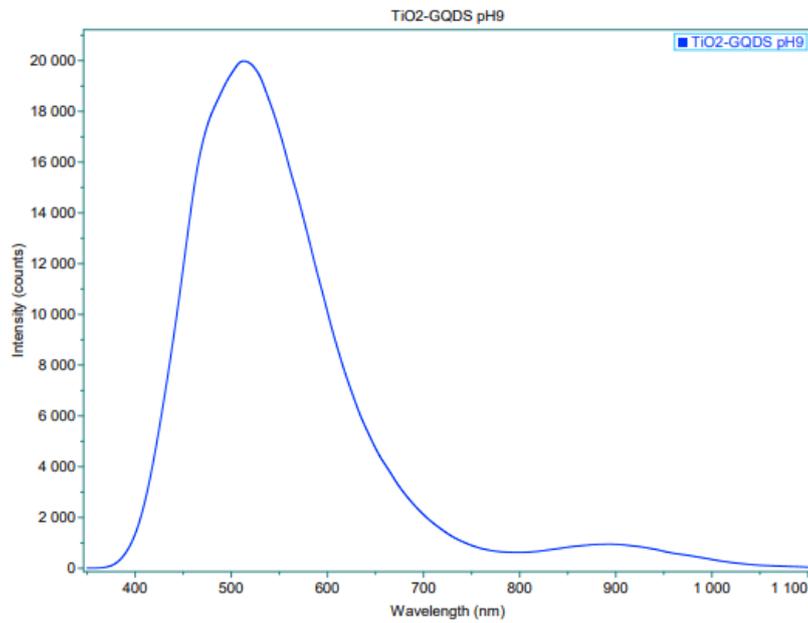
### Multi-Point BET Plot

Data Reduction Parameters			
<b>Adsorbate model</b>	Nitrogen	Temperature	77.350K
	Molec. Wt.: 28.013	Cross Section:	16.200 Å <sup>2</sup>
		Liquid Density:	0.808 g/cc



BET summary	
Slope =	559.418 1/g
Intercept =	-1.674e+01 1/g
Correlation coefficient, r =	0.994360
C constant =	-32.426
Surface Area =	6.417 m <sup>2</sup> /g

Lampiran 4 : Hasil pengujian PL  
a. TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 9



NOTES:

Powered by  
LabSpec 6 from:

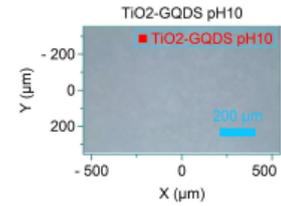
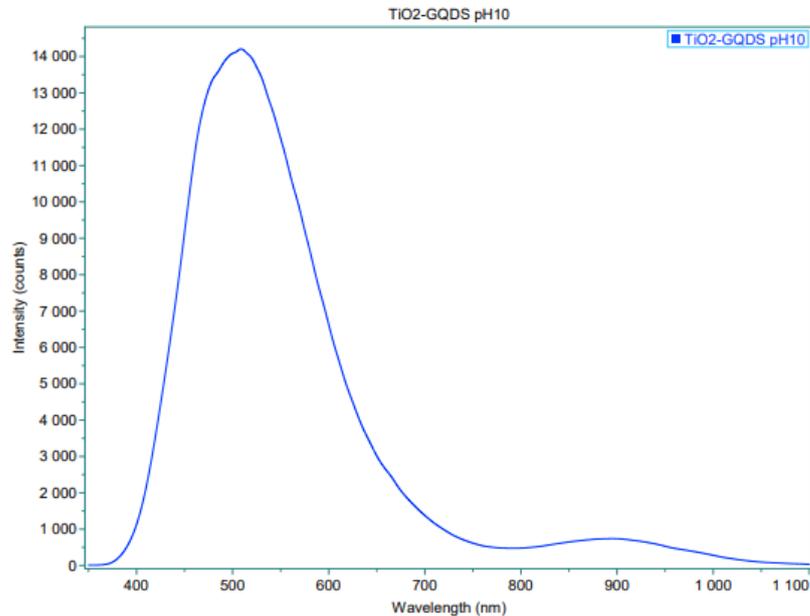


Date	12.07.2024 0...	Acq. time (s)	4	Accumulations	6	Laser (nm)	325
Spectro (cm <sup>-1</sup> )		Hole		Slit		Grating	1200
ND Filter		Objective	x10	ICS correction	Off	Range (cm <sup>-1</sup> )	

12.07.2024 02:13

1/1

b.  $\text{TiO}_2/\text{GQDs}$  pH 10



NOTES:

Powered by  
LabSpec 6 from:

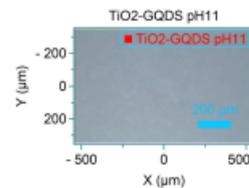
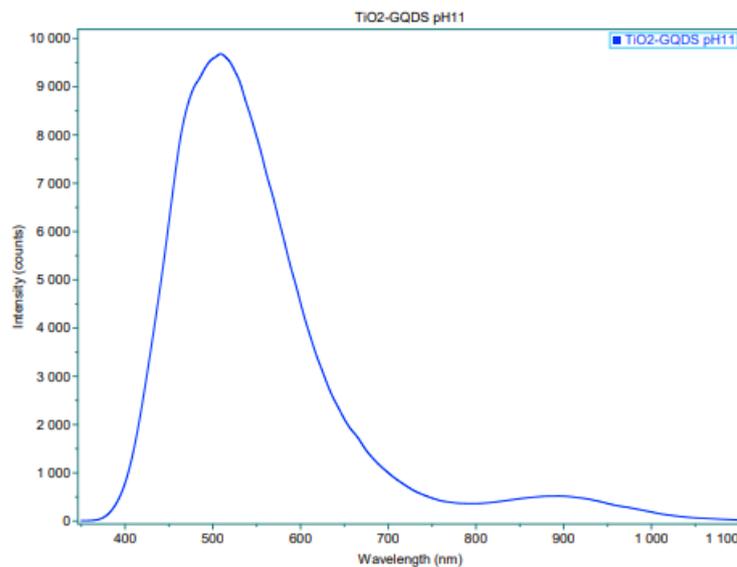


Date	12.07.2024 0...	Acq. time (s)	4	Accumulations	6	Laser (nm)	325
Spectro (cm <sup>-1</sup> )		Hole		Slit		Grating	1200
ND Filter		Objective	x10	ICS correction	Off	Range (cm <sup>-1</sup> )	

12.07.2024 04:53

1/1

c.  $\text{TiO}_2/\text{GQDs}$  pH 11



NOTES:

Powered by  
LabSpec 6 from:



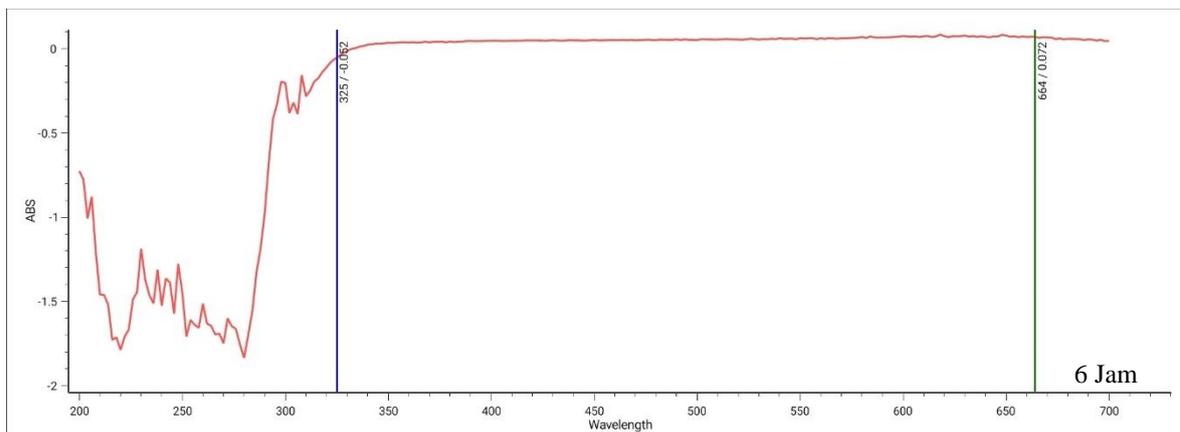
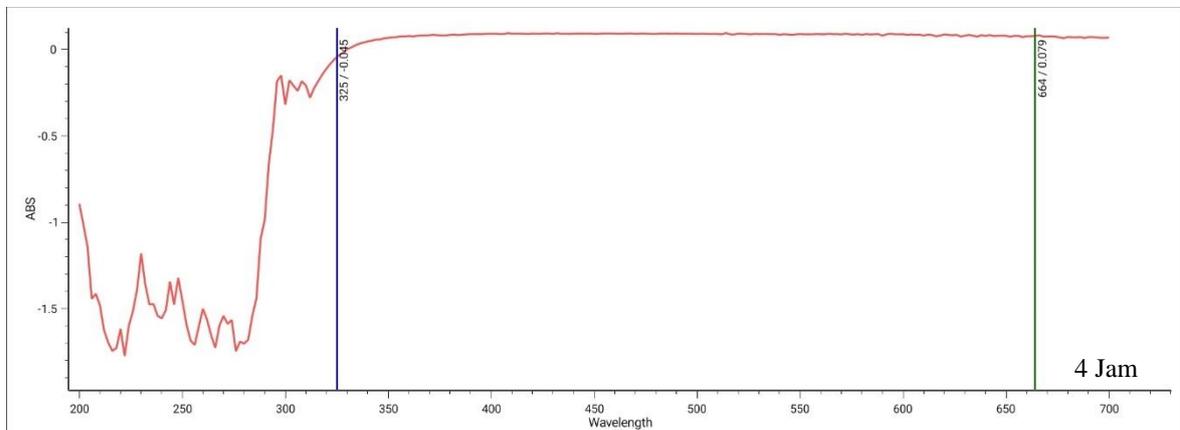
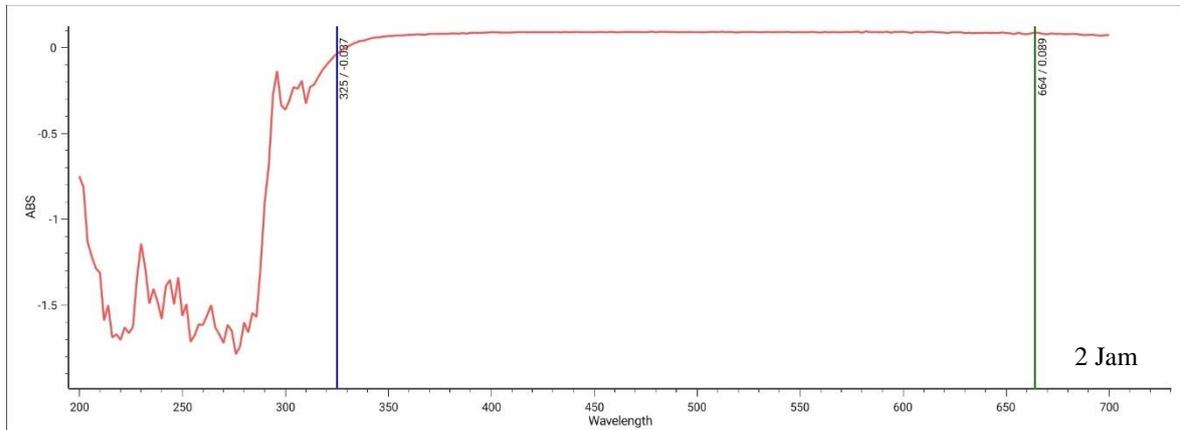
Date	12.07.2024 0...	Acq. time (s)	4	Accumulations	6	Laser (nm)	325
Spectro (cm <sup>-1</sup> )		Hole		Slit		Grating	1200
ND Filter		Objective	x10	ICS correction	Off	Range (cm <sup>-1</sup> )	

12.07.2024 03:15

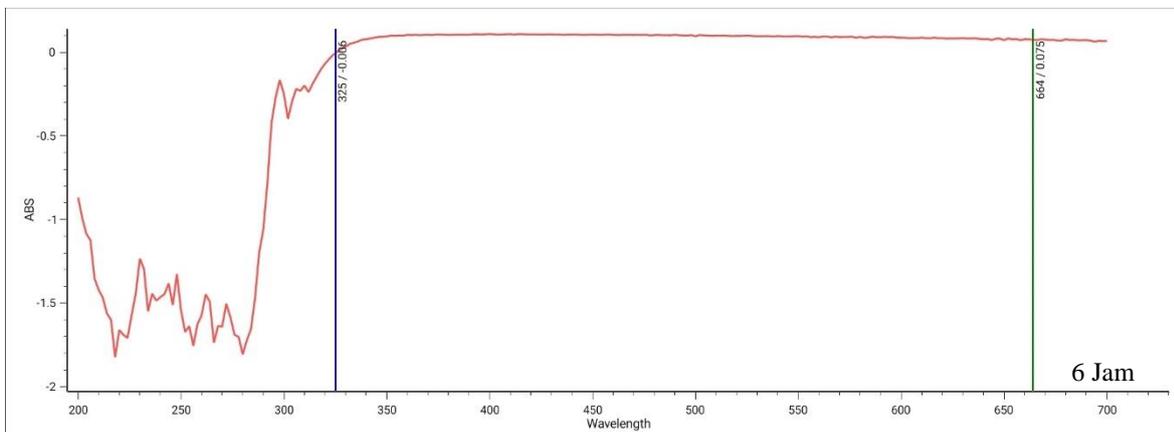
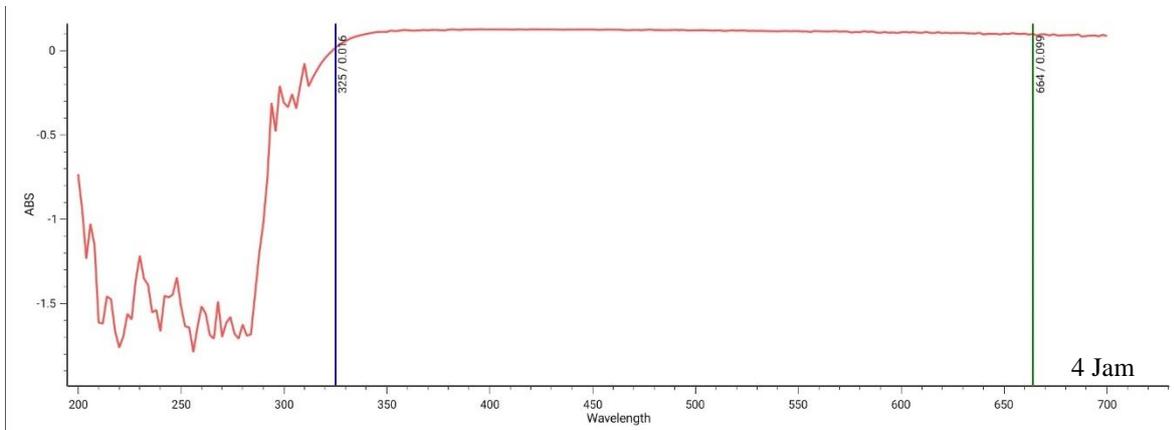
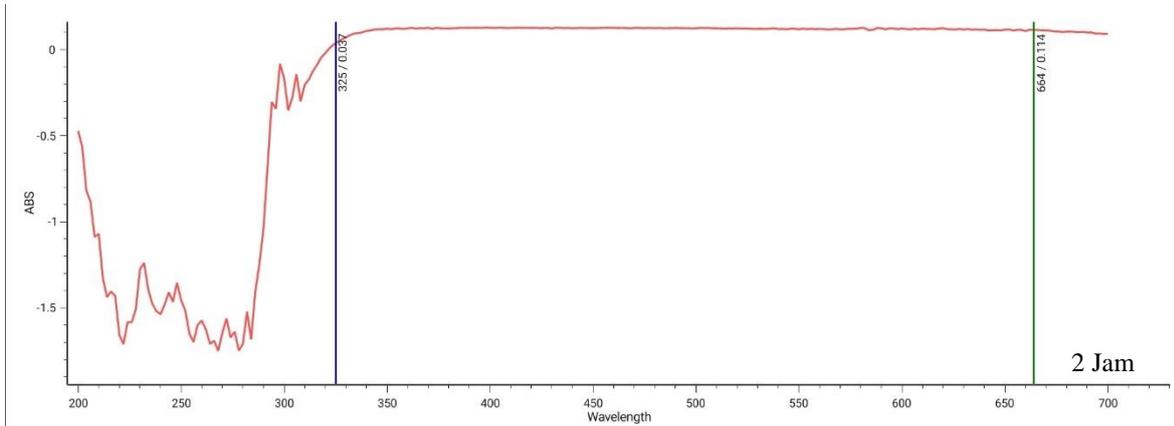
1/1

Lampiran 5 : Hasil pengujian UV-Vis

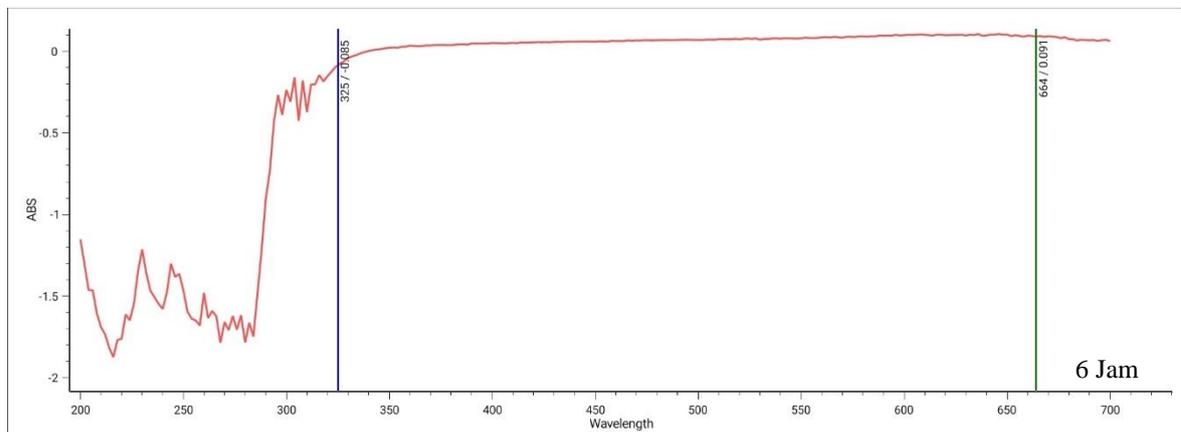
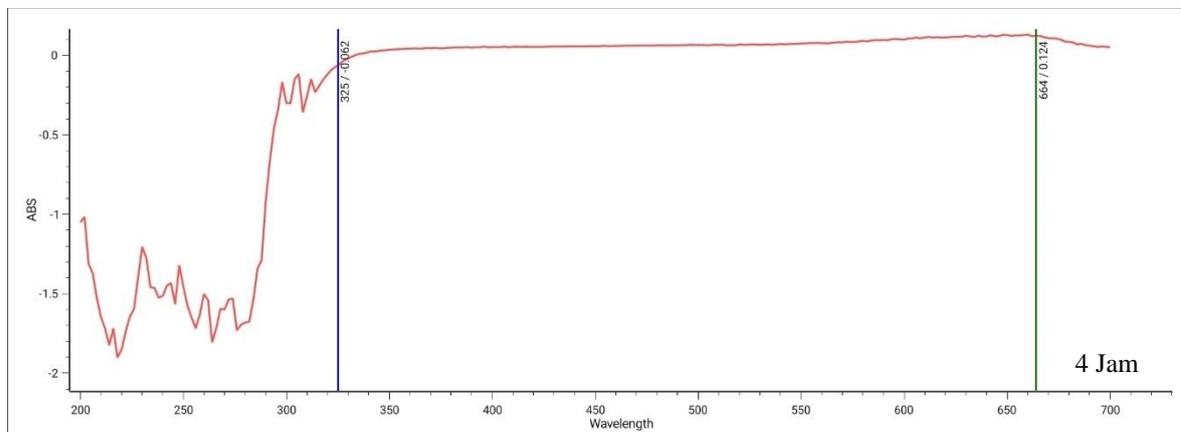
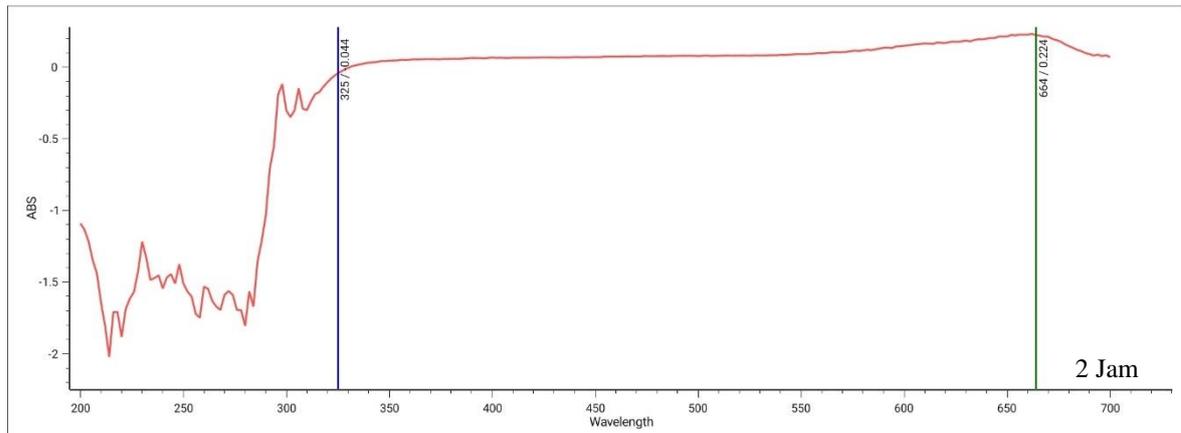
a.  $\text{TiO}_2$  pH 9



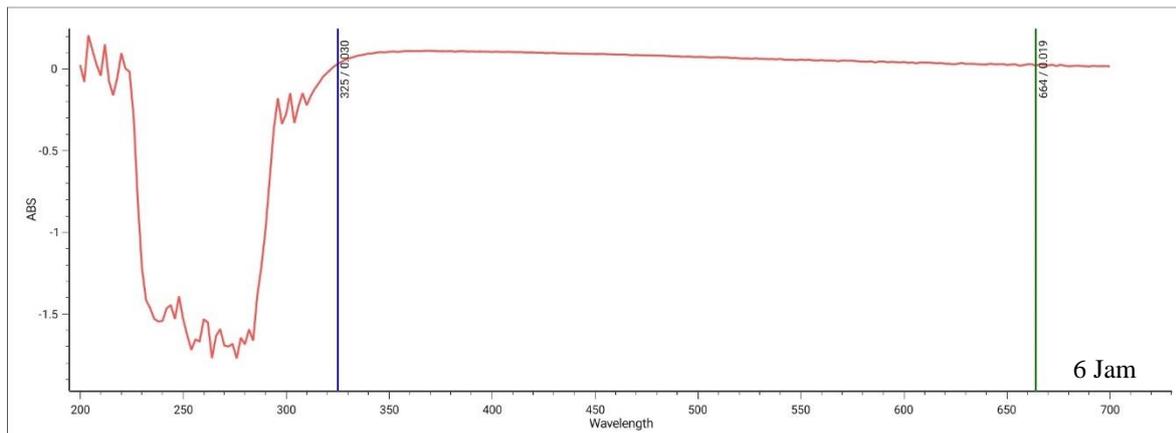
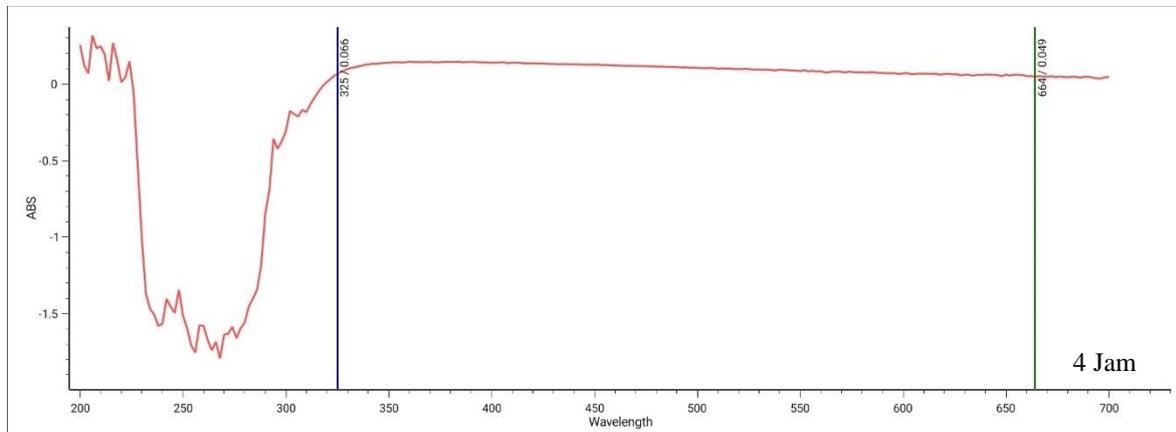
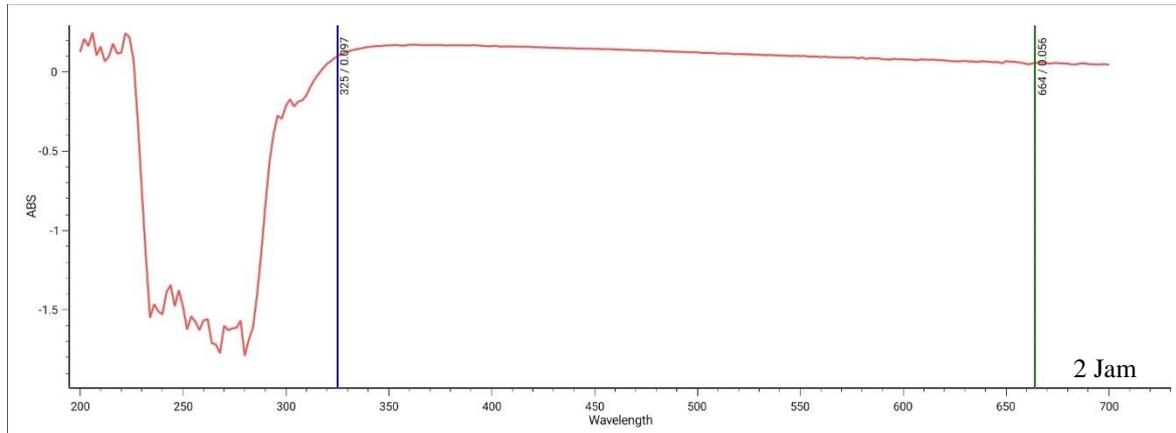
b.  $\text{TiO}_2$  pH 10



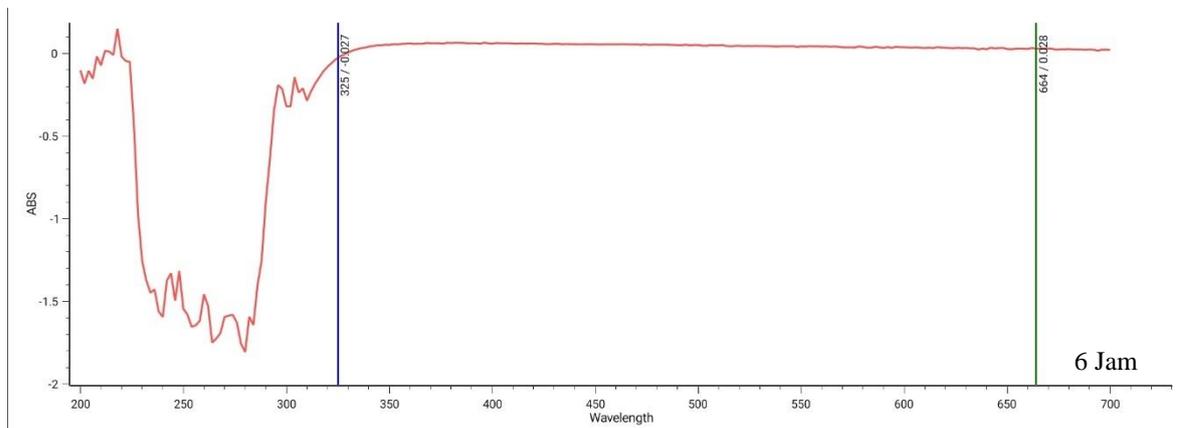
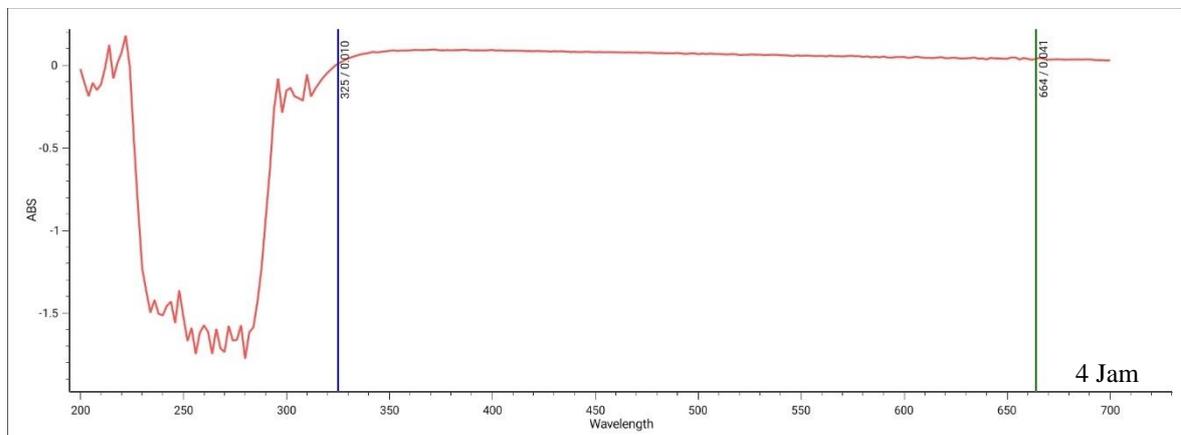
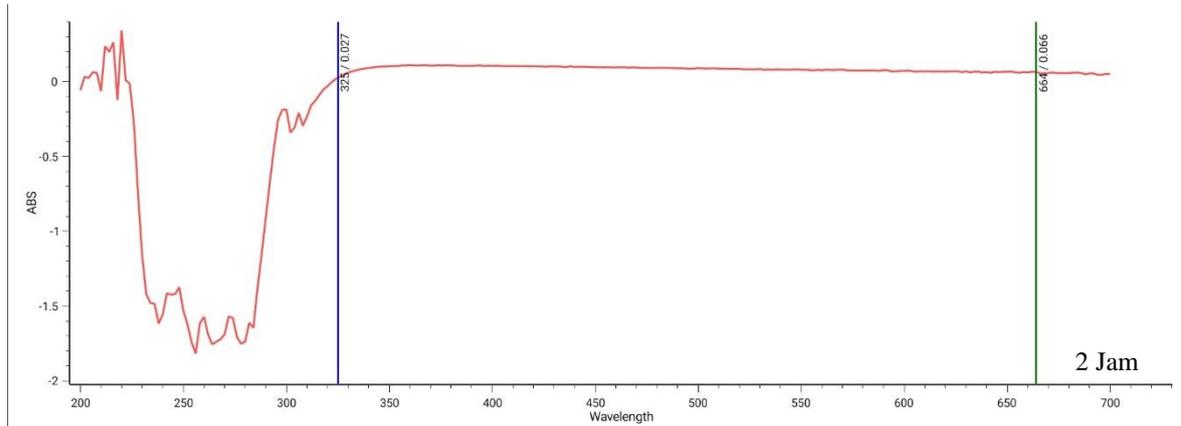
c. TiO<sub>2</sub> pH 11



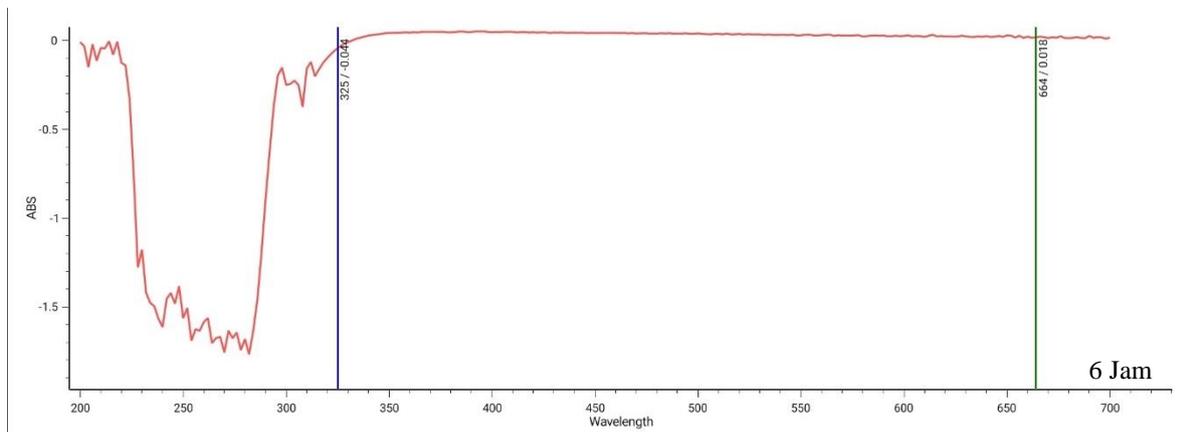
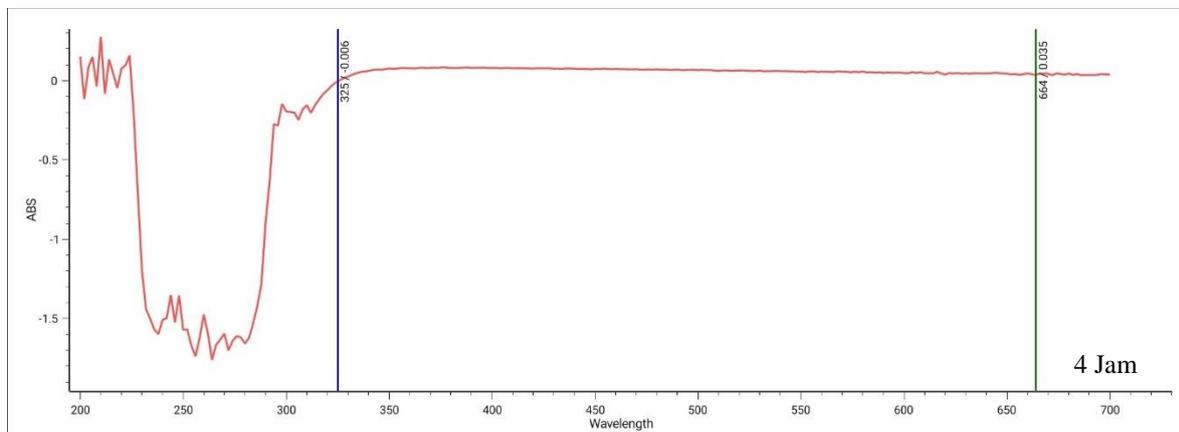
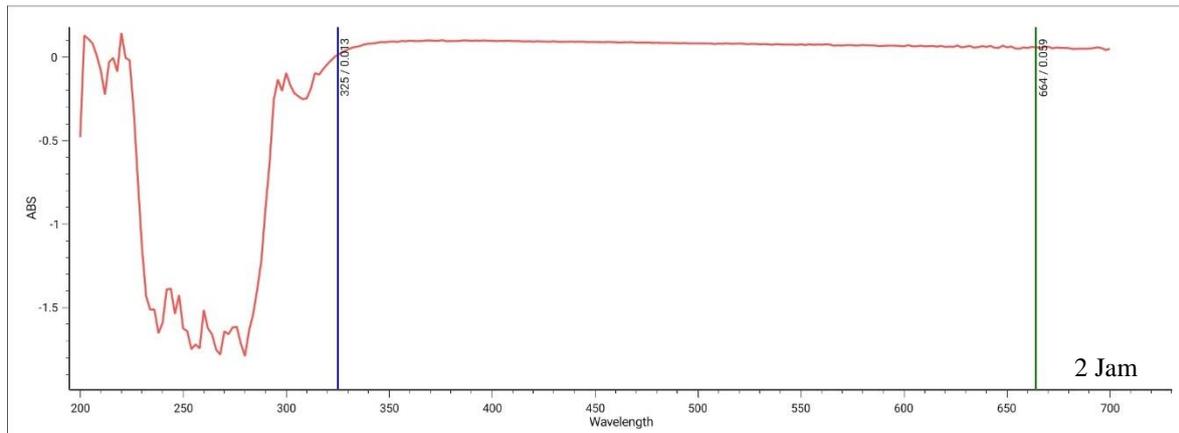
d.  $\text{TiO}_2/\text{GQDs}$  pH 9



e.  $\text{TiO}_2/\text{GQDs}$  pH 10



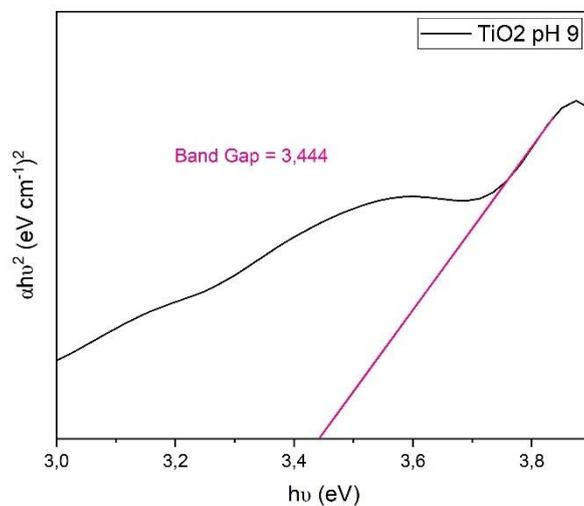
f.  $\text{TiO}_2/\text{GQDs}$  pH 11



Lampiran 6 : Perhitungan *band gap*

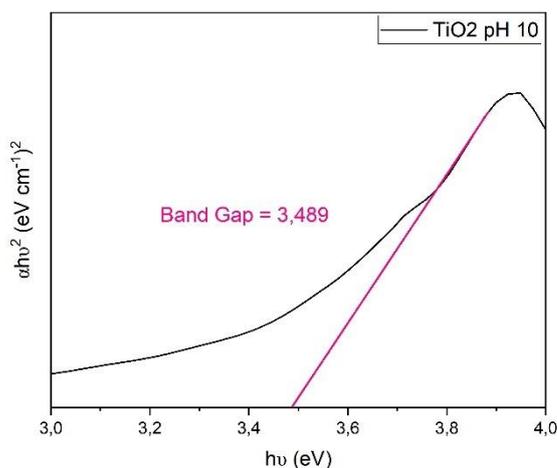
a. TiO<sub>2</sub> pH 9

	A(X1)	B(Y1)	C(X2)	D(Y2)
Long Name				
Units				
Comments				
F(x)=			1240/A	(2,303*
Method				
220	262	-1,53543	4,73282	280,08426
221	260	-1,48006	4,76923	264,26716
222	258	-1,73141	4,8062	367,27526
223	256	-1,72251	4,84375	369,21116
224	254	-1,61568	4,88189	329,97004
225	252	-1,60832	4,92063	332,18123
226	250	-1,58393	4,96	327,35818
227	248	-1,36578	5	247,33717
228	246	-1,43801	5,04065	278,66655
229	244	-1,436	5,08197	282,46229
230	242	-1,42326	5,12397	282,07786
231	240	-1,59645	5,16667	360,84393
232	238	-1,4715	5,21008	311,74383
233	236	-1,24369	5,25424	226,48087
234	234	-1,06708	5,29915	169,58736
235	232	-0,76928	5,34483	89,66525
236	230	-0,45648	5,3913	32,12322
237	228	0,02802	5,4386	0,12317
238	226	0,53928	5,48673	46,43474
239	224	0,9641	5,53571	151,0704
240	222	0,88197	5,58559	128,71612
241	220	0,80404	5,63636	108,92842
242	218	0,74185	5,68807	94,4388
243	216	5,00001	5,74074	4369,83954
244	214	0,82798	5,79439	122,07968
245	212	0,79082	5,84906	113,47882
246	210	1,13316	5,90476	237,45162
247	208	0,84984	5,96154	136,13786
248	206	1,71125	6,01942	562,76066
249	204	0,63446	6,07843	78,88227
250	202	0,25786	6,13861	13,28913
251	200	0,17689	6,2	6,37937
252				



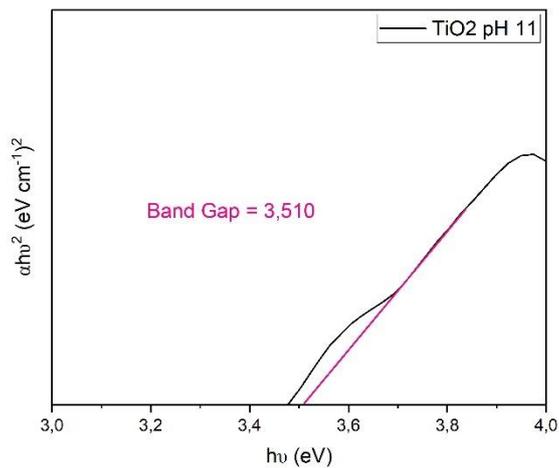
b. TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 10

	A(X1)	B(Y1)	C(X2)	D(Y2)
Long Name				
Units				
Comments				
F(x)=			1240/A	(2,303*
Method				
1	700	0,98008	1,77143	15,98668
2	698	0,9815	1,7765	16,12505
3	696	0,98674	1,78161	16,39148
4	694	0,99185	1,78674	16,65729
5	692	0,99085	1,79191	16,71995
6	690	0,9959	1,7971	16,98887
7	688	1,00013	1,80233	17,23325
8	686	0,99415	1,80758	17,12722
9	684	1,00922	1,81287	17,75378
10	682	1,02036	1,81818	18,25448
11	680	1,01505	1,82353	18,1714
12	678	1,01567	1,82891	18,3011
13	676	1,02078	1,83432	18,59526
14	674	1,02933	1,83976	19,02045
15	672	1,02709	1,84524	19,05065
16	670	1,02364	1,85075	19,03602
17	668	1,03848	1,85629	19,70945
18	666	1,03462	1,86186	19,68088
19	664	1,03895	1,86747	19,96569
20	662	1,04325	1,87311	20,25313
21	660	1,04679	1,87879	20,51457
22	658	1,04233	1,8845	20,46397
23	656	1,04841	1,89024	20,82984
24	654	1,0574	1,89602	21,31839
25	652	1,05984	1,90184	21,54848
26	650	1,05489	1,90769	21,47924
27	648	1,06327	1,91358	21,95677
28	646	1,06906	1,9195	22,3342
29	644	1,06195	1,92547	22,17521
30	642	1,07881	1,93146	23,02773
31	640	1,07606	1,9375	23,05389
32	638	1,08179	1,94357	23,44638
33	636	1,08979	1,94969	23,94433
34	634	1,0921	1,95584	24,19789



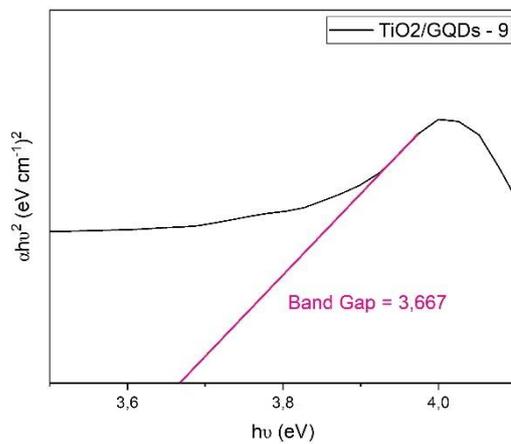
c. TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 11

	A(X1)	B(Y1)	C(X2)	D(Y2)
Long Name				
Units				
Comments				
F(x)=			1240/A	(2,303*
Method				
1	700	0,82254	1,77143	11,26028
2	698	0,82736	1,7765	11,45802
3	696	0,82605	1,78161	11,4875
4	694	0,83114	1,78674	11,69663
5	692	0,81666	1,79191	11,35799
6	690	0,8309	1,7971	11,8258
7	688	0,82891	1,80233	11,83775
8	686	0,82884	1,80758	11,90486
9	684	0,82192	1,81287	11,77547
10	682	0,82276	1,81818	11,86886
11	680	0,81745	1,82353	11,78517
12	678	0,82384	1,82891	12,04086
13	676	0,82314	1,83432	12,09164
14	674	0,82163	1,83976	12,11892
15	672	0,82093	1,84524	12,1704
16	670	0,81943	1,85075	12,19847
17	668	0,82514	1,85629	12,44324
18	666	0,81537	1,86186	12,22341
19	664	0,81614	1,86747	12,32039
20	662	0,8115	1,87311	12,25441
21	660	0,81022	1,87879	12,28993
22	658	0,8131	1,8845	12,45281
23	656	0,81991	1,89024	12,7396
24	654	0,81231	1,89602	12,58112
25	652	0,81047	1,90184	12,60114
26	650	0,81247	1,90769	12,74146
27	648	0,81832	1,91358	13,00552
28	646	0,81159	1,9195	12,87181
29	644	0,81048	1,92547	12,91648
30	642	0,81005	1,93146	12,98329
31	640	0,80978	1,9375	13,05586
32	638	0,80891	1,94357	13,10963
33	636	0,80677	1,94969	13,1225
34	634	0,81062	1,95584	13,33176



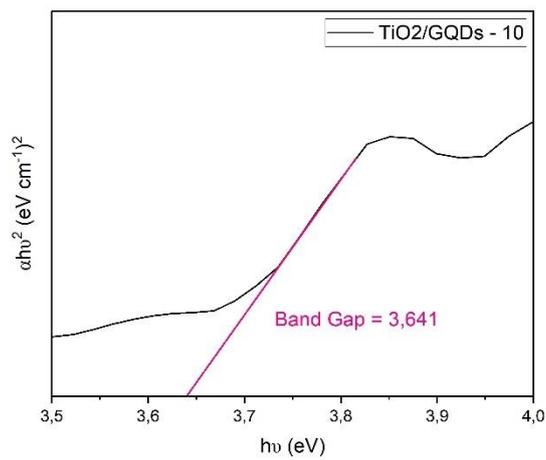
d. TiO<sub>2</sub>/GQDs pH 9

	A(X1)	B(Y1)	C(X2)	D(Y2)
Long Name				
Units				
Comments				
F(x)=			1240/A	(2,303
Method				
1	700	0,03965	1,77143	0,02617
2	698	0,03858	1,7765	0,02491
3	696	0,04262	1,78161	0,03058
4	694	0,02922	1,78674	0,01446
5	692	0,04393	1,79191	0,03287
6	690	0,0385	1,7971	0,02539
7	688	0,03785	1,80233	0,02468
8	686	0,04067	1,80758	0,02866
9	684	0,04289	1,81287	0,03206
10	682	0,04486	1,81818	0,03528
11	680	0,04008	1,82353	0,02833
12	678	0,04576	1,82891	0,03715
13	676	0,03961	1,83432	0,028
14	674	0,04174	1,83976	0,03128
15	672	0,04056	1,84524	0,02971
16	670	0,04621	1,85075	0,03879
17	668	0,0415	1,85629	0,03148
18	666	0,04098	1,86186	0,03088
19	664	0,04293	1,86747	0,03409
20	662	0,03903	1,87311	0,02835
21	660	0,04278	1,87879	0,03426
22	658	0,04301	1,8845	0,03484
23	656	0,04486	1,89024	0,03814
24	654	0,0428	1,89602	0,03493
25	652	0,04237	1,90184	0,03444
26	650	0,04344	1,90769	0,03642
27	648	0,04152	1,91358	0,03348
28	646	0,04576	1,9195	0,04092
29	644	0,04668	1,92547	0,04285
30	642	0,04601	1,93146	0,04189
31	640	0,03759	1,9375	0,02813
32	638	0,04576	1,94357	0,04195
33	636	0,04158	1,94969	0,03486
34	634	0,04487	1,95584	0,04085



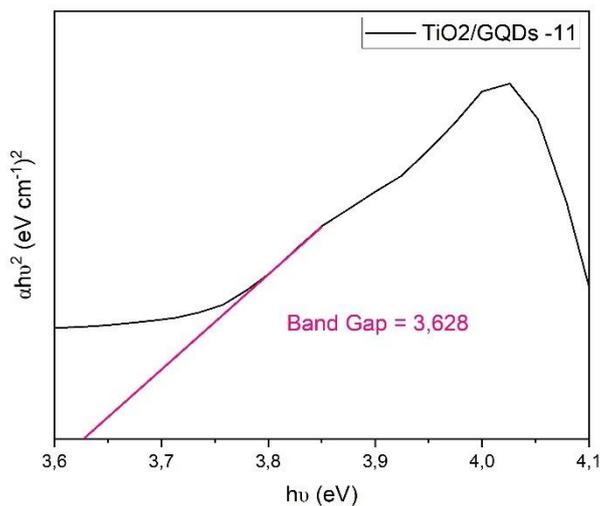
e.  $\text{TiO}_2/\text{GQDs}$  pH 10

	A(X1)	B(Y1)	C(X2)	D(Y2)
Long Name				
Units				
Comments				
F(x)=			1240/A	(2,303*
Method				
1	700	-0,0869	1,77143	0,12568
2	698	-0,08911	1,7765	0,13291
3	696	-0,08986	1,78161	0,13594
4	694	-0,08693	1,78674	0,12795
5	692	-0,08741	1,79191	0,13012
6	690	-0,08739	1,7971	0,13081
7	688	-0,0887	1,80233	0,13555
8	686	-0,09018	1,80758	0,14093
9	684	-0,08667	1,81287	0,13094
10	682	-0,09021	1,81818	0,14268
11	680	-0,0888	1,82353	0,13907
12	678	-0,08499	1,82891	0,12815
13	676	-0,08228	1,83432	0,12082
14	674	-0,08766	1,83976	0,13795
15	672	-0,08224	1,84524	0,12214
16	670	-0,09284	1,85075	0,15659
17	668	-0,08741	1,85629	0,13964
18	666	-0,09304	1,86186	0,15916
19	664	-0,09151	1,86747	0,15489
20	662	-0,09077	1,87311	0,15332
21	660	-0,08884	1,87879	0,14776
22	658	-0,08497	1,8845	0,13599
23	656	-0,08576	1,89024	0,13938
24	654	-0,08655	1,89602	0,14283
25	652	-0,09088	1,90184	0,15844
26	650	-0,08935	1,90769	0,1541
27	648	-0,09039	1,91358	0,15868
28	646	-0,087	1,9195	0,14791
29	644	-0,0929	1,92547	0,1697
30	642	-0,08225	1,93146	0,13385
31	640	-0,09	1,9375	0,16127
32	638	-0,0861	1,94357	0,14852
33	636	-0,0883	1,94969	0,15719
34	634	-0,08497	1,95584	0,14648



f.  $\text{TiO}_2/\text{GQDs}$  pH 11

	A(X1)	B(Y1)	C(X2)	D(Y2)
Long Name				
Units				
Comments				
F(x)=			1240/A	(2,303*
Method				
1	700	0,04514	1,77143	0,03391
2	698	0,05142	1,7765	0,04426
3	696	0,04262	1,78161	0,03058
4	694	0,04654	1,78674	0,03667
5	692	0,04644	1,79191	0,03673
6	690	0,04764	1,7971	0,03888
7	688	0,04307	1,80233	0,03196
8	686	0,05419	1,80758	0,05089
9	684	0,04795	1,81287	0,04008
10	682	0,05366	1,81818	0,05049
11	680	0,04566	1,82353	0,03677
12	678	0,04595	1,82891	0,03746
13	676	0,0493	1,83432	0,04337
14	674	0,04802	1,83976	0,0414
15	672	0,05013	1,84524	0,04538
16	670	0,04386	1,85075	0,03495
17	668	0,04607	1,85629	0,03879
18	666	0,0534	1,86186	0,05243
19	664	0,04726	1,86747	0,04131
20	662	0,0469	1,87311	0,04093
21	660	0,05063	1,87879	0,04799
22	658	0,04826	1,8845	0,04387
23	656	0,04902	1,89024	0,04554
24	654	0,04904	1,89602	0,04585
25	652	0,04148	1,90184	0,03301
26	650	0,04383	1,90769	0,03708
27	648	0,04428	1,91358	0,03808
28	646	0,04306	1,9195	0,03623
29	644	0,05018	1,92547	0,04951
30	642	0,04916	1,93146	0,04782
31	640	0,04803	1,9375	0,04593
32	638	0,04616	1,94357	0,04269
33	636	0,04917	1,94969	0,04874
34	634	0,04457	1,95584	0,0403



## UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam mengerjakan laporan penelitian Tugas Akhir ini, penulis mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung dan membantu, diantaranya:

1. Tuhan yang Maha Esa untuk semua kebaikan yang terjadi dalam kehidupan ini
2. Papa, Mama, Naomi, dan Mozes *the one who always there since day one, the one who always make sure that everything going well, then one who always know all the condition that i've been through. For everything.*
3. Keluarga besar *who always support me with their prayers and their support, who always be happy with the good news i've got*
4. Ibu Dr. Hariyati Purwaningsih S.Si., M.Si. dan Ibu Vania Mitha Prawiti, S.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk membimbing penulis dengan penuh kesabaran dan memberikan petunjuk dalam penulisan tugas akhir.
5. Mba Is dan Mba Yenny yang mau saya repotkan dalam pengujian sehingga penelitian tugas akhir ini bisa berjalan dengan baik
6. Mas Indro, Pak Bas, Pak Nazir, Mas Bayu, dan bapak lainnya saya tidak ketahui namanya yang mau memberi saya semangat dengan guyonan dan kejailannya dikala saya *hectic*.
7. Awud Edo, *my partner, my best friend, and also my brother who always got my back, who always understand about me and never leave me. Lowkey, you are the best.*
8. Regina Valentina Manik, *my one and only. No words can't describe how huge your service to my life. You are my everything, Gina.*
9. Kak Gaby, Kak Best, Bang Nico, *my rebel family who always convices me that I can do this things.*
10. Dewa, Iwang, Bagas, Diaz dan Ajhar *the funniest people in life to entertain me with their jokes. For all the moments and the story that we have been through together.*
11. Alamanda, Ika, dan Tasya *who be my savest place to tell all my story and my struggle behind my final project.*
12. Rara, *you are precious. You should know that you are loved by me. You are so pure.*
13. Alvi, Reza, dan Yusuf Bayu untuk segala ilmu yang diajarkan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
14. Intan Fla, *my SC. I know since day one, that you are gonna be the best SC, and of course you doing it well mba.*
15. Deandra Sarah, *my chicago since childhood.*
16. Awandhana Anggi, *my best friend with her sweet words to cheering me up*
17. Dolop, Rushdan, Pandi, Siti, dan Kinan
18. Piku, Jeki, dan Oles *who always there to create a place to hang out without talking any things about final project*

Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk pengembangan lebih lanjut dan siapapun yang membutuhkan di masa yang akan datang.

Surabaya, 25 Juli 2024  
Penulis

Jennifer Theresa Hutapea

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



Jennifer Theresa Hutapea lahir di Samarinda pada tanggal 27 April 2002. Bersekolah pada SD Kristen Ipeka Balikpapan pada tahun 2008 dan lulus enam tahun kemudian pada tahun 2014, dan melanjutkan jenjang pada sekolah SMP Kristen Ipeka Balikpapan dan lulus tiga tahun kemudian pada tahun 2017, setelah itu berlanjut ke pendidikan di SMAN 14 Bandung dan lulus tiga tahun kemudian pada tahun 2019, kemudian melanjutkan jenjang pendidikan pada Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS ITS. Selama perkuliahan, penulis aktif dalam kegiatan berorganisasi di HMMT FTIRS ITS 2021/2022 sebagai sekretaris departemen pengembangan mahasiswa tingkat dasar. Penulis memiliki pengalaman kerja praktik di PT Pertamina Hulu Sanga Sanga pada tahun 2023 dan ditempatkan di divisi Supply Chain Management. Penulis Mengakhiri Studi S1 dengan mengambil penelitian di bidang Fisika Material. Penulis dapat dihubungi melalui alamat surel [hutapeajennifer@gmail.com](mailto:hutapeajennifer@gmail.com) dan nomor telepon 085156941802.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*