



**SKRIPSI - SK234801**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI ADSORBEN  $ZnO/SiO_2$   
DENGAN SUMBER  $SiO_2$  DARI SEKAM PADI SERTA  
APLIKASINYA DALAM ADSORPSI ION FOSFAT**

**ANDHINI DWIYANTI  
NRP 5004211010**

**Dosen Pembimbing  
Prof. Dr.rer.nat. Irmina Kris Murwani  
NIP. 196412241989032002**

**Sarjana Kimia  
Departemen Kimia  
Fakultas Sains dan Analitika Data  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2025**

**FINAL PROJECT - SK234801**

# **ADSORPTION SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF ZnO/SiO<sub>2</sub> ADSORBENT WITH RICE HUSK AS THE SOURCE OF SiO<sub>2</sub> AND ITS APPLICATION IN PHOSPHATE ION ADSORPTION**

**ANDHINI DWIYANTI**  
**NRP 5004211010**

**Supervisor**  
**Prof. Dr.rer.nat. Irmina Kris Murwani**  
**NIP. 196412241989032002**

**Bachelor Chemistry**  
Department of Chemistry  
Faculty of Science and Data Analytics  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2025



**SKRIPSI - SK234801**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI ADSORBEN  $ZnO/SiO_2$   
DENGAN SUMBER  $SiO_2$  DARI SEKAM PADI SERTA  
APLIKASINYA DALAM ADSORPSI ION FOSFAT**

**ANDHINI DWIYANTI  
NRP 5004211010**

Dosen Pembimbing  
**Prof. Dr.rer.nat. Irmina Kris Murwani**  
NIP. 196412241989032002

**Sarjana Kimia  
Departemen Kimia  
Fakultas Sains dan Analitika Data  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2025**



**FINAL PROJECT - SK234801**

# **SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF ZnO/SiO<sub>2</sub> ADSORBENT WITH RICE HUSK AS THE SOURCE OF SiO<sub>2</sub> AND ITS APPLICATION IN PHOSPHATE ION ADSORPTION**

**ANDHINI DWIYANTI  
NRP 5004211010**

**Supervisor  
Prof. Dr.rer.nat. Irmina Kris Murwani  
NIP. 196412241989032002**

**Bachelor Chemistry  
Department of Chemistry  
Faculty of Science and Data Analytics  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2025**

## LEMBAR PENGESAHAN

### SINTESIS DAN KARAKTERISASI ADSORBEN ZnO/SiO<sub>2</sub> DENGAN SUMBER SiO<sub>2</sub> DARI SEKAM PADI SERTA APLIKASINYA DALAM ADSORPSI ION FOSFAT

#### SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat

memperoleh gelar S.Si pada

Program Studi S-1 Kimia

Departemen Kimia

Fakultas Sains dan Analitika Data

Institut teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : ANDHINI DWIYANTI

NRP. 5004211010

Disetujui oleh Tim Pengaji Tugas Akhir

1. Prof. Dr.rer.nat. Irmina Kris Murwani

Pembimbing

2. Prof. Hamzah Fansuri, M.Si., Ph.D.

Pengaji

3. Zjahra Vianita Nugraheni, S.Si., M.Si.

Pengaji



## APPROVAL SHEET

### SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF ZnO/SiO<sub>2</sub> ADSORBENT WITH RICE HUSK AS THE SOURCE OF SiO<sub>2</sub> AND ITS APPLICATION IN PHOSPHATE ION ADSORPTION

### FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements  
for obtaining a degree Bachelor of Science at

Undergraduate Study Program of Bachelor Chemistry

Department of Chemistry

Faculty of Sains and Data Analytics

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : ANDHINI DWIYANTI

NRP. 5004211010

Approved by Final Project Examiner Team:

1. Prof. Dr.rer.nat. Irmina Kris Murwani

Supervisor

2. Prof. Hamzah Fansuri, M.Si., Ph.D.

Examiner

3. Zjahra Vianita Nugraheni, S.Si., M.Si.

Examiner



## **PERNYATAAN ORISINALITAS**

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Andhini Dwiyanti / 5004211010

Departemen : Kimia

Dosen Pembimbing / NIP : Prof. Dr.rer.nat. Irmina Kris Murwani / 19641224 198903 2002

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Sintesis dan Karakterisasi Adsorben ZnO/SiO<sub>2</sub> dengan Sumber SiO<sub>2</sub> Dari Sekam Padi Serta Aplikasinya dalam Adsorpsi Ion Fosfat” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan 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, 30 Juli 2025

Mengetahui

Dosen Pembimbing

(Prof. Dr.rer.nat. Irmina Kris Murwani)  
NIP. 19641224 198903 2002

Mahasiswa

(Andhini Dwiyanti)  
NRP. 5004211010

## STATEMENT OF ORIGINALITY

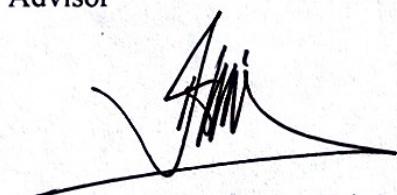
The undersigned below:

Name of student / NRP : Andhini Dwiyanti / 5004211010  
Department : Chemistry  
Advisor / NIP : Prof. Dr.rer.nat. Irmina Kris Murwani / 19641224 198903 2002

hereby declare that the Final Project with the title of "Synthesis and Characterization of ZnO/SiO<sub>2</sub> Adsorbent with Rice Husk as the Source of SiO<sub>2</sub> and Its Application in Phosphate Ion Adsorption" 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 30<sup>th</sup> 2025

Acknowledged  
Advisor



(Prof. Dr.rer.nat. Irmina Kris Murwani)  
NIP. 19641224 198903 2002

Student



(Andhini Dwiyanti)  
NRP. 5004211010

# **SINTESIS DAN KARAKTERISASI ADSORBEN ZnO/SiO<sub>2</sub> DENGAN SUMBER SiO<sub>2</sub> DARI SEKAM PADI SERTA APLIKASINYA DALAM ADSORPSI ION FOSFAT**

**Nama Mahasiswa / NRP.** : Andhini Dwiyanti / **5004211010**  
**Departemen** : Kimia  
**Dosen Pembimbing** : Prof. Dr.rer.nat. Irmina Kris Murwani

## **Abstrak**

Adsorben xZnO/SiO<sub>2</sub> disintesis dengan silika (SiO<sub>2</sub>) dari sekam padi dalam proses adsorpsi ion fosfat telah dilakukan. Sintesis diawali dengan ekstraksi SiO<sub>2</sub> dari sekam padi dilanjutkan dengan modifikasi dengan ion Zn<sup>2+</sup> melalui metode impregnasi sehingga terbentuk xZnO/SiO<sub>2</sub> ( $x=0,4; 0,6; 0,8; 1,0;$  dan  $1,2\% \text{ w/w SiO}_2$ ). Adsorben xZnO/SiO<sub>2</sub> dikarakterisasi dengan XRD dan FTIR, luas permukaan diukur dengan metode MB. Pola difraksi menunjukkan bahwa semua xZnO/SiO<sub>2</sub> amorf dengan puncak gundukan pada  $2\theta = 21^\circ$ . Spektra FTIR xZnO/SiO<sub>2</sub> sama untuk seluruh adsorben, pada adsorben terimpregnasi ZnO muncul puncak pada 460 - 470 cm<sup>-1</sup> sebagai vibrasi Zn-O. Luas permukaan xZnO/SiO<sub>2</sub> diperoleh antara 9,0751 dan 9,1756 m<sup>2</sup>/g, adsorben terimpregnasi ZnO 1,2% memiliki luas area lebih tinggi dibandingkan dengan SiO<sub>2</sub>. Uji adsorpsi ion fosfat menunjukkan bahwa kondisi optimum dicapai pada waktu kontak selama 150 menit dan dosis adsorben sebesar 0,3 gram. Adsorben 1,2ZnO/SiO<sub>2</sub> memiliki kapasitas adsorpsi tertinggi sebesar 29,9953 mg/g dengan efisiensi penghilangan ion fosfat sebesar 99,984%. Analisis kinetika menunjukkan bahwa proses adsorpsi mengikuti model kinetika orde dua semu dalam penyerapan ion fosfat.

**Kata kunci:** *Adsorpsi, Ion Fosfat, Kinetika Orde Dua, Sekam Padi, ZnO/SiO<sub>2</sub>*

# **SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF ZnO/SiO<sub>2</sub> ADSORBENT WITH RICE HUSK AS THE SOURCE OF SiO<sub>2</sub> AND ITS APPLICATION IN PHOSPHATE ION ADSORPTION**

**Student Name / NRP.** : Andhini Dwiyanti / 5004211010  
**Department** : Chemistry  
**Advisor** : Prof. Dr.rer.nat. Irmina Kris Murwani

## **Abstract**

Adsorbent xZnO/SiO<sub>2</sub> synthesized with silica (SiO<sub>2</sub>) from rice husk in the process of phosphate ion adsorption has been carried out. The synthesis begins with the extraction of SiO<sub>2</sub> from rice husk which is continued with modification with Zn<sup>2+</sup> ions through the impregnation method to form xZnO/SiO<sub>2</sub> (x=0.4; 0.6; 0.8; 1.0; and 1.2 % w/w SiO<sub>2</sub>). Adsorbent xZnO/SiO<sub>2</sub> was characterized by XRD and FTIR, the surface area was measured by the MB method. The diffraction pattern showed that all xZnO/SiO<sub>2</sub> were amorphous with a hump peak at  $2\theta = 21$ . The FTIR spectrum of xZnO/SiO<sub>2</sub> was the same for all adsorbents, the impregnated adsorbent appeared a peak at 460 - 470 cm<sup>-1</sup> as the vibration of Zn-O. The surface area of xZnO/SiO<sub>2</sub> was obtained between 9.0751 and 9.1756 m<sup>2</sup>/g, ZnO impregnated adsorbent 1.2% had a higher surface area compared to SiO<sub>2</sub>. Phosphate ion adsorption test showed that the optimum condition was achieved at a contact time of 150 minutes and an adsorbent dose of 0.3 grams. The 1.2ZnO/SiO<sub>2</sub> adsorbent had the highest adsorption capacity of 29.9953 mg/g with a phosphate ion removal efficiency of 99.984 percent. Kinetic analysis showed that the adsorption process followed a pseudo second-order kinetic model in the absorption of phosphate ions.

**Keywords:** *Adsorption, Phosphate Ions, Pseudo-Second-Order Kinetics, Rice Husk, ZnO/SiO<sub>2</sub>*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir yang berjudul “Sintesis dan Karakterisasi Adsorben ZnO/SiO<sub>2</sub> dengan Sumber SiO<sub>2</sub> Dari Sekam Padi Serta Aplikasinya dalam Adsorpsi Ion Fosfat” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Analitika Data, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam proses penyusunan laporan ini, penulis telah menerima banyak bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah memberikan kontribusi, baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian skripsi ini, yaitu:

1. Prof. Dr.rer.nat Irmina Kris Murwani, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan pengarahan, bimbingan, saran, serta motivasi selama proses penyusunan skripsi.
2. Wahyu Prasetyo Utomo, M.Si., Ph.D., selaku Kepala Departemen Kimia Fakultas Sains dan Analitika Data.
3. Prof. Dr. Djoko Hartanto, S.Si. M.Si., selaku Kepala Laboratorium Kimia Material dan Energi yang telah memberikan fasilitas laboratorium selama pengerjaan skripsi.
4. Bapak dan Ibu dosen maupun tenaga pendidik Departemen Kimia ITS atas ilmu dan bimbingan yang telah diberikan.
5. Kedua orang tua, ayah, ibu, kakak, dan seluruh keluarga atas dukungan moral, finansial serta doa yang telah diberikan.
6. Shafira, Galuh, Yeni, Nesha, Afifah, dan Viola selaku teman diskusi dan teman yang menghibur penulis.
7. Della, Sherly, Eka, Elfa, dan teman-teman Anggota D-34 PLH SIKLUS ITS yang selalu meneman dan memberikan semangat pada penulis.
8. Teman sepembimbing serta teman di Laboratorium Kimia Material dan Energi yang telah memberikan semangat dan bantuan selama pengerjaan skripsi.
9. Teman dekat yang tidak dapat saya sebutkan namanya dan semua pihak yang telah memberi semangat dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan naskah skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan guna perbaikan di masa yang akan datang. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat dan menjadi referensi bagi pembaca serta pengembangan penelitian selanjutnya.

Surabaya, 30 Juli 2025

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	v
APPROVAL SHEET .....	vi
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	vii
STATEMENT OF ORIGINALITY .....	viii
ABSTRAK .....	ix
ABSTRACT .....	x
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Permasalahan .....	2
1.4 Tujuan .....	2
1.5 Manfaat .....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	3
2.1 Sekam Padi .....	3
2.2 Ion Fosfat .....	3
2.3 Seng Klorida ( $ZnCl_2$ ) .....	3
2.4 Impregnasi $ZnO$ pada Adsorben .....	4
2.5 Adsorpsi .....	5
2.5.1 Kinetika Adsorpsi .....	6
2.6 Instrumen .....	7
2.6.1 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	7
2.6.2 Karakterisasi Ikatan dengan <i>Fourier Transform Infraed Spectroscopy (FTIR)</i> .....	8
2.6.3 Pengukuran Luas Area Spesifik ( <i>Specific Surface Area</i> ) dengan MB .....	9
2.6.4 Spektrofotometer UV-Vis .....	10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	13
3.1 Alat dan Bahan .....	13
3.1.1 Alat .....	13
3.1.2 Bahan .....	13
3.2 Ekstraksi $SiO_2$ dari Sekam Padi .....	13
3.3 Modifikasi $SiO_2$ dengan Seng Oksida dengan Metode Impregnasi ( $ZnO/SiO_2$ ) .....	13
3.4 Uji Adsorpsi Ion Fosfat .....	14
3.4.1 Pembuatan Larutan Standar Ion Fosfat dan Kurva Kalibrasi .....	14
3.4.2 Adsorpsi Ion Fosfat dengan Adsorben $ZnO/SiO_2$ .....	14
3.4.2.1 Uji Variasi Waktu pada Adsorpsi Ion Fosfat dengan Adsorben 1,0 $ZnO/SiO_2$ ..	14
3.4.2.2 Uji Variasi Dosis Adsorben pada Adsorpsi Ion Fosfat dengan Adsorben $SiO_2$ dan $xZnO/SiO_2$ .....	14
3.5 Karakterisasi Adsorben .....	15
3.5.1 Karakterisasi Struktur Kristal dengan <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	15
3.5.2 Pengukuran Luas Area Spesifik dengan Metilen Biru .....	15
3.5.3 Karakterisasi Gugus Fungsi dan Ikatan Kimia dengan <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)</i> .....	16
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	17
4.1 Ekstraksi $SiO_2$ dari Sekam Padi .....	17

4.2 Sintesis Adsorben ZnO/SiO <sub>2</sub> .....	18
4.3 Hasil Karakterisasi .....	19
4.3.1 Karakterisasi dengan XRD .....	19
4.3.2 Karakterisasi dengan FTIR .....	19
4.3.3 Luas Permukaan dengan MB (Metilen Biru) .....	21
4.4 Uji Adsorpsi Ion Fosfat.....	22
4.4.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum dan Kurva Kalibrasi Ion Fosfat .....	22
4.4.2 Uji Adsorpsi Ion Fosfat dengan Adsorben ZnO/SiO <sub>2</sub> .....	23
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	29
5.1 Kesimpulan .....	29
5.2 Saran .....	29
DAFTAR PUSTAKA.....	31
LAMPIRAN A .....	35
1. Ekstraksi SiO <sub>2</sub> dari Sekam Padi .....	35
2. Sintesis ZnO/SiO <sub>2</sub> .....	36
3. Adsorpsi Ion Fosfat dengan Adsorben .....	37
LAMPIRAN B.....	38
1. SiO <sub>2</sub> .....	38
2. ZnO.....	38
LAMPIRAN C.....	39
1. Hasil Karakterisasi XRD SiO <sub>2</sub> .....	39
2. Hasil Karakterisasi XRD 0,4ZnO/SiO <sub>2</sub> .....	39
3. Hasil Karakterisasi XRD 0,6ZnO/SiO <sub>2</sub> .....	40
4. Hasil Karakterisasi XRD 0,8ZnO/SiO <sub>2</sub> .....	40
5. Hasil Karakterisasi XRD 1,0ZnO/SiO <sub>2</sub> .....	41
6. Hasil Karakterisasi XRD 1,2ZnO/SiO <sub>2</sub> .....	41
7. Hasil Spektra FTIR SiO <sub>2</sub> .....	42
8. Hasil Spektra FTIR 0,4ZnO/SiO <sub>2</sub> .....	43
9. Hasil Spektra FTIR 0,6ZnO/SiO <sub>2</sub> .....	44
10. Hasil Spektra FTIR 0,8ZnO/SiO <sub>2</sub> .....	45
11. Hasil Spektra FTIR 1,0ZnO/SiO <sub>2</sub> .....	46
12. Hasil Spektra FTIR 1,2ZnO/SiO <sub>2</sub> .....	47
LAMPIRAN D .....	48
1. Metilen Biru.....	48
2. Ion Fosfat.....	48
LAMPIRAN E.....	49
1. Perhitungan Pembuatan Larutan Standar dan Kurva Kalibrasi .....	49
2. Perhitungan Luas Area Spesifik .....	50
3. Sintesis ZnO/SiO <sub>2</sub> .....	51
4. Perhitungan Persentase Ion Fosfat yang Teradsorpsi.....	51
5. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi.....	52
LAMPIRAN F .....	53
1. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Ion Fosfat dengan Adsorben .....	53
LAMPIRAN G .....	54
1. Perhitungan Kinetika Adsorpsi Orde Satu Semu .....	54
2. Perhitungan Kinetika Adsorpsi Orde Dua Semu.....	54
LAMPIRAN H .....	55
1. Perhitungan Persentase Adsorpsi Ion Fosfat pada SiO <sub>2</sub> .....	55
2. Perhitungan Persentase Adsorpsi Ion Fosfat pada xZnO/SiO <sub>2</sub> .....	55

BIODATA PENULIS.....	59
----------------------	----

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses adsorpsi pada permukaan adsorben.....	5
Gambar 2.2 Proses difraksi Sinar X pada bidang kristal .....	7
Gambar 2.3 Pola difraksi ZnO/SiO <sub>2</sub> .....	8
Gambar 2.4 Skema kerja FTIR.....	8
Gambar 2.5 Spektra FTIR ZnO/SiO <sub>2</sub> .....	9
Gambar 2.6 Cara kerja Spektrofotometer UV-Vis .....	11
Gambar 2.7 Kurva absorbansi larutan metilen biru .....	12
Gambar 4.1 Padatan SiO <sub>2</sub> .....	17
Gambar 4.2 Padatan adsorben xZnO/SiO <sub>2</sub> .....	18
Gambar 4.3 Difaktogram dari (a) SiO <sub>2</sub> ; (b) 0,4 ZnO/SiO <sub>2</sub> ; (c) 0,6 ZnO/SiO <sub>2</sub> ; (d) 0,8 ZnO/SiO <sub>2</sub> ; (e) 1,0 ZnO/SiO <sub>2</sub> ; dan (f) 1,2 ZnO/SiO <sub>2</sub> .....	19
Gambar 4.4 Spektra FTIR dari (a) SiO <sub>2</sub> ; (b) 0,4 ZnO/SiO <sub>2</sub> ; (c) 0,6 ZnO/SiO <sub>2</sub> ; (d) 0,8ZnO/SiO <sub>2</sub> ; (e) 1,0 ZnO/SiO <sub>2</sub> ; dan (f) 1,2 ZnO/SiO <sub>2</sub> .....	20
Gambar 4.5 Kurva kalibrasi larutan standar MB.....	21
Gambar 4.6 Kurva kalibrasi ion fosfat .....	23
Gambar 4.7 Aluran waktu terhadap kapasitas adsorpsi ion fosfat .....	24
Gambar 4.8 Grafik model kinetika orde satu semu .....	25
Gambar 4.9 Grafik model kinetika orde dua semu.....	25
Gambar 4.10 Grafik persentase adsorpsi ion fosfat terhadap dosis adsorben dari (a) SiO <sub>2</sub> ; (b) 0,4 ZnO/SiO <sub>2</sub> ; (c) 0,6 ZnO/SiO <sub>2</sub> ; (d) 0,8 ZnO/SiO <sub>2</sub> ; (e) 1,0 ZnO/SiO <sub>2</sub> ; dan (f) 1,2 ZnO/SiO <sub>2</sub> .....	26
Gambar 4.11 Hubungan antara variasi sampel xZnO/SiO <sub>2</sub> terhadap (a) efisiensi adsorpsi ion fosfat (%) dan (b) luas area spesifik (m <sup>2</sup> /g) .....	27

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 3.1 Notasi adsorben ZnO/SiO <sub>2</sub> .....	14
Tabel 4.1 Perhitungan luas area spesifik adsorben xZnO/SiO <sub>2</sub> .....	22

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kualitas lingkungan hidup, khususnya ekosistem perairan saat ini mengalami penurunan yang signifikan akibat tingginya tekanan antropogenik dari berbagai sektor, seperti pertanian intensif, aktivitas industri, dan pertambahan populasi manusia. Tekanan tersebut tercermin dari meningkatnya beban pencemar anorganik dan organik ke badan air, yang sebagian besar bersumber dari limbah rumah tangga, pertanian, serta industri manufaktur dan pengolahan pangan. Penggunaan pupuk kimia secara masif, pembuangan limbah rumah tangga yang tidak terkelola, serta limbah industri yang mengandung senyawa anorganik menyebabkan terakumulasinya berbagai kontaminan di badan air (UNEP, 2016). Salah satu jenis polutan yang banyak ditemukan di lingkungan perairan adalah ion fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Ion fosfat banyak ditemukan dalam detergen, pupuk berbasis fosfor, limbah organik, dan limbah cair hasil proses industri, sehingga keberadaannya di badan air berpotensi tinggi.

Keberadaan fosfat dalam jumlah kecil memang penting bagi kehidupan akuatik. Di sisi lain, akumulasi fosfat dalam konsentrasi tinggi dapat memicu eutrofikasi yakni pertumbuhan alga secara berlebihan yang menurunkan kadar oksigen terlarut dan menyebabkan kematian organisme air (Sharpley dkk., 2001). Oleh karena itu, pengendalian konsentrasi fosfat dalam air limbah sangat penting untuk mencegah kerusakan lingkungan lebih lanjut. Berbagai metode telah dikembangkan untuk menghilangkan fosfat dari perairan, seperti presipitasi kimia, filtrasi membran, dan adsorpsi. Di antara metode tersebut, adsorpsi dinilai lebih unggul karena efisien, tidak menghasilkan limbah beracun, dan dapat memanfaatkan material alami atau limbah sebagai adsorben (Crini & Lichtfouse, 2019). Efektivitas metode ini sangat tergantung pada jenis dan sifat permukaan adsorben yang digunakan.

Berbagai bahan telah dikembangkan sebagai adsorben untuk meningkatkan efisiensi adsorpsi, termasuk bahan berbasis limbah biomassa yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis. Dalam beberapa tahun terakhir, pemanfaatan limbah biomassa sebagai bahan dasar adsorben menunjukkan arah yang sangat menjanjikan dengan memanfaatkan limbah pertanian seperti sekam padi. Sekam padi secara umum menyumbang sekitar 20–30% dari total berat gabah pada hasil samping proses penggilingan gabah (Sunihardi & Hermanto, 2004). Di Indonesia, sekam padi tersedia dalam jumlah yang sangat melimpah mengingat negara Indonesia sebagai salah satu produsen padi terbesar di dunia. Di sisi lain, pemanfaatan sekam padi di Lamongan masih terbatas sehingga sebagian besar dibuang atau dibakar secara terbuka yang menimbulkan permasalahan baru berupa polusi udara dan limbah padat. Salah satu limbah pertanian yang potensial adalah sekam padi yang melimpah di Indonesia dan mengandung sekitar 15–20% silika ( $\text{SiO}_2$ ) (Kalapathy dkk., 2000). Silika hasil ekstraksi dari sekam padi memiliki luas permukaan besar dan struktur berpori, sehingga cocok digunakan sebagai material pendukung dalam sistem adsorben komposit.

Salah satu material aktif yang dapat dikombinasikan dengan silika dari sekam padi adalah seng oksida ( $\text{ZnO}$ ) sebagai senyawa anorganik semikonduktor dengan sifat amfoterik dan aktivitas permukaan yang tinggi.  $\text{ZnO}$  memiliki kemampuan berinteraksi kuat terhadap ion-ion anorganik seperti fosfat melalui mekanisme adsorpsi elektrostatik, pembentukan kompleks, maupun pertukaran ion (Luo dkk., 2015). Keterbatasan  $\text{ZnO}$  terletak pada kecenderungannya mengalami aglomerasi, sehingga dibutuhkan penopang seperti  $\text{SiO}_2$  untuk meningkatkan dispersi, kestabilan, dan luas permukaan efektifnya. Sintesis  $x\text{ZnO}/\text{SiO}_2$  dari sekam padi menjadi solusi strategis dan berkelanjutan yang berfungsi secara optimal dalam mengatasi pencemaran ion fosfat di perairan.

## **1.2 Rumusan Permasalahan**

Peningkatan konsentrasi ion fosfat di perairan akibat aktivitas antropogenik seperti penggunaan pupuk kimia, limbah rumah tangga, dan limbah industri telah menimbulkan masalah lingkungan serius, salah satunya adalah eutrofikasi. Upaya pengendalian polutan ini memerlukan metode yang efektif dan ramah lingkungan, salah satunya melalui teknik adsorpsi. Di sisi lain, efektivitas metode ini sangat bergantung pada karakteristik adsorben yang digunakan. Sekam padi sebagai hasil samping pertanian memiliki potensi besar sebagai sumber silika ( $\text{SiO}_2$ ) untuk dikembangkan menjadi material pendukung dalam sintesis komposit adsorben. Seng oksida ( $\text{ZnO}$ ) merupakan material aktif yang dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi, tetapi memiliki keterbatasan dari segi aglomerasi partikel yang dapat mengurangi luas permukaan aktif. Oleh karena itu, diperlukan optimasi jumlah  $\text{ZnO}$  dalam material adsorben  $x\text{ZnO}/\text{SiO}_2$  berbasis sekam padi untuk meningkatkan kinerja adsorpsi ion fosfat.

## **1.3 Batasan Masalah / Ruang Lingkup**

Penelitian ini difokuskan pada kajian proses adsorpsi ion fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) dari larutan dengan material adsorben  $x\text{ZnO}/\text{SiO}_2$  yang disintesis dengan pemanfaatan sumber silika dari sekam padi. Senyawa  $\text{ZnO}$  yang diimpregnasi pada  $\text{SiO}_2$  adalah  $\text{ZnCl}_2$  sebagai prekursor dengan padatan  $\text{SiO}_2$ . Ruang lingkup penelitian dibatasi pada sintesis material adsorben dengan metode kalsinasi, karakterisasi material dengan teknik XRD, FTIR, dan pengukuran luas permukaan dengan metode metilen biru (MB), serta pengujian efisiensi adsorpsi fosfat melalui analisis spektrofotometri UV-Vis. Parameter adsorpsi yang diteliti mencakup variasi waktu kontak, dosis adsorben, dan konsentrasi awal ion fosfat, sedangkan parameter lain seperti suhu dan pH larutan diasumsikan konstan.

## **1.4 Tujuan**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja material adsorben  $x\text{ZnO}/\text{SiO}_2$  yang disintesis dengan pemanfaatan  $\text{SiO}_2$  dari sekam padi dalam proses adsorpsi ion fosfat dari larutan. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan loading optimum  $\text{ZnO}$  dalam  $x\text{ZnO}/\text{SiO}_2$ , kemampuan adsorpsi larutan ion fosfat, serta model kinetika adsorpsi saat proses adsorpsi terjadi.

## **1.5 Manfaat**

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang kimia lingkungan, khususnya dalam pemanfaatan material berbasis limbah biomassa sebagai adsorben ramah lingkungan. Sintesis adsorben  $x\text{ZnO}/\text{SiO}_2$  berbasis sekam padi berpotensi menjadi solusi alternatif dalam pengolahan air yang tercemar ion fosfat, sehingga dapat diterapkan dalam upaya pelestarian lingkungan perairan. Selain itu, penelitian ini juga mendukung pemanfaatan limbah pertanian secara lebih bernilai guna, sejalan dengan konsep ekonomi sirkular, serta dapat menjadi dasar pengembangan riset lanjutan di institusi pendidikan maupun lembaga penelitian terkait.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sekam Padi

Sekam padi merupakan salah satu limbah hasil samping dari proses penggilingan gabah. Dalam proses ini, sekam terpisah dari beras dan menjadi residu atau sisa pengolahan. Berdasarkan data dari Kamiel & Saputyningsih (2021), proses penggilingan gabah biasanya menghasilkan sekam sebanyak 20 – 30%, dedak sebesar 8%, bekatul sekitar 2%, dan beras sebanyak 65% dari total berat gabah. Komposisi kimia sekam padi meliputi kadar air sebesar (9,02%), protein kasar (3,03%), lemak (1,18%), serat kasar (35,68%), abu (17,17%), dan karbohidrat (33,71%) (Korotkova dkk., 2016). Sekam padi memiliki potensi besar sebagai bahan baku dalam sintesis material silika karena kandungan  $\text{SiO}_2$  yang tinggi. Kandungan silika ( $\text{SiO}_2$ ) dalam sekam padi berkisar antara 15–22% dari berat kering dan dapat meningkat hingga sekitar 95% dalam bentuk abu hasil pembakaran (Putranto dkk., 2021). Silika dari sekam padi umumnya berbentuk amorf dan bersifat sangat reaktif, sehingga berpotensi digunakan dalam berbagai aplikasi seperti adsorben, material keramik, dan sintesis silika mesopori (Suyanta & Kuncaka, 2011).

Pemanfaatan sekam padi sebagai sumber silika tidak hanya menawarkan solusi dalam pengelolaan limbah pertanian, tetapi juga mendukung prinsip ekonomi sirkular melalui pengembangan material bernilai tambah dari limbah. Selain itu, silika hasil ekstraksi dari sekam padi bersifat ramah lingkungan dan memiliki efisiensi produksi yang tinggi, terutama ketika diproses melalui metode yang tepat, seperti pemurnian dengan asam, kalsinasi suhu tinggi, dan modifikasi permukaan (Safitri dkk., 2020). Silika dari sekam padi menjadi bahan yang menjanjikan dalam bidang adsorpsi, termasuk dalam aplikasi penyerapan ion logam berat atau fosfat dalam air limbah.

#### 2.2 Ion Fosfat

Ion fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) merupakan salah satu bentuk senyawa fosfor anorganik yang banyak dijumpai di lingkungan perairan, terutama yang telah terkontaminasi oleh limbah domestik, industri, dan pertanian (Sharpley dkk., 2001). Fosfat berasal dari limbah deterjen, pupuk, kotoran hewan, dan air limbah industri makanan. Dalam jumlah kecil, fosfat dibutuhkan sebagai nutrisi bagi pertumbuhan organisme air. Apabila konsentrasiannya berlebih, fosfat dapat menyebabkan eutrofikasi yang ditandai oleh pertumbuhan alga secara berlebihan dan penurunan kadar oksigen terlarut, sehingga dapat merusak keseimbangan ekosistem perairan (Badamasi dkk., 2019).

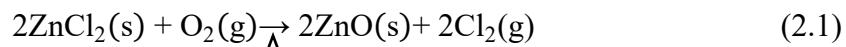
Eutrofikasi akibat kelebihan fosfat telah menjadi isu global yang menuntut adanya teknologi pengolahan air limbah yang efisien. Metode yang dikembangkan untuk mengatasi pencemaran fosfat salah satunya adalah teknik adsorpsi. Jenis-jenis material yang digunakan sebagai adsorben ion fosfat berasal dari zeolit, hidroksida logam, karbon aktif, hingga material berbasis silika ( $\text{SiO}_2$ ). Material berbasis silika, khususnya yang diperoleh dari limbah biomassa seperti sekam padi, menjadi sangat menarik karena bersifat ramah lingkungan dan tersedia melimpah. Silika murni biasanya dimodifikasi dengan logam seperti Fe, Al, La, atau Zn yang memiliki afinitas tinggi terhadap ion fosfat melalui pembentukan ikatan kompleks untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi fosfat, (Widjonarko dkk., 2014)(Fathy dkk., 2019).

#### 2.3 Seng Klorida ( $\text{ZnCl}_2$ )

Seng klorida ( $\text{ZnCl}_2$ ) merupakan senyawa anorganik yang tersusun dari ion seng ( $\text{Zn}^{2+}$ ) dan ion klorida ( $\text{Cl}^-$ ). Senyawa ini berbentuk padatan kristal putih yang sangat higroskopis dan larut dalam air serta pelarut organik polar seperti etanol dan aseton. Senyawa  $\text{ZnCl}_2$  banyak

digunakan dalam industri kimia, sintesis material, serta dalam proses kimia analitik karena sifatnya yang mudah berinteraksi dengan gugus fungsional seperti -OH, -COOH, dan -NH<sub>2</sub> (Li dkk., 2020).

Dalam bidang sintesis material, ZnCl<sub>2</sub> sering dimanfaatkan sebagai prekursor dalam pembentukan seng oksida (ZnO) melalui proses kalsinasi. Ketika dipanaskan pada suhu tinggi, ZnCl<sub>2</sub> mengalami dekomposisi menghasilkan ZnO dan gas klor (Cl<sub>2</sub>) (Kang dkk., 2023). Pada suhu tinggi, oksidan (O<sub>2</sub> dari udara) dapat bereaksi dengan ZnCl<sub>2</sub> seperti pada persamaan reaksi berikut.



Melalui kalsinasi pada suhu tinggi ( $\geq 500^\circ\text{C}$ ), ZnCl<sub>2</sub> dapat diubah menjadi ZnO padat, sedangkan Cl<sub>2</sub> gas menguap sebagai produk samping. Proses ini melibatkan peleahan, penguapan, oksidasi oleh oksigen, dan volatilitas gas Cl<sub>2</sub>. Seng oksida yang terbentuk memiliki sifat semikonduktor, stabil secara termal, dan aktif secara kimia, sehingga sangat efektif dalam aplikasi seperti sensor, katalis, fotokatalis, serta adsorben logam berat maupun ion anorganik seperti fosfat.

Pada sintesis komposit berbasis silika, ZnCl<sub>2</sub> dapat diimpregnasi atau diembankan pada matriks SiO<sub>2</sub> melalui metode impregnasi basah. Ion Zn<sup>2+</sup> berperan dalam memodifikasi permukaan silika, menciptakan situs aktif untuk meningkatkan afinitas adsorben terhadap ion negatif seperti fosfat. Proses ini juga berkontribusi pada peningkatan luas permukaan spesifik dan jumlah pori pada material hasil (Luo dkk., 2015). Senyawa ZnO merupakan material semikonduktor yang memiliki sifat amfoter, sehingga mampu bertindak sebagai asam maupun basa tergantung pada pH lingkungan. Dalam konteks adsorpsi, ZnCl<sub>2</sub> berperan sebagai agen aktivator dalam sintesis ZnO yang mampu memodifikasi karakteristik permukaan material. Setelah kalsinasi, ZnCl<sub>2</sub> terdekomposisi membentuk ZnO dengan situs aktif bermuatan positif, sehingga meningkatkan efisiensi penyerapan ion fosfat yang bermuatan negatif (Luo dkk., 2015).

## 2.4 Impregnasi ZnO pada Adsorben

Adsorben adalah material yang digunakan untuk mengadsorpsi zat-zat dari fase cair atau gas ke permukaannya melalui proses fisik atau kimia (Mei dkk., 2025). Proses adsorpsi sangat penting dalam berbagai aplikasi, termasuk pengolahan air limbah, pemurnian udara, dan pengendalian polutan.

Bahan adsorben yang umum digunakan adalah karbon aktif, zeolit, silika gel, dan alumina (Malekmohammadi dkk., 2016). Karbon aktif dikenal dengan luas permukaannya yang besar dan kemampuan adsorpsi tinggi terhadap senyawa organik dan logam berat (Foo & Hameed, 2010). Zeolit memiliki struktur kristal berpori yang memungkinkan selektivitas molekul dan sering digunakan untuk pemisahan gas dan penghilangan ion logam (Algieri & Drioli, 2022). Silika gel sangat efektif sebagai pengering karena kapasitas adsorpsi airnya yang tinggi (A'yuni dkk., 2023). Dalam konteks lingkungan, adsorben memainkan peran penting dalam menghilangkan polutan berbahaya dari air dan udara. Penggunaan adsorben alami dan modifikasi adsorben sintetis terus dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan proses adsorpsi (Akhtar dkk., 2024).

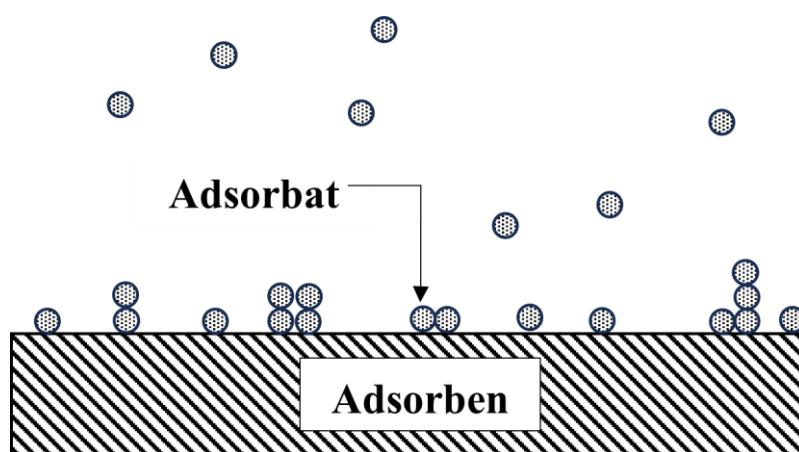
Silika amorf yang diekstraksi dari abu sekam padi efektif sebagai substrat atau pendukung ZnO dalam adsorben komposit. Ekstraksi dilakukan melalui pembakaran sekam padi menjadi abu, diikuti pencucian dengan HCl, dan pengeringan atau kalsinasi untuk menghasilkan SiO<sub>2</sub> berpori (Ajeel dkk., 2020). Proses selanjutnya adalah impregnasi basah (*wet impregnation*) dengan larutan prekursor Zn<sup>2+</sup> (umumnya Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> atau ZnCl<sub>2</sub>) kemudian

dikeringkan dan dikalsinasi, sehingga partikel ZnO tersebar pada matriks SiO<sub>2</sub> yang dapat dituliskan sebagai ZnO/SiO<sub>2</sub>.

Dalam aplikasi adsorpsi, ZnO/SiO<sub>2</sub> dari sekam padi telah berhasil digunakan untuk penyerapan ion logam berat seperti Cd(II), Pb(II) serta polutan organik (misalnya metilen biru). Studi kinetika dan isoterm menunjukkan kesesuaian dengan model *pseudo-first/second order* dan isoterma Langmuir/Freundlich, serta kapasitas adsorpsi yang kompetitif dengan regenerasi stabil setelah beberapa siklus. Efisiensi adsorpsi optimal dicapai pada pH 5–6 dengan waktu kontak 60–150 menit.

## 2.5 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses penyerapan zat terlarut (adsorbat) dari larutan atau gas ke permukaan zat padat (adsorben) yang digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi, terutama dalam pengolahan limbah. Proses ini dibedakan menjadi dua jenis, yaitu adsorpsi fisik (*physisorption*) yang melibatkan gaya Van Der Waals dan bersifat *reversible*, serta adsorpsi kimia (*chemisorption*) yang melibatkan pembentukan ikatan kimia antara adsorbat dan permukaan adsorben, serta umumnya bersifat *irreversible* (Dian & Sawali, 2024). Adsorpsi terjadi karena adanya gaya tarik fisik atau kimia antara permukaan adsorben dan molekul adsorbat. Proses adsorpsi pada permukaan adsorben ditunjukkan pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Proses adsorpsi pada permukaan adsorben (Setyawan, 2013)

Model isoterm seperti Langmuir, Freundlich, dan BET digunakan untuk menggambarkan perilaku adsorpsi. Model Langmuir mengasumsikan bahwa adsorpsi terjadi pada permukaan homogen dengan jumlah situs adsorpsi terbatas, sementara model Freundlich lebih sesuai digunakan untuk permukaan heterogen. Adapun model BET sering digunakan untuk sistem multilayer, terutama dalam pengukuran luas permukaan (Thanthapanichakoon dkk., 2005).

Pemilihan adsorben yang tepat sangat menentukan keberhasilan proses adsorpsi. Peningkatan luas permukaan spesifik adsorben sangat krusial dalam meningkatkan kapasitas adsorpsi terhadap zat berukuran menengah seperti *Methylene Blue* (MB). Sebagai contoh, padatan ZnO/*activated carbon* (ZnO-AC) berhasil mencapai luas permukaan sekitar 1278 m<sup>2</sup>/g (SBET), yang memungkinkan mencapai efisiensi adsorpsi MB hingga 98,7 % dengan kapasitas maksimum sekitar 270,7 mg/g, berdasarkan model isoterm Langmuir (Altintig dkk., 2024). Senyawa ZnO juga efektif sebagai adsorben tunggal. Nanopartikel ZnO terbukti memiliki kemampuan tinggi dalam menyerap *Methylene Blue* (MB) (Islam dkk., 2011). Kapasitas ini tercapai berkat interaksi ionik antara Zn<sup>2+</sup> dan gugus sulfonat MB, sebagaimana dikonfirmasi dari hasil analisis XPS dan model isoterm Temkin (Zhang dkk., 2013). Struktur pori ZnO yang

berpori dan luas permukaan mencapai ratusan m<sup>2</sup>/g (SBET) yang memfasilitasi kontak efektif antara adsorben dan molekul MB. Padatan ZnO/*activated carbon* dari sekam padi menghasilkan luas area 643,9 m<sup>2</sup>/g dan kapasitas adsorpsi MB mencapai 814,9 mg/g dengan model isoterm Langmuir (Thi dkk., 2023).

Efisiensi proses adsorpsi dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain pH larutan, suhu, waktu kontak, konsentrasi awal adsorbat, serta luas permukaan dan sifat kimia adsorben. Pada pH tertentu, permukaan adsorben akan bermuatan sehingga mempengaruhi interaksi dengan adsorbat. Suhu juga memainkan peran penting, karena dapat meningkatkan difusi molekul adsorbat ke dalam pori-pori adsorben. Faktor-faktor ini perlu diperhatikan untuk mendapatkan hasil adsorpsi yang optimal (Haris, 2024).

### 2.5.1 Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi merupakan kajian penting dalam memahami mekanisme serta laju perpindahan adsorbat dari larutan ke permukaan adsorben. Kecepatan dan efisiensi proses adsorpsi dipengaruhi sejumlah variabel, termasuk konsentrasi ion fosfat, suhu, pH, serta karakteristik fisik dan kimia zat adsorben seperti luas permukaan, porositas, dan muatan permukaan. Analisis kinetika adsorpsi diperlukan untuk mengetahui kecepatan proses adsorpsi dan mengevaluasi model matematika yang paling sesuai dalam menggambarkan interaksi antara adsorbat dan adsorben. Model kinetika yang paling sering digunakan dalam penelitian adsorpsi adalah model orde satu semu (*pseudo-first order*) dan model orde dua semu (*pseudo-second order*).

#### 2.5.1.1 Model Kinetika Orde Satu Semu

Model kinetika orde satu semu pertama kali diperkenalkan oleh Lagergren untuk menggambarkan laju adsorpsi sorbat dari larutan ke permukaan padatan berdasarkan waktu kontak antara keduanya (Lagergren, 1898). Model ini mengasumsikan bahwa laju perubahan kapasitas adsorpsi berbanding lurus dengan perbedaan antara kapasitas kesetimbangan dan kapasitas pada waktu tertentu. Persamaan untuk model kinetika orde satu semu dapat dijelaskan pada Persamaan 2.2.

$$\ln(Q_e - Q_t) = \ln Q_e - K_1 t \quad (2.2)$$

di mana :

$Q_e$  : Kapasitas adsorpsi kesetimbangan (mg adsorbat/g adsorben)

$Q_t$  : Jumlah adsorbat yang teradsorpsi pada waktu t

$K_1$  : Konstanta laju adsorpsi orde satu semu (menit<sup>-1</sup>)

t : Waktu (menit)

Model ini menyatakan bahwa laju perubahan jumlah ion fosfat yang diadsorpsi sebanding dengan selisih antara kapasitas adsorpsi maksimum dan jumlah ion yang telah diadsorpsi pada waktu tertentu. Analisis regresi terhadap data eksperimen digunakan untuk menghitung nilai  $K_1$  dan kesesuaian model dapat dievaluasi menggunakan koefisien determinasi  $R^2$  (Zhao dkk., 2023).

#### 2.5.1.2 Model Kinetika Orde Dua Semu

Model kinetika orde dua semu menggambarkan laju adsorpsi yang sebanding dengan kuadrat dari selisih antara kapasitas adsorpsi maksimum dan jumlah ion yang diadsorpsi. Model kinetika ini lebih cocok untuk menggambarkan proses adsorpsi yang berlangsung lebih lambat dan sering kali lebih akurat untuk sistem yang melibatkan interaksi kompleks antara adsorben dan zat yang diadsorpsi. Persamaan untuk model kinetika orde dua semu dapat dijelaskan pada Persamaan 2.3.

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{K_2 Q_e^2} + \frac{t}{Q_e} \quad (2.3)$$

di mana :

$Q_e$  : Kapasitas adsorpsi kesetimbangan (mg adsorbat/g adsorben)

$Q_t$  : Jumlah adsorbat yang teradsorpsi pada waktu  $t$

$K_2$  : Konstanta laju adsorpsi orde dua semu ( $\text{menit}^{-1}$ )

$t$  : Waktu (menit)

Model kinetika orde dua semu menunjukkan bahwa laju adsorpsi meningkat seiring dengan berkurangnya jumlah ion fosfat yang tersedia untuk diadsorpsi. Model ini lebih cocok untuk menggambarkan proses adsorpsi yang berlangsung lebih lambat dan sering kali lebih akurat untuk sistem yang melibatkan interaksi kompleks antara adsorben dan zat yang diadsorpsi. Persamaan 2.2 digambarkan dalam grafik di mana sumbu y adalah  $\frac{t}{Q_t}$  dan  $t$  merupakan sumbu x. Konstanta  $K_2$  diperoleh dari nilai slope/intersept dan  $Q_e$  dari 1/slope pada persamaan tersebut. Apabila nilai koefisien relasi ( $R^2$ ) mendekati 1, maka adsorpsi mengikuti kinetika orde dua semu (Zhao dkk., 2023).

## 2.6 Instrumen

Pada penelitian ini digunakan beberapa instrumen untuk karakterisasi sampel hasil sintesis. Instrumen yang digunakan yaitu *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), pengukuran luas area spesifik dengan MB (Metilen Biru), dan Spektrofotometer UV-Vis.

### 2.6.1 X-Ray Diffraction (XRD)

*X-Ray Diffraction* (XRD) merupakan metode karakterisasi struktur kristal yang banyak digunakan dalam bidang material, termasuk dalam identifikasi fasa dan derajat kristalinitas adsorben. Teknik ini bekerja berdasarkan prinsip difraksi sinar-X oleh kisi atom dalam suatu padatan kristalin. Ketika sinar-X dikenakan pada sampel, sebagian sinar terdifraksi oleh bidang-bidang atom kristal pada sudut tertentu yang memenuhi hukum Bragg seperti pada Persamaan 2.4 (Hirsch, 1957).

$$n \lambda = 2d \sin\theta \quad (2.4)$$

di mana :

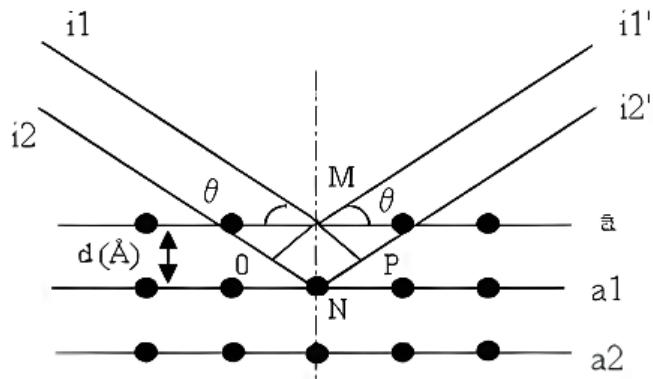
$n$  : bilangan bulat

$\lambda$  : panjang gelombang sinar-X

$d$  : jarak antar bidang kisi

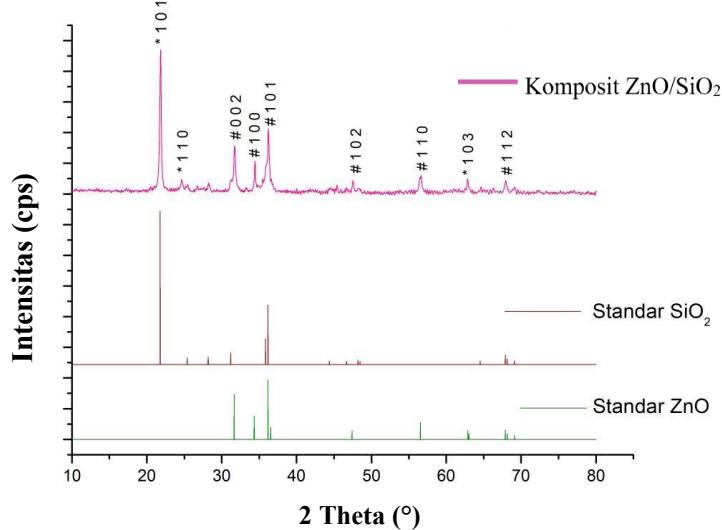
$\theta$  : sudut datang sinar-X

Sinar yang terdifraksi dideteksi oleh XRD. Sebagian sinar X yang terdifraksi ada yang saling menghilangkan karena beda fasa dan ada juga yang saling menguatkan karena fasanya sama. Sinar X yang saling menguatkan itu disebut sebagai berkas difraksi. Proses difraksi sinar X dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Proses difraksi Sinar X pada bidang kristal (Iman, 2020)

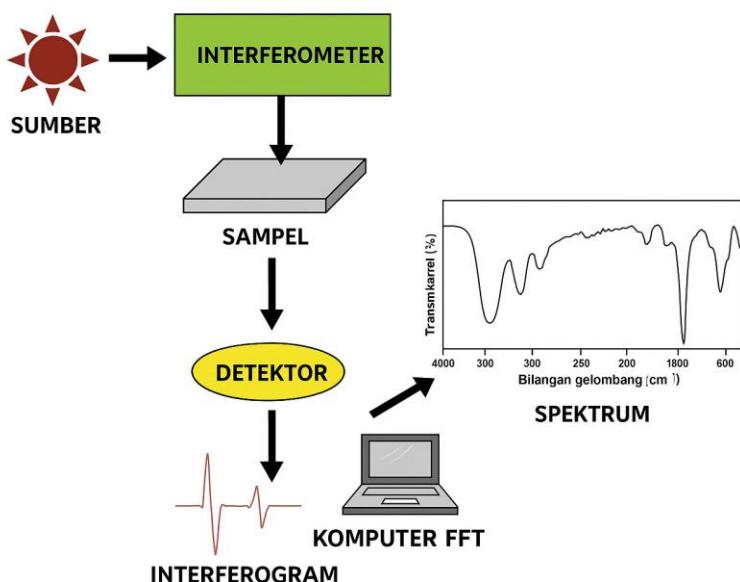
Dalam konteks adsorben ZnO/SiO<sub>2</sub>, karakterisasi XRD digunakan untuk mengonfirmasi pembentukan fasa ZnO yang biasanya menunjukkan pola difraksi tajam pada  $2\theta$  sekitar  $31.7^\circ$ ,  $34.4^\circ$ , dan  $36.2$  (JCPDS, 2001). Difaktogram ZnO/SiO<sub>2</sub> ditampilkan pada Gambar 2.3



**Gambar 2.3** Pola difraksi ZnO/SiO<sub>2</sub> (Iman, 2020)

### 2.6.2 Karakterisasi Ikatan dengan Fourier Transform Infraed Spectroscopy (FTIR)

Karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) merupakan metode yang umum digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi kimia pada permukaan material berdasarkan spektrum serapan terhadap radiasi inframerah. Teknik ini memungkinkan analisis terhadap jenis ikatan kimia yang ada, serta perubahan struktur permukaan yang terjadi selama proses sintesis atau setelah proses adsorpsi.

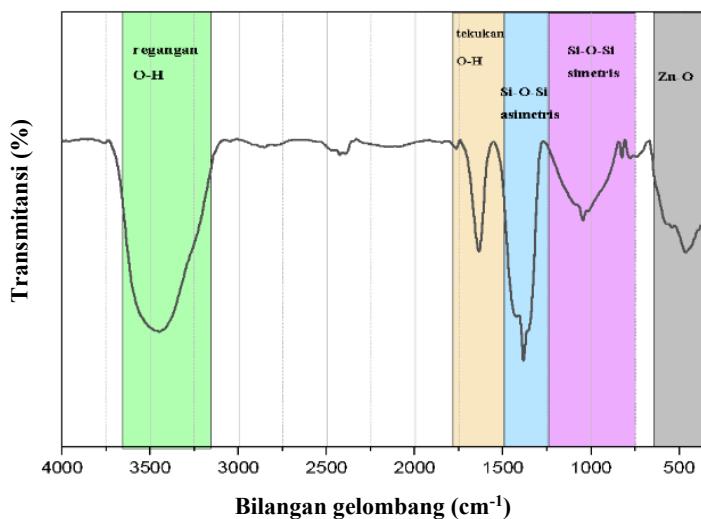


**Gambar 2.4** Skema kerja FTIR (Mohamed dkk., 2017)

Skema kerja FTIR disajikan pada Gambar 2.4. FTIR bekerja dengan memancarkan sinar inframerah dari sumber cahaya ke arah interferometer, yang berfungsi melakukan pengkodean

spektral terhadap berkas cahaya. Selanjutnya, berkas inframerah tersebut diarahkan menuju bagian sampel, di mana sebagian energi diserap dan sisanya ditransmisikan atau dipantulkan tergantung pada sifat sampel. Berkas yang telah berinteraksi dengan sampel kemudian diteruskan ke detektor, yang merekam sinyal sebagai interferogram. Sinyal ini kemudian didigitalkan dan dikirim ke komputer untuk dilakukan transformasi *Fourier*, sehingga menghasilkan spektrum inframerah. Spektrum akhir dapat digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif berdasarkan identifikasi pita-pita serapan karakteristik gugus fungsi yang terdapat dalam sampel.

Dalam penelitian material adsorben berbasis ZnO/SiO<sub>2</sub>, FTIR berperan penting dalam mengonfirmasi keberadaan gugus fungsi seperti -OH, -Si-O-Si, dan Zn-O. Spektrum FTIR yang umum diamati mencakup pita serapan sekitar 3400 cm<sup>-1</sup> yang berkaitan dengan vibrasi regangan -OH dari gugus hidroksil atau air yang teradsorpsi secara fisik (Gallas dkk., 2009). Gugus silika biasanya ditandai dengan adanya pita serapan kuat pada daerah 1000-1100 cm<sup>-1</sup> yang mengindikasikan vibrasi regangan asimetris Si-O-Si (Al-Qodah & Shawabkah, 2009). Sementara itu, pita serapan di bawah 600 cm<sup>-1</sup> umumnya diasosiasikan dengan vibrasi ikatan Zn-O, yang menjadi ciri khas keberadaan fasa ZnO dalam struktur komposit (Raevskaya dkk., 2014). Gambar 2.5 menunjukkan spektra FTIR dari ZnO/SiO<sub>2</sub>.



**Gambar 2.5** Spektra FTIR ZnO/SiO<sub>2</sub> (Raevskaya dkk., 2014)

Dengan demikian, FTIR tidak hanya berfungsi dalam mengidentifikasi gugus fungsi penyusun adsorben, tetapi juga memverifikasi keberhasilan sintesis material serta interaksinya dengan adsorbat.

### 2.6.3 Pengukuran Luas Area Spesifik (*Specific Surface Area*) dengan MB (Metilen Biru)

Luas permukaan spesifik merupakan salah satu parameter penting dalam karakterisasi material adsorben karena berperan langsung dalam efisiensi proses adsorpsi. Salah satu metode yang umum digunakan untuk menentukan luas permukaan spesifik adalah metode adsorpsi larutan metilen biru (MB), terutama untuk material berbasis karbon dan silika yang berasal dari biomassa (Hegyesi dkk, 2017). Prinsip dasar metode ini adalah kemampuan molekul metilen biru untuk beradsorpsi secara monolayer pada permukaan padatan melalui interaksi elektrostatis dan gaya van der Waals. Dalam prosedurnya, larutan MB pada konsentrasi tertentu dicampurkan dengan sejumlah massa adsorben, kemudian didiamkan hingga tercapai kesetimbangan adsorpsi. Setelah proses adsorpsi, larutan disentrifugasi dan konsentrasi MB yang tersisa diukur dengan spektrofotometer UV-Vis. Jumlah MB yang teradsorpsi dihitung

dari selisih antara konsentrasi awal dan akhir larutan. Berdasarkan jumlah molekul MB yang teradsorpsi dan luas permukaan yang ditutupi oleh satu molekul MB (sekitar  $130 \text{ \AA}^2$ ), luas permukaan spesifik adsorben dapat dihitung (Tewari & Boodhoo, 2005). Perhitungan luas area dengan MB dapat dijelaskan melalui Persamaan 2.5.

$$\text{Luas Area Spesifik (Specific Surface Area)} = X_m \times N \times A \quad (2.5)$$

di mana:

$\text{SSA}$  : luas Area Spesifik ( $\text{m}^2/\text{g}$ )

$X_m$  : kapasitas monolayer ( $\text{mol/g}$ )

$N$  : bilangan avogadro ( $6,02 \times 10^{23}$ )

$A$  : luas area molekul MB ( $130 \times 10^{-20} \text{ m}^2$ )

Hasil adsorbansi pada Persamaan 2.5, nilai konsentrasi (ppm atau  $\text{mg/L}$ ) diubah menjadi mol sesuai nilai satuan  $X_m$  ( $\text{mol/g}$ ). Konversi hasil sesuai Persamaan 2.6.

$$\text{ppm} = M \times M_r \times 1000 \quad (2.6)$$

di mana:

$\text{ppm}$  : konsentrasi larutan metilen biru ( $\text{mg/L}$ )

$M$  : molaritas larutan metilen biru (MB)

$M_r$  : massa molekul relatif ( $\text{mg/L}$ )

Setelah dilakukan konversi konsentrasi (ppm) ke molaritas, maka molaritas diubah menjadi mol dengan Persamaan 2.7.

$$M = \frac{n}{V} \quad (2.7)$$

di mana:

$M$  : molaritas larutan metilen biru (MB)

$n$  : mol metilen biru

$V$  : volume metilen biru (L)

Nilai luas area spesifik tersebut digunakan untuk mengevaluasi kapasitas adsorpsi sampel terhadap metilen biru secara kuantitatif. Metode MB dinilai sederhana, ekonomis, dan efektif, terutama untuk sampel dengan pori meso dan makro, serta banyak digunakan sebagai alternatif metode Brunauer–Emmett–Teller (BET) untuk pengukuran awal atau screening material adsorben (Bello dkk., 2008).

#### 2.6.4 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis merupakan metode analisis kuantitatif yang digunakan dalam karakterisasi senyawa kimia, khususnya untuk menentukan konsentrasi zat berdasarkan penyerapan cahaya pada panjang gelombang tertentu. Teknik ini bekerja dengan prinsip bahwa molekul-molekul dalam larutan dapat menyerap energi cahaya ultraviolet (200 – 400 nm) atau cahaya tampak (400 – 800 nm) yang menyebabkan eksitasi elektron dari tingkat energi dasar ke tingkat energi yang lebih tinggi. Besarnya penyerapan cahaya oleh suatu sampel dinyatakan dalam nilai absorbansi yang diukur menggunakan spektrofotometer dan mengikuti hukum Lambert-Beer (Morris, 1982).

Dalam hukum Lambert-Beer, absorbansi ( $A$ ) berbanding lurus dengan konsentrasi larutan ( $C$ ) dan panjang lintasan cahaya dalam kuvet ( $l$ ), serta koefisien serapan molar ( $\epsilon$ ) pada Persamaan 2.8.

$$A = \epsilon \times l \times C \quad (2.8)$$

di mana:

$A$  : absorbansi

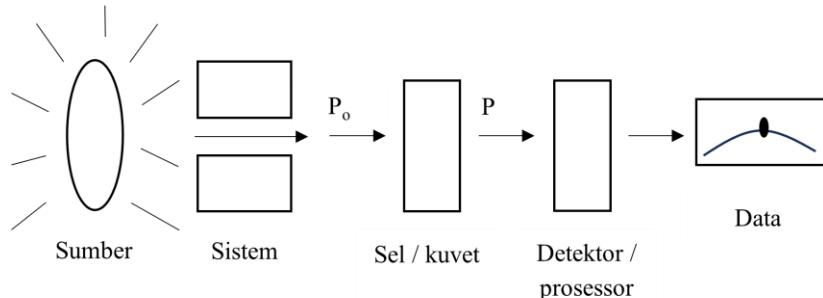
$l$  : Panjang lintasan cahaya dalam kuvet (cm)

$C$  : konsentrasi larutan ( $\text{mol/L}$ )

$\epsilon$  : koefisien serapan molar ( $L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$ )

Spektrofotometer UV-Vis banyak digunakan dalam analisis konsentrasi metilen biru (MB) pada studi adsorpsi yaitu mengukur absorbansi larutan sebelum dan sesudah kontak dengan adsorben. Nilai absorbansi MB diukur pada panjang gelombang maksimum sekitar 664 nm. Dari nilai absorbansi tersebut, konsentrasi MB dalam larutan dapat dihitung berdasarkan kurva kalibrasi standar, sehingga selisih konsentrasi dapat digunakan untuk menentukan jumlah MB yang teradsorpsi oleh material adsorben (Basar, 2006).

Cara kerja alat spektrofotometer UV-Vis dapat ditampilkan melalui Gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Cara kerja Spektrofotometer UV-Vis (Suhartati, 2017)

Alat akan mengukur nilai intensitas cahaya  $P$  dan  $P_o$  melalui sistem prosessor, lalu diubah menjadi besaran transmitansi ( $T$ ) pada Persamaan 2.9.

$$\%T = \left( \frac{P}{P_o} \right) \times 100\% \quad (2.9)$$

di mana:

$T$  : besaran transmitansi (%)

$P$  : intensitas cahaya sesudah sampel

$P_o$  : intensitas cahaya sebelum sampel

Hubungan antara absorbansi ( $A$ ) dan transmitansi ( $T$ ) terdapat pada Persamaan 2.10.

$$A = -\log T \quad (2.10)$$

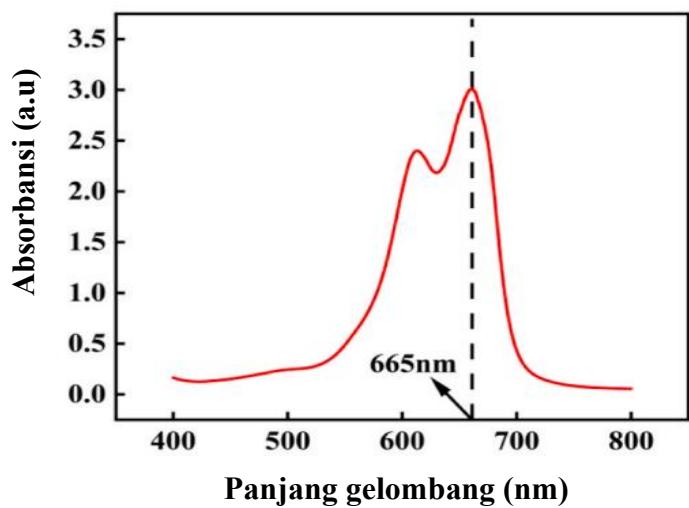
di mana :

$A$  : absorbansi

$T$  : transmitansi

Spektrofotometer UV-Vis terdiri dari beberapa komponen utama yang berperan dalam mengukur serapan cahaya oleh suatu larutan. Proses dimulai dari sumber sinar, lampu wolfram atau deuterium yang menghasilkan cahaya polikromatis. Cahaya ini dialirkan ke monokromator yang memisahkan dan memfilter cahaya menjadi satu panjang gelombang spesifik (monokromatik) sebelum diarahkan ke kuvet berisi larutan sampel. Sebagian cahaya akan diserap oleh molekul dalam sampel, sementara sisanya diteruskan ke detektor. Detektor kemudian mengubah energi cahaya yang diterima menjadi sinyal listrik, yang selanjutnya diterjemahkan oleh sistem *read out* ke dalam bentuk numerik, baik dalam satuan transmitansi (%T) maupun absorbansi (A) (Morris, 1982).

Contoh karakterisasi sampel larutan metilen biru oleh He dkk. (2025) menunjukkan hasil spektra UV-Vis dengan nilai tertinggi untuk kurva absorbansi berada pada panjang gelombang maksimum ( $\lambda$  maks) 665 nm. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.7, seiring dengan meningkatnya konsentrasi MB, maka absorbansi juga meningkat. Nilai Panjang gelombang maksimum yang dihasilkan juga sebanding dengan penelitian sebelumnya sebesar 663 – 665 nm (Tiandho dkk., 2021).



**Gambar 2.7** Kurva absorbansi larutan metilen biru (He dkk., 2025)

Contoh karakterisasi sampel larutan metilen biru oleh He dkk. (2025) menunjukkan hasil spektra UV-Vis dengan nilai tertinggi untuk kurva absorbansi berada pada panjang gelombang maksimum ( $\lambda$  maks) 665 nm. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.7, seiring dengan meningkatnya konsentrasi MB, maka absorbansi juga meningkat. Nilai Panjang gelombang maksimum yang dihasilkan juga sebanding dengan penelitian sebelumnya sebesar 663 – 665 nm (Tiandho dkk., 2021).

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Dalam penelitian ini telah dilakukan sintesis material adsorben  $x\text{ZnO/SiO}_2$  dengan variasi  $\text{ZnO}$  0,4; 0,6; 0,8; 1,0; dan 1,2 % w/w terhadap  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{SiO}_2$  berasal dari sekam padi. Adsorben  $x\text{ZnO/SiO}_2$  dikarakterisasi struktur kristalnya dengan *X-Ray Diffraction* (XRD), gugus fungsi dan ikatannya dengan *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Luas permukaan adsorben diukur dengan metode Metilen Biru (MB). Adsorpsi ion fosfat dilakukan dengan variasi waktu kontak yaitu 60, 90, 120, 150, 180, dan 210 menit serta variasi dosis adsorben sebesar 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; dan 0,5 gram untuk masing-masing variasi  $x\text{ZnO/SiO}_2$ . Setelah proses adsorpsi, dilanjutkan dengan analisis kuantitatif ion fosfat yang tersisa dalam larutan dengan spektrofotometer UV-Vis.

#### **3.1 Alat dan Bahan**

##### **3.1.1 Alat**

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah gelas beaker, erlenmeyer, gelas ukur, pipet ukur, kertas saring, corong pisah, *magnetic stirrer*, pengaduk, *hot plate*, bola hisap, botol semprot, neraca analitik, kertas pH, *Fourier Transform Infrared* (FTIR) diperoleh dengan Shimadzu 8300S, Xpert MPD dengan radiasi  $\text{CuK}\alpha$  *X-Ray Diffraction* (XRD) dan Spektrofotometer UV-Vis seri *genesys* 10S.

##### **3.1.2 Bahan**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sekam padi sebagai sumber  $\text{SiO}_2$ , asam klorida (HCl) (Merck-p.a 36,5%), aeng klorida ( $\text{ZnCl}_2$ ) (SMARTLAB-p.a 99,8%), kalium dihidrogen fosfat ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) (Merck-p.a 99,5%), ammonium heptamolybdate ( $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) (Merck-p.a 99,5%), aquades, dan hydrazinium sulfate ( $\text{N}_2\text{H}_6\text{SO}_4$ ) (Merck-p.a 99,5%).

#### **3.2 Ekstraksi $\text{SiO}_2$ dari Sekam Padi**

Sekam padi dikumpulkan dari sumber lokal kemudian dicuci dengan air untuk menghilangkan kotoran serta partikel debu yang menempel. Setelah itu, sekam padi dikeringkan di bawah sinar matahari agar kadar airnya berkurang. Setelah itu dilakukan proses ekstraksi silika yang dimulai dengan pembakaran abu sekam padi dalam furnace pada suhu 600°C selama 6 jam hingga terbentuk abu putih yang mengandung silika ( $\text{SiO}_2$ ). Abu sekam padi kemudian direndam dalam larutan HCl 1M dengan perbandingan massa terhadap volume sebesar 1:10 (g/mL) selama 20 menit disertai pengadukan dalam suhu ruang dilanjutkan dengan pencucian dengan aquades secara berulang hingga diperoleh pH netral. Padatan tersebut kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C untuk mendapatkan serbuk putih kering.

#### **3.3 Modifikasi $\text{SiO}_2$ dengan Seng Oksida dengan Metode Impregnasi ( $\text{ZnO/SiO}_2$ )**

Silika yang telah dikeringkan selanjutnya dimodifikasi dengan  $\text{ZnO}$  melalui impregnasi. Adapun variasi  $\text{ZnO}$  adalah 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; dan 1,2 % w/w terhadap  $\text{SiO}_2$ . Padatan  $\text{SiO}_2$  dicampur dengan larutan  $\text{ZnCl}_2$  sesuai stoikiometrianya lalu diaduk dengan disertai pemanasan pada suhu 80°C hingga berbentuk bubur. Setelah itu, bubur dikeringkan dalam oven pada suhu 125°C hingga kering. Langkah selanjutnya dalam tahap ini adalah aktivasi adsorben dengan kalsinasi pada suhu 500°C selama 5 jam untuk meningkatkan stabilitas dan efektivitasnya dalam proses adsorpsi ion fosfat. Padatan adsorben yang diperoleh dikarakterisasi dengan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared* (FTIR), diukur luas permukaannya dengan Metilen Biru dan diuji kemampuan adsorpsi ion fosfat dengan Spektrofotometer UV-Vis. Adsorben hasil sintesis  $x\text{ZnO/SiO}_2$  dinotasikan seperti dalam Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Notasi adsorben ZnO/SiO<sub>2</sub>

Notasi Adsorben	ZnO yang diembankan (% w/w)
SiO <sub>2</sub>	0
0,4ZnO/SiO <sub>2</sub>	0,4
0,6ZnO/SiO <sub>2</sub>	0,6
0,8ZnO/SiO <sub>2</sub>	0,8
1,0ZnO/SiO <sub>2</sub>	1,0
1,2ZnO/SiO <sub>2</sub>	1,2

### 3.4 Uji Adsorpsi Ion Fosfat

Uji Adsorpsi Ion Fosfat meliputi pembuatan larutan standar ion fosfat dengan konsentrasi 0,01; 0,03; 0,05; 0,07; dan 0,1 ppm, yang kemudian dikomplekskan dengan reagen ammonium heptamolibdat dan hydrazinium sulfat sebelum dipanaskan dan diukur absorbansinya. Adsorpsi dilakukan dengan adsorben SiO<sub>2</sub> dan xZnO/SiO<sub>2</sub> dengan variasi waktu kontak dan dosis adsorben. Setelah proses adsorpsi, larutan dipisahkan dari adsorben dan ditentukan konsentrasi ion fosfatnya seperti larutan standar. Data yang diperoleh digunakan untuk menghitung kapasitas adsorpsi (Qt) dan persentase adsorpsi ion fosfat.

#### 3.4.1 Pembuatan Larutan Standar Ion Fosfat dan Kurva Kalibrasi

Proses pembuatan larutan standar ion fosfat dilakukan dengan pengenceran larutan induk 100 ppm menjadi 0,01; 0,03; 0,05; 0,07; dan 0,1 ppm. Setelah larutan standar disiapkan, setiap larutan ditambahkan dengan reagen ammonium heptamolibdat dan hydrazinium sulfat. Campuran ini kemudian dipanaskan dalam *waterbath* pada suhu 60°C selama 30 menit, kemudian panjang gelombang maksimum dari kompleks yang terbentuk diukur dengan spektrofotometer UV-Vis dalam rentang 400 -723 nm. Konsentrasi larutan standar ion fosfat dialurkan terhadap absorbansi hingga diperoleh persamaan regresi linear  $y = ax + b$ . Dalam persamaan regresi linear ini, konsentrasi ion fosfat (x) dalam sampel yang tidak diketahui dapat dihitung dari nilai absorbansi (y) yang terukur.

#### 3.4.2 Adsorpsi Ion Fosfat dengan Adsorben ZnO/SiO<sub>2</sub>

##### 3.4.2.1 Uji Variasi Waktu pada Adsorpsi Ion Fosfat dengan Adsorben 1,0 ZnO/SiO<sub>2</sub>

Sebanyak 0,05 gram adsorben 1,0 ZnO/SiO<sub>2</sub> ditambahkan ke dalam 15 mL larutan fosfat 100 mg/L. Campuran diaduk pada suhu ruang dengan variasi waktu kontak yaitu: 60; 90; 120; 150; 180; 210 menit. Setelah waktu kontak tercapai, campuran disentrifugasi selama 10 menit dengan kecepatan 1000 rpm untuk memisahkan filtrat dan residu. Filtrat hasil pemisahan dikomplekskan dengan reagen ammonium heptamolibdat dan hydrazinium sulfat kemudian dipanaskan pada suhu 60°C selama 30 menit. Konsentrasi ion fosfat ditentukan dengan spektrofotometer UV-Vis pada Panjang gelombang 718 nm. Data yang diperoleh digunakan untuk menghitung kapasitas adsorpsi (Qt) pada waktu (t). Data Qt digambarkan sebagai sumbu y terhadap waktu (menit) sebagai sumbu x untuk mendapatkan persamaan kinetika adsorpsi ion fosfat dan persentase ion fosfat yang teradsorpsi. Persentase ion fosfat yang teradsorpsi dan Qt dapat dihitung dengan Persamaan 3.1 dan 3.2.

##### 3.4.2.2 Uji Variasi Dosis Adsorben pada Adsorpsi Ion Fosfat dengan Adsorben SiO<sub>2</sub> dan xZnO/SiO<sub>2</sub>

Dosis optimum diteliti dengan variasi penambahan adsorben SiO<sub>2</sub> dan xZnO/SiO<sub>2</sub> sebesar 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; dan 0,5 gram. Masing-masing dosis adsorben dimasukkan ke dalam 15 mL larutan ion fosfat dengan konsentrasi 100 ppm dan diaduk pada suhu ruang

dengan waktu kontak optimum dari data 3.4.2.1. Setelah itu, larutan dipisahkan dengan sentrifugasi selama 10 menit pada kecepatan 1000 rpm untuk memisahkan adsorben dengan filtrat. Filtrat hasil pemisahan dikomplekskan dengan reagen ammonium heptamolibdat dan hydrazinium sulfat kemudian dipanaskan pada suhu 60°C selama 30 menit. Konsentrasi ion fosfat ditentukan dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 718 nm. Efisiensi adsorpsi dihitung berdasarkan perbedaan konsentrasi awal dan akhir dari proses adsorpsi. Kemudian dihitung  $Q_t$  dan dialurkan massa adsorben (g) sebagai sumbu x terhadap  $Q_t$  sebagai sumbu y sehingga diperoleh persentase ion fosfat yang teradsorpsi. Berikut merupakan Persamaan 3.1 dan 3.2 untuk menghitung kapasitas adsorpsi ion fosfat ( $Q_t$ ) dan persentase adsorpsi ion fosfat.

- Kapasitas adsorpsi ion fosfat ( $Q_t$ )

$$\text{Kapasitas adsorpsi ion fosfat } (Q_t) = \frac{(C_0 - C_e)}{m} \quad (3.1)$$

- Persentase adsorpsi ion fosfat

$$\text{Persentase adsorpsi ion fosfat} = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \quad (3.2)$$

Dimana  $Q_t$  adalah kapasitas adsorpsi ion fosfat (mg/g) dan  $m$  adalah massa adsorben yang digunakan (g).  $C_0$  adalah konsentrasi ion fosfat sebelum adsorpsi dan  $C_e$  adalah konsentrasi ion fosfat setelah adsorpsi (mg/L).

### 3.5 Karakterisasi Adsorben

#### 3.5.1 Karakterisasi Struktur Kristal dengan X-Ray Diffraction (XRD)

Padatan  $\text{SiO}_2$  dan adsorben  $x\text{ZnO}/\text{SiO}_2$  dikarakterisasi struktur kristalnya dengan metode difraksi sinar-X. Sampel adsorben dihaluskan hingga berbentuk serbuk halus. Serbuk tersebut kemudian diletakkan pada *sample holder* untuk analisis XRD sebelum ditempatkan dalam perangkat *X-Ray Diffractometer* (XRD). Parameter pengujian pada rentang sudut difraksi  $2\theta$  antara 10 hingga 70°. Setelah proses pemindaian selesai, pola difraksi direkam dan diidentifikasi.

#### 3.5.2 Pengukuran Luas Area Spesifik dengan Metilen Biru

Pengukuran luas permukaan adsorben dengan metode metilen biru (MB) dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu penentuan panjang gelombang maksimum metilen biru, pembuatan kurva kalibrasi, penentuan kondisi optimum adsorpsi, serta perhitungan luas permukaan adsorben berdasarkan jumlah metilen biru yang teradsorpsi. Langkah pertama yaitu menentukan panjang gelombang maksimum ( $\lambda_{maks}$ ) metilen biru dengan spektrofotometer UV-Vis pada rentang 500-700 nm. Langkah kedua adalah pembuatan kurva kalibrasi metilen biru dengan konsentrasi bertingkat, yaitu 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; dan 1 ppm. Absorbansi diperoleh dari pengukuran panjang gelombang maksimum. Data tersebut dibuat grafik hubungan antara absorbansi dan konsentrasi. Langkah ketiga adalah menentukan luas permukaan adsorben. Sebanyak 50 mg adsorben direndam dalam 15 mL larutan metilen biru 15 ppm selama 20 jam. Setelah itu larutan disentrifugasi pada 1500 rpm selama 10 menit. Absorbansi supernatan diukur pada panjang gelombang 664 nm, dan metilen biru yang teradsorpsi adalah selisih antara konsentrasi metilen biru awal dan metilen biru sisa. Luas permukaan spesifik adsorben dihitung berdasarkan jumlah molekul MB yang terikat pada permukaan adsorben dengan Persamaan 2.4.

### **3.5.3 Karakterisasi Gugus Fungsi dan Ikatan Kimia dengan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)**

Identifikasi ikatan atau gugus fungsi pada adsorben dilakukan dengan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Sebanyak 2 mg sampel adsorben xZnO/SiO<sub>2</sub> dicampur dengan 200 mg KBr dan dihaluskan, kemudian ditekan hingga terbentuk pelet transparan. Pelet tersebut dimasukkan ke dalam perangkat FTIR dan dipindai rentang panjang gelombang 4000-400 cm<sup>-1</sup>. Spektrum FTIR direkam untuk mengidentifikasi puncak-puncak serapan khas yang menunjukkan keberadaan gugus fungsi.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian yang telah diperoleh dimulai dari ekstraksi  $\text{SiO}_2$  dari sekam padi kemudian dilakukan sintesis  $x\text{ZnO}/\text{SiO}_2$ . Padatan yang diperoleh lalu dikarakterisasi dengan XRD (*X-Ray Diffraction*), FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*), penentuan luas area spesifik dengan MB (Metilen Biru). Padatan yang telah disintesis diaplikasikan sebagai adsorben dalam uji adsorpsi ion fosfat.

#### 4.1 Ekstraksi $\text{SiO}_2$ dari Sekam Padi

Ekstraksi  $\text{SiO}_2$  dari sekam padi dilakukan untuk memperoleh material pendukung anorganik yang bersifat amorf dan memiliki luas permukaan tinggi. Tahap awal berupa pencucian sekam padi bertujuan untuk menghilangkan kotoran dan debu yang dapat mengganggu proses pembakaran serta menurunkan kemurnian produk akhir. Pengeringan di bawah sinar matahari berfungsi untuk menurunkan kadar air dalam sekam padi sebelum proses kalsinasi, sehingga pembakaran dapat berlangsung secara efisien.

Proses kalsinasi dilakukan pada suhu  $600^\circ\text{C}$  selama 6 jam untuk menghilangkan senyawa organik dan menghasilkan abu sekam padi yang mengandung  $\text{SiO}_2$  dalam bentuk amorf. Pembakaran sekam padi pada suhu  $500\text{--}700^\circ\text{C}$  mampu menghasilkan  $\text{SiO}_2$  amorf berkualitas tinggi dengan kandungan  $\text{SiO}_2$  mencapai 85–95% (Kalapathy dkk., 2000). Abu yang diperoleh berwarna putih keabu-abuan mengindikasikan dekomposisi sempurna dari komponen karbon dan lignoselulosa dalam sekam padi.

Abu sekam padi kemudian direndam dalam larutan  $\text{HCl}$  1 M selama 20 menit pada suhu ruang untuk menghilangkan pengotor logam seperti Fe, Al, dan Ca yang terdapat dalam material biomassa (Kalapathy dkk., 2000). Proses ini penting untuk meningkatkan kemurnian  $\text{SiO}_2$ . Setelah perlakuan asam, padatan dicuci dengan aquades secara berulang hingga mencapai pH netral untuk memastikan tidak ada sisa ion klorida yang tertinggal. Pengeringan akhir dilakukan dalam oven pada suhu  $110^\circ\text{C}$  selama beberapa jam untuk menghilangkan kadar air dan memperoleh  $\text{SiO}_2$  dalam bentuk serbuk putih yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.

Serbuk putih yang dihasilkan menunjukkan bahwa ekstraksi telah berhasil menghasilkan  $\text{SiO}_2$  amorf dengan tingkat kemurnian yang baik. Senyawa  $\text{SiO}_2$  ini digunakan sebagai matriks pendukung dalam sintesis  $x\text{ZnO}/\text{SiO}_2$  yang memiliki potensi tinggi sebagai material adsorben dalam proses pengolahan limbah ion fosfat. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa  $\text{SiO}_2$  dari sekam padi memiliki struktur berpori, kestabilan termal, dan luas permukaan tinggi yang menjadikannya bahan potensial dalam aplikasi adsorpsi (Kalapathy dkk., 2000).



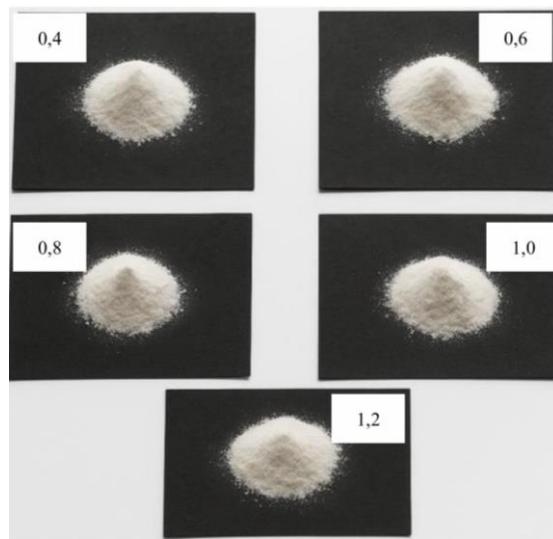
Gambar 4.1 Padatan  $\text{SiO}_2$  hasil ekstraksi

#### 4.2 Sintesis Adsorben ZnO/SiO<sub>2</sub>

Sintesis adsorben xZnO/SiO<sub>2</sub> dilakukan dengan metode impregnasi, yaitu dengan menambahkan larutan prekursor seng klorida (ZnCl<sub>2</sub>) ke dalam SiO<sub>2</sub> yang telah dikeringkan. Tujuannya untuk mendistribusikan senyawa ZnCl<sub>2</sub> secara merata ke seluruh permukaan SiO<sub>2</sub>, sehingga ZnO yang terbentuk dapat tersebar secara homogen pada matriks pendukung SiO<sub>2</sub>. Penyebaran yang merata ini memungkinkan terjadinya interaksi sinergis antara ZnO dan SiO<sub>2</sub> yang dapat meningkatkan efisiensi dan kapasitas adsorpsi material terhadap ion fosfat dari larutan. Pada tahap ini, digunakan variasi konsentrasi ZnO sebesar 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; dan 1,2 % w/w berat terhadap massa SiO<sub>2</sub>.

Padatan SiO<sub>2</sub> hasil ekstraksi dari sekam padi dicampurkan dengan larutan ZnCl<sub>2</sub> sesuai rasio stoikiometris masing-masing, lalu diaduk sambil dipanaskan pada suhu 80°C hingga membentuk bubur homogen. Pengadukan dan pemanasan berfungsi untuk memastikan distribusi merata dari larutan Zn<sup>2+</sup> pada permukaan SiO<sub>2</sub>, serta meningkatkan efisiensi impregnasi. Selanjutnya dilakukan pengeringan dalam oven pada suhu 125°C hingga diperoleh padatan kering.

Selanjutnya adalah tahap kalsinasi pada suhu 500°C selama 5 jam untuk mengubah ZnCl<sub>2</sub> menjadi ZnO serta memperkuat ikatan antara ZnO dan SiO<sub>2</sub> dan dijelaskan melalui persamaan reaksi 2.1. Kalsinasi juga bertujuan untuk menghilangkan sisa-sisa senyawa pada saat sintesis yang bukan target, meningkatkan stabilitas termal adsorben, serta memperbaiki struktur pori dan kristalinitasnya. Kalsinasi pada suhu tinggi diperlukan untuk membentuk fasa ZnO yang aktif secara permukaan dan meningkatkan ketahanan adsorben terhadap pelarutan kembali (Barakat, 2011). Padatan yang dihasilkan memiliki warna putih dan tekstur halus yang mengindikasikan terbentuknya ZnO pada permukaan SiO<sub>2</sub> seperti pada Gambar 4.2. Pengamatan visual ini selaras dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa sintesis ZnO dengan kalsinasi di atas 400°C menghasilkan fasa ZnO yang aktif secara fotokatalitik dan *adsorptive* (Li dkk., 2020).



Gambar 4.2 Padatan adsorben xZnO/SiO<sub>2</sub>

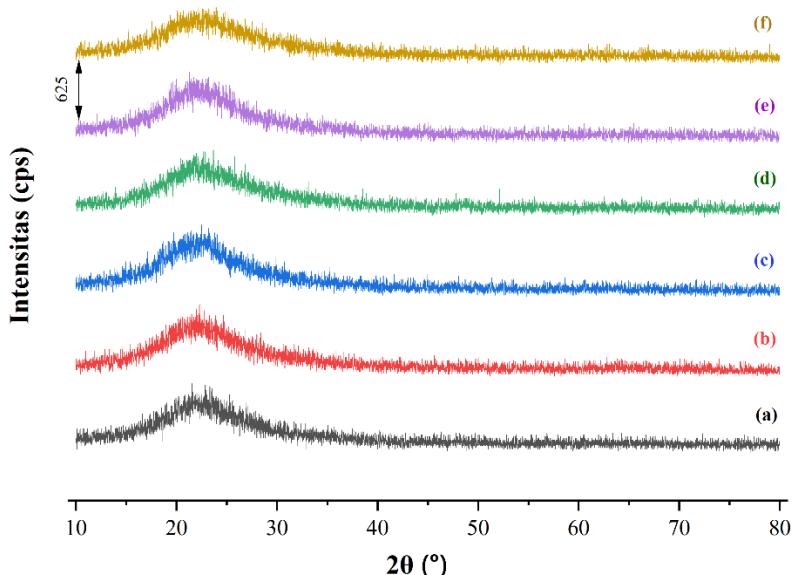
Adsorben xZnO/SiO<sub>2</sub> yang diperoleh kemudian dikarakterisasi dengan XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui struktur kristalnya, FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) untuk mengidentifikasi gugus fungsional, serta uji luas permukaan dengan metode adsorpsi metilen biru. Selain itu, uji adsorpsi ion fosfat dilakukan dengan spektrofotometer UV-Vis untuk menilai performa material terhadap penghilangan ion PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> dari larutan. Modifikasi SiO<sub>2</sub> dengan ZnO melalui metode impregnasi ini terbukti mampu

menghasilkan adsorben yang memiliki potensi tinggi dalam proses adsorpsi. Kombinasi sifat aktif dari ZnO dan struktur berpori dari SiO<sub>2</sub> dari sekam padi menciptakan sinergi yang mendukung efisiensi adsorpsi ion fosfat, baik dari sisi kapasitas maupun kestabilan material (Ali dkk., 2014).

#### 4.3 Hasil Karakterisasi

##### 4.3.1 Karakterisasi dengan XRD

Padatan SiO<sub>2</sub> dan xZnO/SiO<sub>2</sub> kemudian dikarakterisasi dengan XRD. Difaktogram padatan SiO<sub>2</sub> dan xZnO/SiO<sub>2</sub> dapat dilihat pada Gambar 4.3.

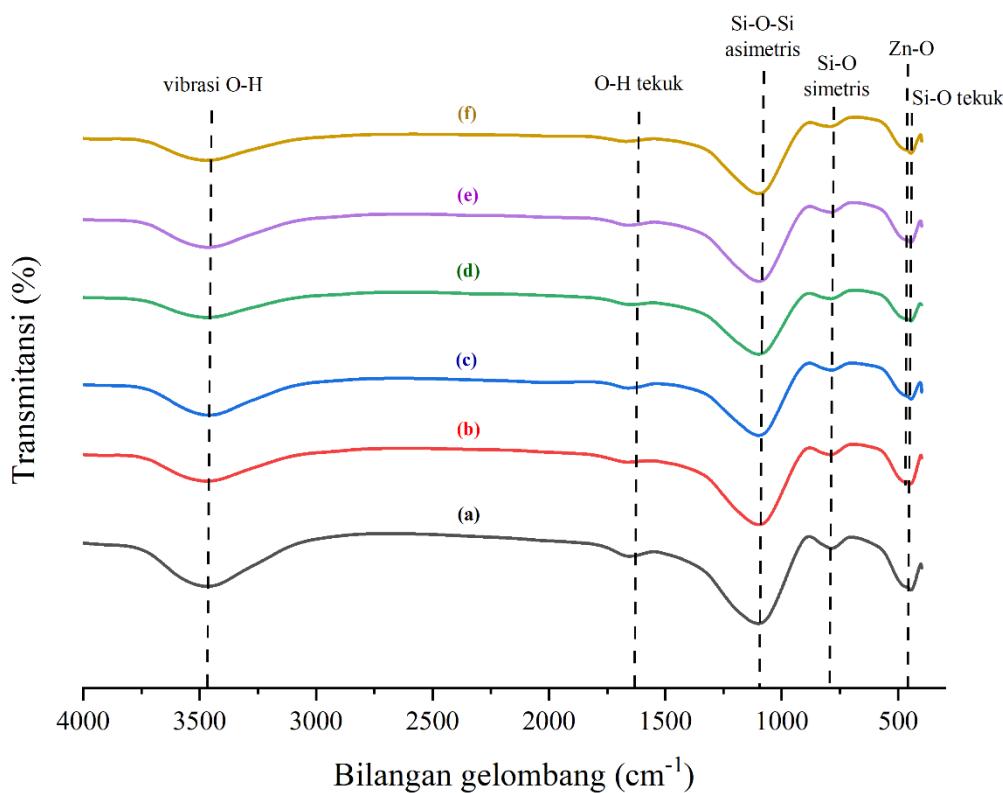


**Gambar 4.3** Difaktogram dari (a) SiO<sub>2</sub>; (b) 0,4 ZnO/SiO<sub>2</sub>; (c) 0,6 ZnO/SiO<sub>2</sub>; (d) 0,8 ZnO/SiO<sub>2</sub>; (e) 1,0 ZnO/SiO<sub>2</sub>; dan (f) 1,2 ZnO/SiO<sub>2</sub>

Pada Gambar 4.3, difaktogram sampel (f) menunjukkan adanya puncak lebar (*hump*) di daerah  $2\theta = 22,647^\circ$  yang diperkirakan sebagai keberadaan fase amorf silika (SiO<sub>2</sub>). Hal ini juga sesuai dengan laporan dari Nayak dkk. (2019) yang menyatakan bahwa silika (SiO<sub>2</sub>) dari sekam padi umumnya berbentuk amorf dan ditunjukkan oleh pola XRD berupa puncak maksimum di daerah  $2\theta = 22^\circ$ . Puncak ini mengindikasikan keberadaan silika amorf (SiO<sub>2</sub>) seperti yang dijelaskan dalam data referensi JCPDS (2001). Sifat amorf ini disebabkan oleh tidak terurnya struktur kristal silika yang dihasilkan dari pembakaran biomassa, terutama pada suhu tinggi tanpa pembentukan fase kristalin sempurna. Selain dicocokkan dengan SiO<sub>2</sub> standar, difaktogram juga dicocokkan dengan ZnO standar. ZnO standar mempunyai puncak pada  $2\theta = 36^\circ$  (JCPDS, 2001). Hal ini menunjukkan bahwa pada seluruh adsorben tidak terdapat fasa ZnO tersendiri diluar puncak amorf SiO<sub>2</sub>. Fasa kristal ZnO yang tidak tampak pada difaktogram kemungkinan akibat dari sangat kecilnya kadar ZnO pada adsorben.

##### 4.3.2 Karakterisasi dengan FTIR

Padatan SiO<sub>2</sub> dan xZnO/SiO<sub>2</sub> kemudian dikarakterisasi dengan FTIR. Hasil spektra IR padatan SiO<sub>2</sub> dan xZnO/SiO<sub>2</sub> dapat dilihat pada Gambar 4.4.



**Gambar 4.4** Spektra FTIR dari (a)  $\text{SiO}_2$ ; (b) 0,4  $\text{ZnO}/\text{SiO}_2$ ; (c) 0,6  $\text{ZnO}/\text{SiO}_2$ ; (d) 0,8 $\text{ZnO}/\text{SiO}_2$ ; (e) 1,0  $\text{ZnO}/\text{SiO}_2$ ; dan (f) 1,2  $\text{ZnO}/\text{SiO}_2$

Karakterisasi gugus fungsional pada material  $\text{SiO}_2$  dan  $x\text{ZnO}/\text{SiO}_2$  dilakukan dengan FTIR, seperti pada Gambar 4.4. Spektra FTIR  $x\text{ZnO}/\text{SiO}_2$  pada Gambar 4.4 (a-f) menunjukkan beberapa puncak serapan khas, yaitu puncak lebar pada bilangan gelombang sekitar  $3493\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan getaran gugus -OH atau gugus hidroksil. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilaporkan oleh Dhaffouli dkk. (2024) bahwa pada bilangan gelombang  $3200\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$  merupakan vibrasi dari -OH yang berasal dari uap air yang terikat secara fisis pada permukaan adsorben. Puncak pada bilangan gelombang  $1684$ ,  $1087$ ,  $786$ , dan  $443\text{ cm}^{-1}$  masing-masing mengindikasikan vibrasi tekuk -OH, vibrasi ulur asimetris Si-O-Si, vibrasi Si-O simetris, dan vibrasi Si-O. Puncak-puncak ini adalah ciri khas silika dalam bentuk amorf dan telah banyak dilaporkan dalam studi sebelumnya, seperti oleh Bello dkk. (2008) dan Kalapathy dkk. (2000).

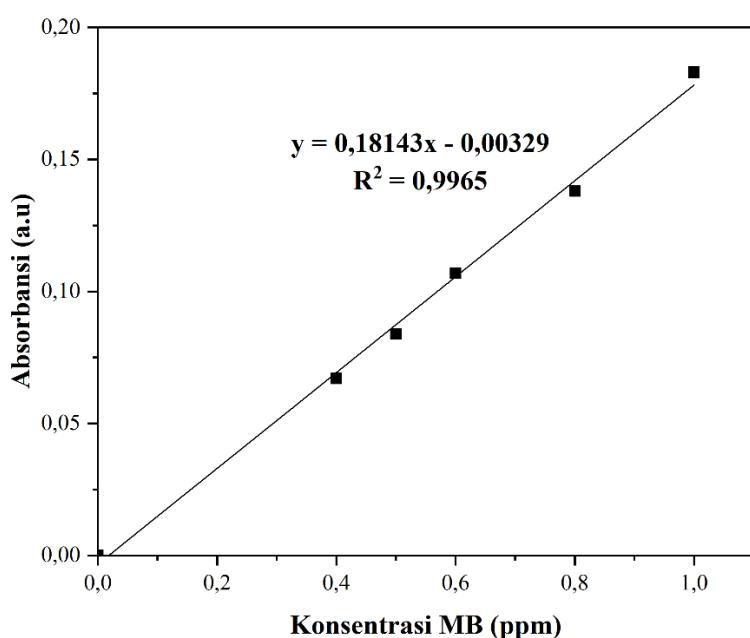
Selain puncak-puncak yang berhubungan dengan  $\text{SiO}_2$ , spektra FTIR dari Gambar 4.4 (b) hingga (f) merepresentasikan  $x\text{ZnO}/\text{SiO}_2$  dengan rasio  $\text{ZnO}$  0,4-1,2% yang mempertahankan pita khas silika pada pola serapannya, tetapi disertai kemunculan gelombang bilangan baru di sekitar  $460$  -  $470\text{ cm}^{-1}$ . Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Raevskaya dkk. (2014) yang menyatakan bahwa ikatan Zn-O biasanya muncul pada bilangan gelombang  $440\text{-}470\text{ cm}^{-1}$ . Bilangan gelombang ini dihubungkan dengan getaran Zn-O yang menandakan bahwa ZnO berhasil terintegrasi dalam matriks silika. Seiring peningkatan rasio ZnO, intensitas pita serapan pada bilangan gelombang  $460\text{ cm}^{-1}$  cenderung meningkat yang memperkuat bukti bahwa jumlah ZnO dalam material bertambah. Meskipun pita serapan Zn-O tidak selalu tajam, pergeseran atau penambahan pita serapan di area tersebut cukup menjadi indikator bahwa struktur ZnO terbentuk dalam adsorben  $x\text{ZnO}/\text{SiO}_2$ . Perbandingan spektra FTIR antara Gambar 4.4 (a) dan (b - f) menunjukkan keberhasilan sintesis  $x\text{ZnO}/\text{SiO}_2$  yang

ditandai dengan tetap munculnya pita serapan khas  $\text{SiO}_2$  amorf dan pita serapan Zn–O yang intensitasnya bergantung pada persentase  $\text{ZnO}$ .

#### 4.3.3 Luas Permukaan dengan MB (Metilen Biru)

##### 4.3.3.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum dan Kurva Kalibrasi MB (Metilen Biru)

Penentuan panjang gelombang maksimum MB diawali dengan pengukuran absorbansi MB dengan spektrofotometer UV-Vis dalam rentang panjang gelombang 500–700 nm dan diperoleh hasil panjang gelombang maksimum pada panjang gelombang 664 nm (Lampiran D) yang digunakan sebagai  $\lambda_{\text{maks}}$  dalam pengukuran konsentrasi MB sesuai dengan literatur yang menyatakan bahwa metilen biru memiliki  $\lambda_{\text{maks}}$  di sekitar 663–665 nm (Tiandho dkk., 2021). Data absorbansi yang didapat dibuat kurva kalibrasi dengan larutan MB standar pada konsentrasi bertingkat, yaitu 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; dan 1,0 ppm. Nilai absorbansi masing-masing konsentrasi diukur pada panjang gelombang maksimum, dan kemudian dialurkan konsentrasi MB sebagai sumbu x terhadap absorbansi sebagai sumbu y dan dihasilkan hubungan linear antara konsentrasi dan absorbansi yang disajikan pada Gambar 4.5. Persamaan regresi linear dari kurva kalibrasi yaitu  $y = 0,18143x - 0,00329$  dengan nilai  $R^2 = 0,9965$ .



Gambar 4.5 Kurva kalibrasi larutan standar MB

##### 4.3.3.2 Pengukuran Luas Area Spesifik (*Specific Surface Area*) dengan MB (Metilen Biru)

Pengukuran luas area spesifik adsorben dilakukan dengan metode metilen biru (MB) untuk karakterisasi bahan berpori, termasuk material berbasis silika ( $\text{SiO}_2$ ) hasil ekstraksi dari sekam padi yang diimpregnasi dengan  $\text{ZnO}$ . Sesuai dengan prinsip bahwa molekul MB dapat menutupi permukaan padatan secara monolayer melalui interaksi elektrostatik dan gaya van der Waals. Metode ini dianggap efektif untuk karakterisasi bahan berpori berbasis silika atau karbon yang berasal dari limbah biomassa (Hegyesi dkk., 2017).

Pengukuran luas permukaan dengan MB dilakukan dengan larutan awal 15 mL 15 ppm yang berarti mengandung  $60,18 \times 10^{-5}$  mol. Setelah dilakukan adsorpsi selama 20 jam, diperoleh konsentrasi akhir MB sebesar  $3,49 \times 10^{-5}$  mol sesuai dengan kurva kalibrasi. Selisih antara mol

mula-mula dan mol akhir merupakan mol MB yang teradsorpsi yang dapat digunakan untuk perhitungan luas permukaan dengan Persamaan 2.5.

Hal yang sama juga dilakukan pada variasi adsorben  $x\text{ZnO/SiO}_2$  (0,4; 0,6; 0,8; 1,0; dan 1,2). Data hasil perhitungan luas area spesifik dapat dilihat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Perhitungan luas area spesifik adsorben  $x\text{ZnO/SiO}_2$

Sampel $x\text{ZnO/SiO}_2$	Konsentrasi sisa (mg/L)	Massa sisa (mg)	Mol MB sisa (mmol)	Kapasitas $\text{ZnO/SiO}_2$ dalam penyerapan MB (mol/g)	Luas area spesifik ( $\text{m}^2/\text{g}$ )
$\text{SiO}_2$	0,869	0,0130	$3,48 \times 10^{-5}$	$1,133 \times 10^{-5}$	8,8730
0,4 $\text{ZnO/SiO}_2$	0,547	0,0082	$2,19 \times 10^{-5}$	$1,159 \times 10^{-5}$	9,0751
0,6 $\text{ZnO/SiO}_2$	0,503	0,0075	$2,01 \times 10^{-5}$	$1,163 \times 10^{-5}$	9,1028
0,8 $\text{ZnO/SiO}_2$	0,464	0,0069	$1,86 \times 10^{-5}$	$1,166 \times 10^{-5}$	9,1271
1,0 $\text{ZnO/SiO}_2$	0,442	0,0066	$1,77 \times 10^{-5}$	$1,168 \times 10^{-5}$	9,1409
1,2 $\text{ZnO/SiO}_2$	0,387	0,0058	$1,55 \times 10^{-5}$	$1,172 \times 10^{-5}$	9,1755

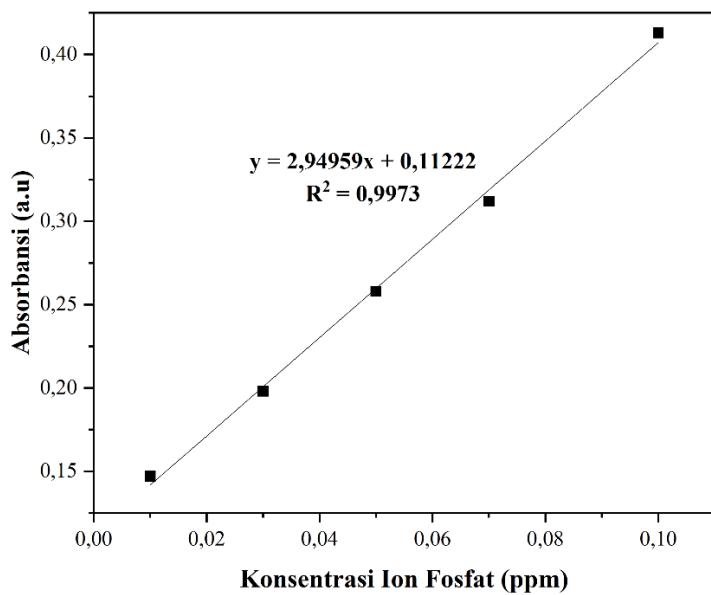
Sebagai contoh pada adsorben  $x\text{ZnO/SiO}_2$  dengan  $x = 0,4$ , konsentrasi MB dalam filtrat setelah adsorpsi adalah 0,547 mg/L, sehingga dalam 15 mL larutan MB terdapat 0,0082 mg dengan MB mula-mula sebesar 0,225 mg. Apabila diketahui Mr MB adalah 373,9 g/mol, maka diperoleh mol MB sisa adalah  $2,19 \times 10^{-5}$  mol, sehingga diperoleh kapasitas  $\text{SiO}_2$  dalam penyerapan MB sebesar  $1,159 \times 10^{-5}$  mol/g. Luas area spesifik (*Specific Surface Area*) dari 0,4  $\text{ZnO/SiO}_2$  adalah  $9,0751 \text{ m}^2/\text{g}$  yang diperoleh dari perhitungan pada Persamaan 2.5. Hasil pengukuran luas area spesifik dengan MB diperoleh hasil  $x\text{ZnO/SiO}_2$  lebih tinggi daripada  $\text{SiO}_2$ . Hal ini menunjukkan bahwa proses impregnasi  $\text{ZnO}$  tidak menyumbat pori-pori  $\text{SiO}_2$ , melainkan berpotensi membuka lebih banyak permukaan aktif atau memperluas jaringan pori. Selain itu, keberadaan  $\text{ZnO}$  juga dapat menciptakan situs aktif kimiawi baru yang berkontribusi terhadap kemampuan adsorpsi material (Habiddin, 2024).

#### 4.4 Uji Adsorpsi Ion Fosfat

Uji adsorpsi ion fosfat dilakukan untuk mengidentifikasi kemampuan material  $x\text{ZnO/SiO}_2$  sebagai adsorben dalam menangkap ion fosfat dari larutan. Proses adsorpsi ion fosfat dilakukan dengan penentuan panjang gelombang maksimum, pembuatan kurva kalibrasi ion fosfat, uji adsorpsi ion fosfat dengan  $\text{SiO}_2$  dan  $x\text{ZnO/SiO}_2$ . Penentuan waktu optimum dan pengaruh dosis adsorben pada adsorpsi ion fosfat dengan metode *batch*.

##### 4.4.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum dan Kurva Kalibrasi Ion Fosfat

Penentuan panjang gelombang maksimum ( $\lambda_{\text{maks}}$ ) ion fosfat dilakukan untuk mengetahui titik serapan tertinggi kompleks ion fosfat yang terbentuk setelah bereaksi dengan *ammonium heptamolybdate*. Dalam penelitian ini, larutan standar ion fosfat direaksikan dengan pereaksi *ammonium heptamolybdate* dan *hydrazinium sulfate* yang menghasilkan kompleks fosfomolibdenum biru, kemudian dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada rentang panjang gelombang 708-721 nm. Panjang gelombang maksimum ion fosfat diperoleh pada 718 nm (Lampiran D) yang digunakan sebagai  $\lambda_{\text{maks}}$  dalam pengukuran konsentrasi ion fosfat. Data absorbansi yang didapat dibuat kurva kalibrasi dengan larutan ion fosfat pada beberapa konsentrasi. Nilai absorbansi masing-masing konsentrasi diukur pada panjang gelombang maksimum, kemudian dialurkan konsentrasi (ppm) sebagai sumbu x terhadap absorbansi (a.u) sebagai sumbu y untuk menghasilkan hubungan linear antara konsentrasi dan absorbansi yang disajikan pada Gambar 4.6. Persamaan regresi linear dari kurva kalibrasi yaitu  $y = 2,94959x + 0,11222$  dengan nilai  $R^2 = 0,9973$ .



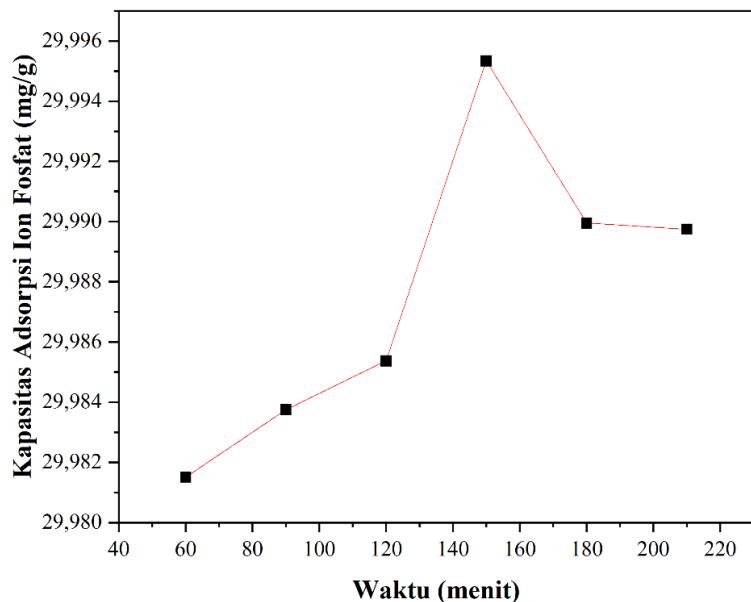
**Gambar 4.6** Kurva kalibrasi ion fosfat

#### 4.4.2 Uji Adsorpsi Ion Fosfat dengan Adsorben ZnO/SiO<sub>2</sub>

Uji adsorpsi ion fosfat oleh adsorben komposit xZnO/SiO<sub>2</sub> dilakukan untuk mengetahui efektivitas modifikasi permukaan silika (SiO<sub>2</sub>) dengan seng oksida dalam meningkatkan kapasitas penyerapan ion fosfat (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) dari larutan. Kapasitas adsorpsi dan kinetika adsorpsi ion fosfat oleh adsorben xZnO/SiO<sub>2</sub> dapat diperoleh melalui pengamatan pengaruh waktu optimum dan dosis adsorben pada adsorpsi ion fosfat.

##### 4.4.2.1 Pengaruh Waktu Optimum pada Adsorpsi Ion Fosfat

Pada optimasi ini digunakan adsorben 1,0ZnO/SiO<sub>2</sub> karena konsentrasi tersebut dipilih sebagai sampel uji berdasarkan hasil karakterisasi awal dan pertimbangan kestabilan formulasi. Waktu kontak merupakan parameter penting dalam proses adsorpsi karena mempengaruhi jumlah interaksi antara ion adsorbat dan situs aktif pada permukaan adsorben. Adsorben xZnO/SiO<sub>2</sub> dipilih karena memiliki permukaan bermuatan positif yang lebih banyak dibandingkan SiO<sub>2</sub>, sehingga dapat berinteraksi lebih kuat dengan ion fosfat bermuatan negatif. Oleh karena itu, pengujian variasi waktu kontak digunakan untuk mengamati laju adsorpsi dan kapasitas penyerapan maksimum (Q<sub>t</sub>) terhadap waktu, serta untuk menentukan titik kesetimbangan adsorpsi. Uji adsorpsi ion fosfat dilakukan dengan variasi waktu kontak 60, 90, 120, 150, 180, dan 210 menit dengan adsorben 1,0ZnO/SiO<sub>2</sub>. Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi (Q<sub>t</sub>) meningkat dari 29,9815 mg/g pada menit ke-60 menjadi 29,9953 mg/g pada menit ke-150. Setelah itu, nilai Q<sub>t</sub> sedikit menurun menjadi 29,9899 mg/g pada menit ke-180 dan 29,9897 mg/g pada menit ke-210.

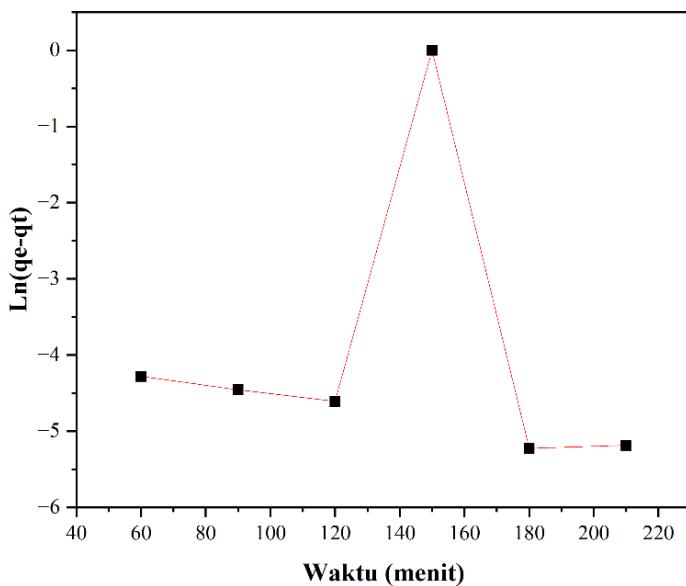


**Gambar 4.7** Aluran waktu terhadap kapasitas adsorpsi ion fosfat

Terlihat pada Gambar 4.7 terjadi peningkatan nilai  $Q_t$  pada awal waktu menunjukkan bahwa sebagian besar situs aktif masih tersedia untuk berinteraksi dengan ion fosfat, sehingga proses adsorpsi berlangsung secara intensif. Setelah waktu kontak mencapai 150 menit, terlihat bahwa kapasitas adsorpsi mulai tetap dan bahkan sedikit menurun yang menandakan bahwa sistem telah mencapai kesetimbangan adsorpsi. Laju penyerapan ion fosfat oleh adsorben setara dengan laju pelepasannya kembali ke larutan, sehingga tidak terjadi peningkatan signifikan pada jumlah ion yang teradsorpsi. Waktu optimum dalam proses adsorpsi ion fosfat oleh adsorben  $1,0\text{ZnO/SiO}_2$  ditentukan selama 150 menit, karena pada titik ini sistem telah mencapai kesetimbangan dan tidak menunjukkan peningkatan kapasitas adsorpsi yang signifikan.

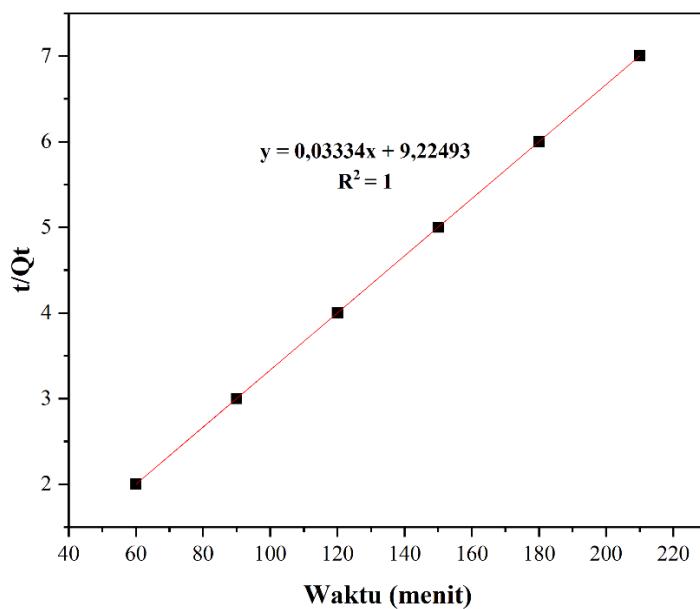
#### 4.4.2.2 Model Kinetika Adsorpsi Ion Fosfat

Model kinetika adsorpsi dilakukan untuk memahami mekanisme adsorpsi ion fosfat dengan adsorben  $x\text{ZnO/SiO}_2$ . Dua pendekatan digunakan yaitu model kinetika orde satu semu (*pseudo first order*) dan model kinetika orde dua semu (*pseudo second order*). Model kinetika adsorpsi ion fosfat dilakukan dengan metode *batch*. Mekanisme orde satu semu diterima jika aluran waktu terhadap  $\ln(Q_e - Q_t)$  diperoleh kurva linear. Mekanisme orde dua semu diterima jika aluran waktu terhadap  $t/Q_t$  diperoleh kurva linear. Pada penelitian ini, aluran grafik kinetika adsorpsi ion fosfat orde satu semu sesuai dengan Gambar 4.8.



**Gambar 4.8** Grafik model kinetika orde satu semu

Kurva yang dihasilkan model kinetika orde satu semu terdapat pada Gambar 4.8. Diperoleh pola data yang tidak linear serta nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang tidak dapat ditentukan. Hal ini menunjukkan bahwa model orde satu semu tidak mampu merepresentasikan proses adsorpsi yang terjadi secara akurat. Model ini biasanya menggambarkan adsorpsi fisik (fisisorpsi) yang berlangsung cepat dan tidak spesifik terhadap permukaan adsorben (Lagergren, 1898). Oleh karena itu dilakukan uji coba dengan model kinetika orde dua semu. Penelitian juga dilakukan pada kinetika orde dua semu dengan aluran grafik  $t/Qt$  terhadap waktu seperti Gambar 4.9.

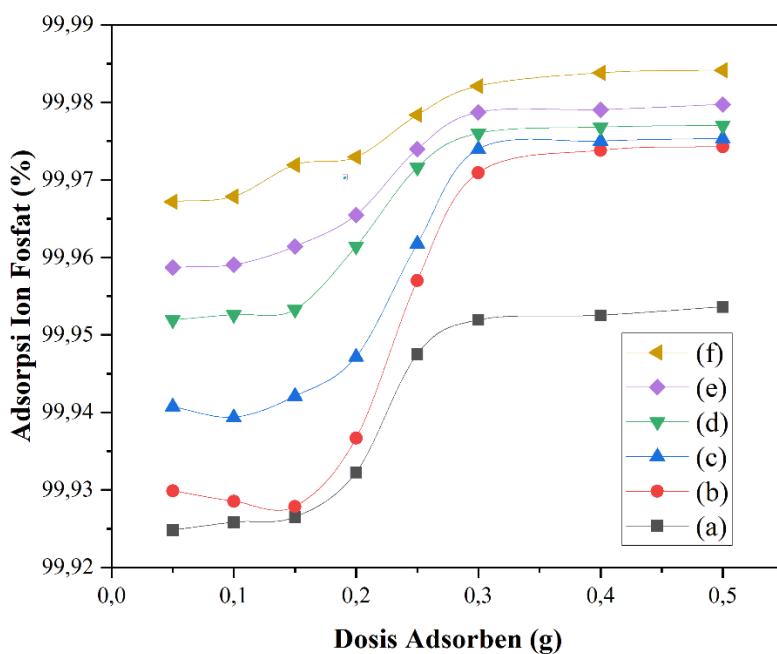


**Gambar 4.9** Grafik model kinetika orde dua semu

Grafik model orde dua semu pada Gambar 4.9 menunjukkan hubungan linear yang sangat baik antara  $t/qt$  dan waktu ( $t$ ). Persamaan regresi linear diperoleh sebesar  $y = 0,03334x + 9,22493$  dengan nilai koefisien determinasi sebesar  $R^2 = 1$ . Nilai ini menunjukkan bahwa model orde dua semu memberikan kecocokan baik terhadap data eksperimental. Ion fosfat berikatan secara kimia dengan situs aktif di permukaan  $x\text{ZnO}/\text{SiO}_2$ , baik melalui pembentukan kompleks permukaan maupun pertukaran ion antara ion fosfat dan gugus aktif pada permukaan  $\text{ZnO}$  (Aurich dkk., 2017). Hasil analisis menunjukkan bahwa proses adsorpsi ion fosfat oleh  $x\text{ZnO}/\text{SiO}_2$  mengikuti mekanisme kinetika orde dua semu. Beberapa peneliti terdahulu juga menunjukkan bahwa model kinetika orde dua semu merupakan pendekatan yang paling sesuai untuk menggambarkan laju adsorpsi ion fosfat. Oleh karena itu, model orde dua semu dianggap paling representatif dalam menggambarkan karakteristik kinetika adsorpsi fosfat pada berbagai jenis material (Maslukah dkk., 2020).

#### 4.4.2.3 Pengaruh Dosis pada Adsorpsi Ion Fosfat

Dosis adsorben merupakan salah satu parameter penting yang mempengaruhi efisiensi proses adsorpsi. Adsorpsi ion fosfat dengan adsorben  $x\text{ZnO}/\text{SiO}_2$  diamati pada variasi dosis  $\text{SiO}_2$ ; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; dan 0,5 gram untuk masing-masing variasi  $\text{ZnO}/\text{SiO}_2$  (0,4; 0,6; 0,8; 1,0; dan 1,2).



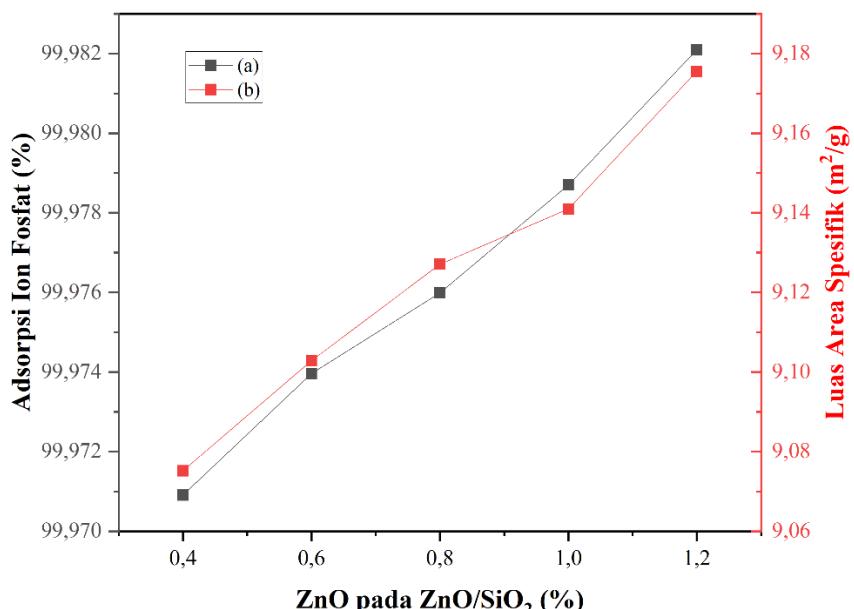
**Gambar 4.10** Grafik persentase adsorpsi ion fosfat terhadap dosis adsorben dari (a)  $\text{SiO}_2$ ; (b) 0,4  $\text{ZnO}/\text{SiO}_2$ ; (c) 0,6  $\text{ZnO}/\text{SiO}_2$ ; (d) 0,8  $\text{ZnO}/\text{SiO}_2$ ; (e) 1,0  $\text{ZnO}/\text{SiO}_2$ ; dan (f) 1,2  $\text{ZnO}/\text{SiO}_2$

Pada Gambar 4.10, terlihat bahwa peningkatan dosis adsorben dari 0,05 - 0,5 gram memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan efisiensi adsorpsi ion fosfat. Pada kelima variasi sampel  $x\text{ZnO}/\text{SiO}_2$ , terlihat pola kenaikan kurva adsorpsi yang tajam saat dosis meningkat dari 0,1 - 0,3 gram. Setelah melewati rentang tersebut, kurva mulai melandai dan hanya mengalami peningkatan yang relatif kecil. Peningkatan efisiensi adsorpsi seiring bertambahnya dosis adsorben disebabkan oleh bertambahnya jumlah situs aktif pada permukaan  $x\text{ZnO}/\text{SiO}_2$  yang tersedia untuk mengikat ion fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Pada dosis awal,

jumlah situs aktif relatif terbatas sehingga kapasitas penyerapan belum optimal. Ketika dosis dinaikkan, jumlah situs aktif bertambah, sehingga meningkatkan kapasitas penyerapan ion fosfat. Setelah dosis mencapai sekitar 0,3 gram, grafik cenderung mendatar (*plateau*). Hal ini menandakan bahwa proses adsorpsi telah mencapai kondisi jenuh atau mendekati kesetimbangan. Penambahan dosis lebih lanjut tidak menghasilkan perubahan signifikan dalam efisiensi adsorpsi, sehingga mengurangi luas permukaan efektif dan menurunkan efisiensi interaksi adsorbat dengan permukaan aktif. Tren serupa juga dilaporkan oleh Mei dkk. (2025), di mana peningkatan dosis adsorben meningkatkan efisiensi adsorpsi ion logam berat hingga titik tertentu, kemudian cenderung stabil akibat keterbatasan konsentrasi adsorbat dalam larutan.

Senyawa  $\text{SiO}_2$  menunjukkan efisiensi adsorpsi ion fosfat yang tinggi, tetapi modifikasi permukaan dengan  $\text{ZnO}$  tetap diperlukan untuk meningkatkan selektivitas, kekuatan ikatan, dan stabilitas adsorpsi. Hal ini karena mekanisme adsorpsi pada  $\text{SiO}_2$  lebih banyak bersifat fisik, sedangkan kehadiran  $\text{ZnO}$  memungkinkan terjadinya interaksi elektrostatik dan pembentukan kompleks permukaan yang lebih kuat dengan ion fosfat. Selain itu, adsorben  $x\text{ZnO}/\text{SiO}_2$  juga berpotensi lebih tahan terhadap kondisi lingkungan yang beragam dan dapat digunakan berulang kali, menjadikannya lebih unggul dalam aplikasi pengolahan limbah fosfat secara berkelanjutan. Pengamatan vertikal pada grafik menunjukkan bahwa pada dosis adsorben yang sama, efisiensi adsorpsi ion fosfat berbeda antar masing-masing sampel (a-f). Pada dosis 0,3 gram, sampel f memiliki efisiensi adsorpsi tertinggi sekitar 99,982%, sedangkan sampel a hanya mencapai sekitar 99,951%. Selisih ini menandakan bahwa komposisi  $\text{ZnO}$  dalam material  $x\text{ZnO}/\text{SiO}_2$  menentukan seberapa efektif adsorpsi terjadi. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Xu dkk. (2010) bahwa peningkatan kandungan  $\text{ZnO}$  dalam komposit berbasis silika dapat meningkatkan efisiensi adsorpsi fosfat hingga mencapai titik optimum, karena bertambahnya ketersediaan situs aktif permukaan.

Variasi sampel  $x\text{ZnO}/\text{SiO}_2$  (0,4; 0,6; 0,8; 1,0; dan 1,2) dihubungkan terhadap efisiensi adsorpsi ion fosfat (%) dan luas area spesifik ( $\text{m}^2/\text{g}$ ) dari data pada Tabel 4.1 yang terlihat pada Gambar 4.11.



**Gambar 4.11** Aluran variasi sampel  $x\text{ZnO}/\text{SiO}_2$  terhadap (a) efisiensi adsorpsi ion fosfat (%) dan (b) luas area spesifik ( $\text{m}^2/\text{g}$ )

Gambar 4.11 menunjukkan adanya peningkatan kemampuan adsorpsi ion fosfat seiring dengan peningkatan variasi sampel  $x\text{ZnO/SiO}_2$  yang diuji. Pada Gambar 4.11 (a) maupun (b), terjadi kenaikan nilai adsorpsi ion fosfat dari sekitar 99,971% pada sampel 0,4  $\text{ZnO/SiO}_2$  menjadi 99,984% pada sampel 1,2  $\text{ZnO/SiO}_2$ . Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan jumlah  $\text{ZnO}$  berkorelasi terhadap efisiensi adsorpsi. Selain itu, peningkatan nilai sampel juga diikuti oleh peningkatan luas permukaan adsorben dari sekitar  $9,0751 \text{ m}^2/\text{g}$  menjadi  $9,1756 \text{ m}^2/\text{g}$  yang ditampilkan pada sumbu Y sekunder. Hasil ini dapat dijelaskan jika semakin besar luas permukaan adsorben, maka semakin banyak situs aktif yang tersedia untuk mengikat ion fosfat. Data ini telah didukung oleh studi sebelumnya Feng dkk. (2021) yang menyatakan bahwa efisiensi adsorpsi fosfat sangat bergantung pada luas permukaan *biochar*, di mana nilai adsorpsi meningkat signifikan pada adsorben dengan luas permukaan yang tinggi. Penelitian serupa juga dilaporkan oleh Al-Qodah & Shawabkah (2009) yang menemukan bahwa adsorben dengan luas permukaan di atas  $10 \text{ m}^2/\text{g}$  mampu mengadsorpsi ion fosfat hingga lebih dari 96%.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa adsorben  $x\text{ZnO/SiO}_2$  yang disintesis dengan sumber silika dari sekam padi menunjukkan kinerja yang baik dalam proses adsorpsi ion fosfat. Luas area spesifik terbesar dari adsorben ZnO yang terimpregnasi pada  $\text{SiO}_2$  sebesar  $9,1756 \text{ m}^2/\text{g}$ . Luas area spesifik dari adsorben dengan adanya ZnO lebih tinggi dibandingkan dengan  $\text{SiO}_2$ , sehingga  $x\text{ZnO/SiO}_2$  memberikan kontribusi terhadap peningkatan efisiensi adsorpsi. Uji adsorpsi ion fosfat menunjukkan bahwa kondisi optimum diperoleh pada waktu kontak selama 150 menit dan dosis adsorben sebesar 0,3 gram. Adsorben  $\text{SiO}_2$  memiliki nilai kapasitas adsorpsi ion fosfat sebesar  $29,9855 \text{ mg/g}$  dan persentase efisiensi penghilangan ion fosfat sebesar 99,951%. Adsorben 1,2 ZnO/ $\text{SiO}_2$  memiliki nilai kapasitas adsorpsi ion fosfat tertinggi sebesar  $29,9953 \text{ mg/g}$  dan persentase efisiensi penghilangan ion fosfat sebesar 99,984%. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan ZnO pada  $\text{SiO}_2$  berhasil meningkatkan kemampuan adsorpsi melalui peningkatan luas permukaan dan jumlah situs aktif. Analisis kinetika adsorpsi ion fosfat dengan adsorben ZnO yang terimpregnasi pada  $\text{SiO}_2$  mengikuti model kinetika adsorpsi orde dua semu.

#### **5.2 Saran**

Perlu diaplikasikan adsorben ZnO yang terimpregnasi pada  $\text{SiO}_2$  untuk adsorpsi ion fosfat dari limbah sehingga dapat diketahui matriks penganggunya.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

- A'yuni, Q., Rahmayanti, A., Hartati, H., Purkan, P., Subagyo, R., Rohmah, N., Itsnaini, L. R., & Fitri, M. A., (2023), Synthesis and characterization of silica gel from Lapindo volcanic mud with ethanol as a cosolvent for desiccant applications, *RSC Advances*, 13(4), 2692-2699. <https://doi.org/10.1039/d2ra07891k>
- Ajeel, S. A., Sukkar, K. A., & Zedin, N. K., (2020), Extraction of high purity amorphous silica from rice husk by chemical process, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 881, 012096. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/881/1/012096>
- Akhtar, M. S., Ali, S., & Zaman, W., (2024), Innovative Adsorbents for Pollutant Removal: Exploring the Latest Research and Applications, *Molecules*, 29(18), 1–37. <https://doi.org/10.3390/molecules29184317>
- Al-Qodah, Z., & Shawabkah, R., (2009), Production and characterization of granular activated carbon from activated sludge, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 26(1), 127-136. <https://doi.org/10.1590/S0104-66322009000100012>
- Algieri, C., & Drioli, E., (2022), Zeolite membranes: Synthesis and applications, *Separation and Purification Technology*, 278(March 2021), 119295. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.119295>
- Ali, A. M., Ismail, A. A., Najmy, R., & Al-Hajry, A., (2014), Preparation and characterization of ZnO-SiO<sub>2</sub> thin films as highly efficient photocatalyst, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 275, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2013.11.002>
- Altintig, E., Sarıcı, B., Bozdag, D., Over Ozcelik, T., Karakaş, M., & Altundag, H., (2024), Application of Optimization Response Surface for the Adsorption of Methylene Blue Dye onto Zinc-coated Activated Carbon, *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(7). <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12766-0>
- Aurich, A., Hofmann, J., Oltrogge, R., Weeks, M., Gläser, R., Blömer, L., Mauersberger, S., Müller, R. A., Sicker, D., & Giannis, A., (2017), Improved Isolation of Microbiologically Produced (2R,3S)-Isocitric Acid by Adsorption on Activated Carbon and Recovery with Methanol, *Organic Process Research and Development*, 21(6), 866–870. <https://doi.org/10.1021/acs.oprd.7b00090>
- Badamasi, H., Nasir, M., Ibrahim, A., & Aliyu, I., (2019), Impacts of Phosphates on Water Quality and Aquatic Life, *Journal of Water Resource and Protection*, 03(12), 856–860.
- Barakat, M. A., (2011), New trends in removing heavy metals from industrial wastewater, *Arabian Journal of Chemistry*, 4(4), 361–377. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2010.07.019>
- Basar, C. A., (2006), Applicability of the various adsorption models of three dyes adsorption onto activated carbon prepared waste apricot, *Journal of Hazardous Materials*, 135(1–3), 232–241. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.11.055>
- Bello, O. S., Adeogun, I. A., Ajaelu, J. C., & Fehintola, E. O., (2008), Adsorption of methylene blue onto activated carbon derived from periwinkle shells: Kinetics and equilibrium studies, *Chemistry and Ecology*, 24(4), 285–295. <https://doi.org/10.1080/02757540802238341>
- Crini, G., & Lichtfouse, E., (2019), Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment. *Environmental Chemistry Letters*, 17, 145–155. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0785-9>
- Dhaffouli, A., Holzinger, M., Carinelli, S., Barhoumi, H., & Salazar-carballo, P. A., (2024), *Electrochemical Detection of Cd<sup>2+</sup> Ions in Real Samples*.

- Dian, F., & Sawali, I., (2024), Studi Isotherm Adsorpsi Cu (II) Dalam Larutan, *Jurnal Teknologi Kimia Mineral*, 3, 25–32.
- Fathy, M., Zayed, M. A., & Mohamed, A. M. G., (2019), Phosphate adsorption from aqueous solutions using novel Zn Fe/Si MCM-41 magnetic nanocomposite: characterization and adsorption studies, *Nanotechnology for Environmental Engineering*, 4(1), 14. <https://doi.org/10.1007/s41204-019-0061-7>
- Feng, Y., Zhao, D., Qiu, S., He, Q., Luo, Y., Zhang, K., Shen, S., & Wang, F., (2021), Adsorption of Phosphate in Aqueous Phase by Biochar Prepared from Sheep Manure and Modified by Oyster Shells, *ACS Omega*, 6(48), 33046–33056. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c05191>
- Foo, K. Y., & Hameed, B. H., (2010), Insights into the modeling of adsorption isotherm systems, *Chemical Engineering Journal*, 156(1), 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.09.013>
- Gallas, J.-P., Goupil, J.-M., Vimont, A., Lavalle, J.-C., Gil, B., Gilson, J.-P., & Miserque, O., (2009), Quantification of Water and Silanol Species on Various Silicas by Coupling IR Spectroscopy and in-Situ Thermogravimetry, *Langmuir*, 25(10), 5825–5834. <https://doi.org/10.1021/la802688w>
- Habiddin., (2024), Aktivitas fotokatalis ZnO silika mesopori dari dual cetakan gelatin, *P123 ITS Repository*.
- Haris, M. N., (2024), Efektivitas Adsorpsi Zat Warna Yellow Disperse oleh Limbah Cangkang Kerang Simping dengan Pendekatan Isoterm Adsorpsi, *Jurnal Penelitian Inovatif (JUPIN)*, 4(4), 2309–2316. <https://doi.org/10.54082/jupin.880>
- He, J., Gong, W., Zhang, W., Zhu, L., Fu, L., & Yang, B., (2025), Synthesis of CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/attapulgite composite for removal of methylene blue from aqueous solutions, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 715(September 2024), 136606. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2025.136606>
- Hegyesi, N., Vad, R. T., & Pukánszky, B., (2017), Determination of the specific surface area of layered silicates by methylene blue adsorption: The role of structure, pH and layer charge, *Applied Clay Science*, 146(March), 50–55. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.05.007>
- Hirsch, P. B., (1957), Elements of X-Ray Diffraction, *Physics Bulletin*, 8(7), 237–238. <https://doi.org/10.1088/0031-9112/8/7/008>
- Iman, Rita., (2020), Sintesis komposit ZnO/SiO<sub>2</sub> dari limbah baterai dan abu sekam padi dengan variasi media Pendispersi untuk penanganan Metilen Biru secara Fotokatalisis, *Sarjana thesis, UIN Sunan Gunung Djati Bandung*.
- Islam, M. A., Siddiquey, I. A., Rahman Khan, M. A., Alam, M. M., Islam, S. S. M., & Hasnat, M. A., (2011), Adsorption and UV-visible light induced degradation of methylene blue over ZnO nano-particles, *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 9(July). <https://doi.org/10.1515/1542-6580.2278>
- JCPDS., (2001), *Joint Committee on Powder Diffraction Standards, International Centre for Diffraction Data (ICDD), Card No. 36-1451*.
- Kalapathy, U., Proctor, A., & Shultz, J., (2000), A simple method for production of pure silica from rice hull ash, *Bioresource Technology*, 73(3), 257–262. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00127-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00127-3)
- Kamiel, B. P., & Saputyningsih, E., (2021), Pemanfaatan Sekam Padi Sebagai Sumber Energi Alternatif Terbarukan Di Desa Krasak, Kecamatan Teras, Kabupaten Boyolali, *Prosiding Seminar Nasional Program Pengabdian Masyarakat*, 1007–1017. <https://doi.org/10.18196/ppm.23.352>
- Kang, J., Hu, C., Dichiaro, A., Guan, L., Yun, H., & Gu, J., (2023), Facile preparation of

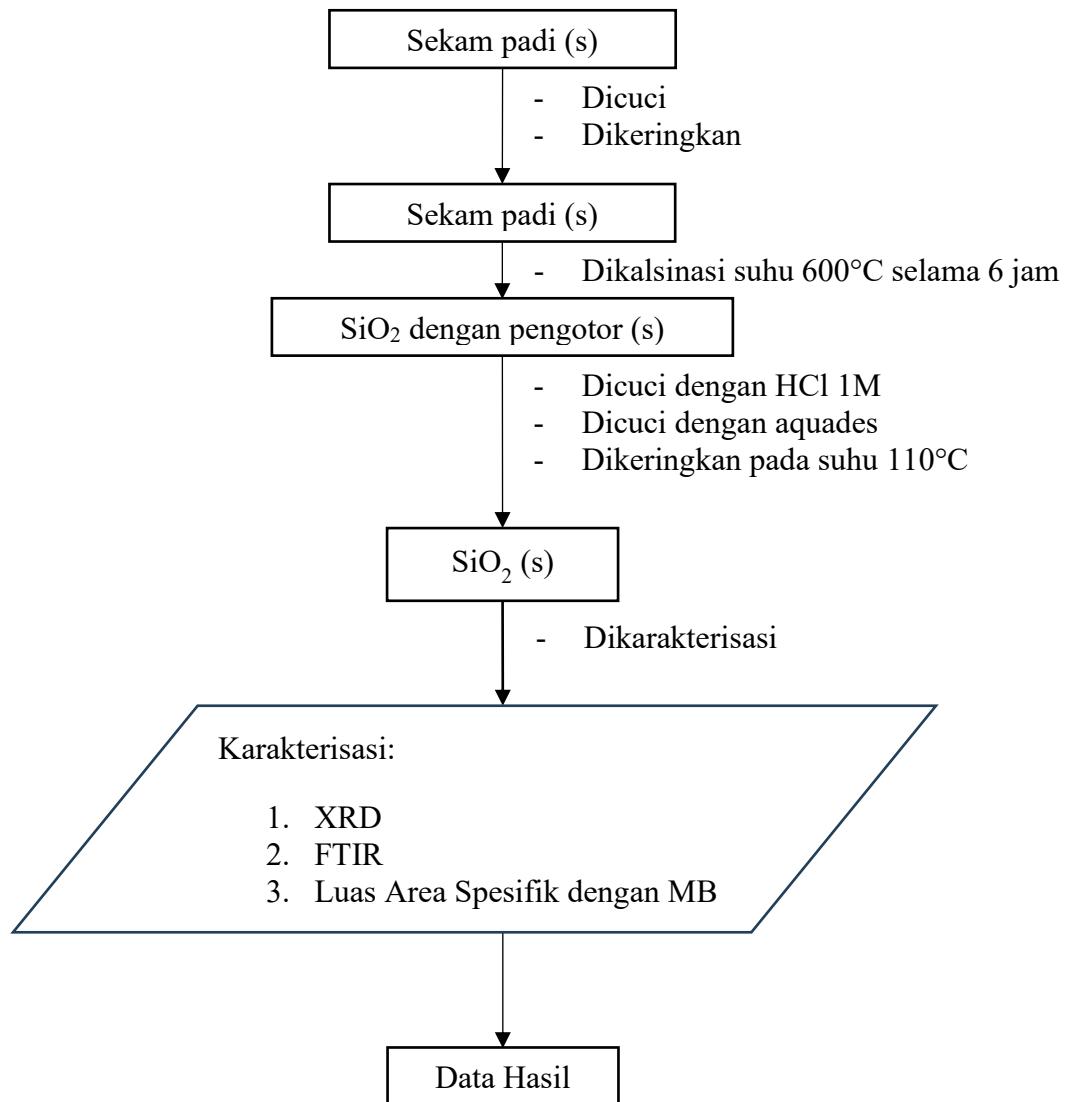
- cellulose nanocrystals/ZnO hybrids using acidified ZnCl<sub>2</sub> as cellulose hydrolytic media and ZnO precursor, *International Journal of Biological Macromolecules*, 227(November 2022), 863–871. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.12.107>
- Korotkova T. G, Ksandopulo S. J, Donenko A. P, Bushumov S. A, D. A. S., (2016), Physical Properties and Chemical Composition of the Rice Husk and Dust, *Orient J Chem 2016;32(6)*.  
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.13005/ojc/320644>
- Lagergren, S., (1898), Zur theorie der sogenannten adsorption geloster stoffe, *Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar*, 24(4), 1–39.
- Li, B., Hu, J., Xiong, H., & Xiao, Y., (2020), Application and Properties of Microporous Carbons Activated by ZnCl<sub>2</sub>: Adsorption Behavior and Activation Mechanism, *ACS Omega*, 5(16), 9398–9407. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c00461>
- Luo, Z., Zhu, S., Liu, Z., Liu, J., Huo, M., & Yang, W., (2015), Study of phosphate removal from aqueous solution by zinc oxide, *Journal of Water and Health*, 13(3), 704–713. <https://doi.org/10.2166/wh.2015.210>
- Malekmohammadi, S., Mirbagheri, A., & Ehteshami, M., (2016), Comparison of silica , activated carbon , and zeolite adsorbents in the removal of ammonium , iron , COD , turbidity and phosphate pollutants , and investigating the effect of discharge on the removal of pollutant, *International Journal of Humanities and Cultural Studies, August 2016*, 667–679.
- Maslukah, L., Zainuri, M., Wirasatriya, A., & Widiaratih, R., (2020), Studi Kinetika Adsorpsi Dan Desorpsi Ion Fosfat (Po42-) Di Sedimen Perairan Semarang Dan Jepara, *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(2), 385–396.  
<https://doi.org/10.29244/jitkt.v12i2.32392>
- Mei, Y., Zhuang, S., & Wang, J., (2025), Adsorption of heavy metals by biochar in aqueous solution: A review, *Science of the Total Environment*, 968(January), 178898.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178898>
- Mohamed, A. A., El-Shahat, M. F., & El-Shahat, A., (2017), Adsorption of heavy metals from aqueous solution using synthetic zeolite: Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(1), 196–205.  
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.12.017>
- Morris, H. R., (1982), Biomolecular mass spectrometry, In *International Journal of Mass Spectrometry and Ion Physics* (Vol. 45, Issue C).  
[https://doi.org/10.1016/0020-7381\(82\)80120-4](https://doi.org/10.1016/0020-7381(82)80120-4)
- Nayak, P. P., Nandi, S., & Datta, A. K., (2019), Comparative assessment of chemical treatments on extraction potential of commercial grade silica from rice husk, *Engineering Reports*, 1(2), 1–13. <https://doi.org/10.1002/eng2.12035>
- Putranto, A. W., Abida, S. H., Sholeh, A. B., & Azfa, H. T., (2021), The potential of rice husk ash for silica synthesis as a semiconductor material for monocrystalline solar cell: A review, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 733(1).  
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/733/1/012029>
- Raevskaya, A. E., Panasiuk, Y. V., Stroyuk, O. L., Kuchmiy, S. Y., Dzhagan, V. M., Milekhin, A. G., Yeryukov, N. A., Sveshnikova, L. A., Rodyakina, E. E., Plyusnin, V. F., & Zahn, D. R. T., (2014), Spectral and luminescent properties of ZnO-SiO<sub>2</sub> core-shell nanoparticles with size-selected ZnO cores, *RSC Advances*, 4(108), 63393–63401.  
<https://doi.org/10.1039/c4ra07959k>
- Safitri, O., Alrasyid, H., & Udyani, K., (2020), Pembuatan Silika Termodifikasi Dari Sekam Padi Sebagai Adsorben Logam Berat Pada Limbah Cair [Review], *Jurnal Envirotek*, 12(2), 19–24. <https://doi.org/10.33005/envirotek.v12i2.53>

- Setyawan, R. A., (2013), Pengertian dari adsorpsi, *Chemical Enginerring*.  
<http://chemical-enginerring.blogspot.com/2013/07/pengertian-dari-adsorpsi.html>
- Sharpley, A. N., Kleinman, P., & McDowell, R., (2001), Innovative management of agricultural phosphorus to protect soil and water resources, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32(7–8), 1071–1100. <https://doi.org/10.1081/CSS-100104104>
- Suhartati, T., (2017), Dasar-Dasar Spektrofotometri UV-Vis dan Spektrometri Massa Untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik, *Tangerang: CV Aura Anugrah Utama Raharja*.
- Sunihardi, & Hermanto., (2004), Laporan Tahunan Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, *Laporan tahunan 2013, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian*.
- Suyanta, S., & Kuncaka, A., (2011), Utilization of Rice Husk As Raw Material in Synthesis of Mesoporous Silicates Mcm-41, *Indonesian Journal of Chemistry*, 11(3), 279.  
<https://doi.org/10.22146/ijc.21393>
- Tanthapanichakoon, W., Ariyadejwanich, P., Japthong, P., Nakagawa, K., Mukai, S. R., & Tamon, H., (2005), Adsorption-desorption characteristics of phenol and reactive dyes from aqueous solution on mesoporous activated carbon prepared from waste tires, *Water Research*, 39(7), 1347–1353. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.12.044>
- Tewari, B. B., & Boodhoo, M. V., (2005), Studies in adsorption: Measurement of external specific surface area of metal ferrocyanides by methylene blue dye adsorption, *Main Group Metal Chemistry*, 28(1), 23–29. <https://doi.org/10.1515/MGMC.2005.28.1.23>
- Thi Luyen, N., Van Nguyen, K., Van Dang, N., Quang Huy, T., Hoai Linh, P., Thanh Trung, N., Nguyen, V. T., & Thanh, D. Van., (2023), Facile One-Step Pyrolysis of ZnO/Biochar Nanocomposite for Highly Efficient Removal of Methylene Blue Dye from Aqueous Solution, *ACS Omega*, 8(30), 26816–26827. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c01232>
- Tiandho, Y., Afriani, F., Evi, J., Lingga, R., & Handoyo., (2021), Kinetic evaluation of methylene blue decolorization by CuO as a Fenton-like catalyst, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 926(1).  
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/926/1/012103>
- UNEP., (2016), A Snapshot of the World 's Water Quality : Towards a global assessment Table of Contents A Snapshot of the World 's Water Quality : Towards a global assessment, *United Nations Environment Programme*, 162.
- Widjonarko, D. M., Jumina, Kartini, I., & Nuryono., (2014), Phosphonate modified silica for adsorption of Co(II), Ni(II), Cu(II), and Zn(II), *Indonesian Journal of Chemistry*, 14(2), 143–151. <https://doi.org/10.22146/ijc.21251>
- Xu, K., Deng, T., Liu, J., & Peng, W., (2010), Study on the phosphate removal from aqueous solution using modified fly ash, *Fuel*, 89(12), 3668–3674.  
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.07.034>
- Zhang, F., Lan, J., Yang, Y., Wei, T., Tan, R., & Song, W., (2013), Adsorption behavior and mechanism of methyl blue on zinc oxide nanoparticles, *Journal of Nanoparticle Research*, 15(11), 2034. <https://doi.org/10.1007/s11051-013-2034-2>
- Zhao, Y., Yuan, P. Q., Xu, X. R., & Yang, J., (2023), Removal of Phosphate by Adsorption with 2-Phenylimidazole-Modified Porous ZIF-8: Powder and Chitosan Spheres, *ACS Omega*, 8(31), 28436–28447. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c02671>

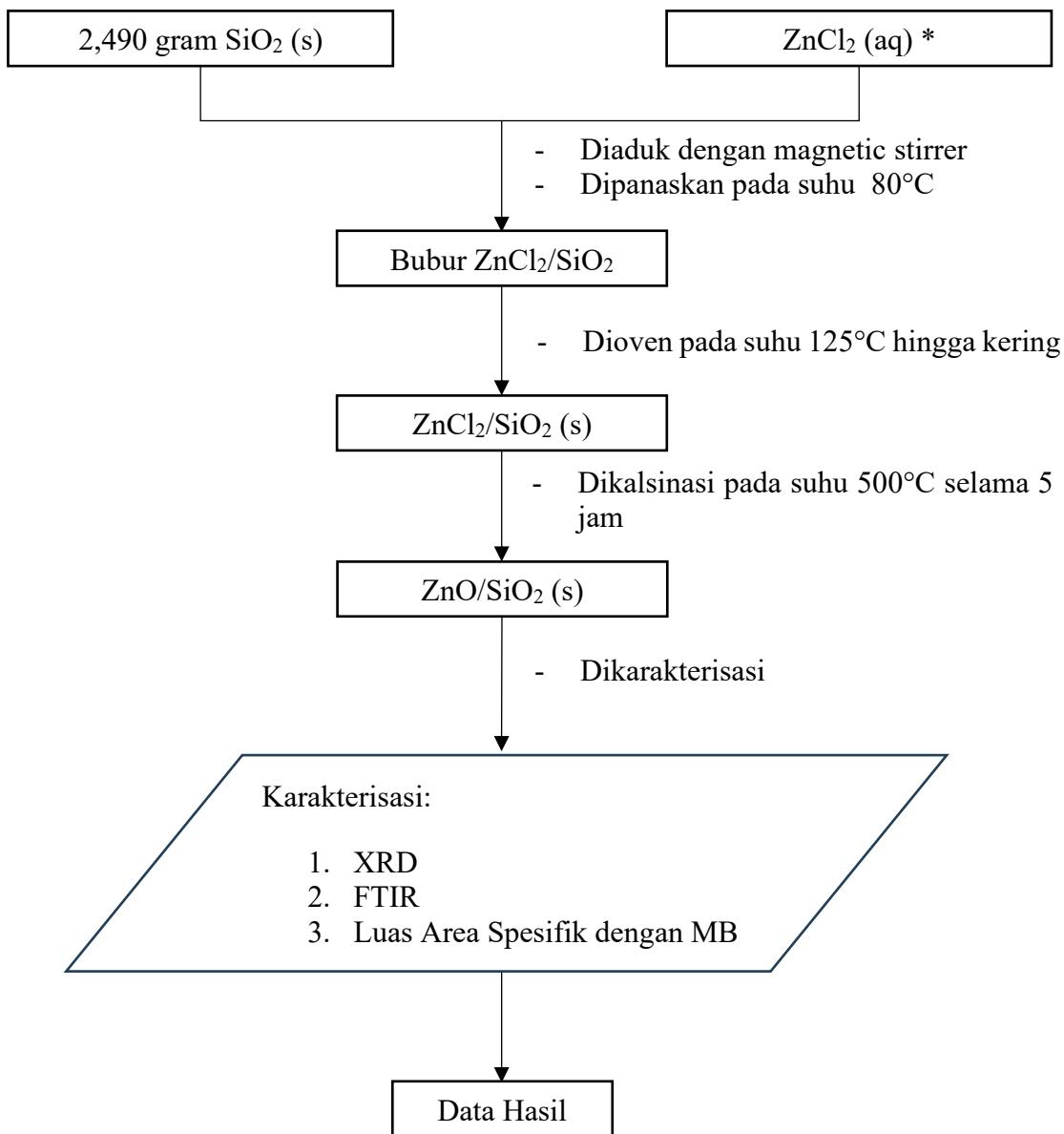
## LAMPIRAN A

### Skema Kerja

#### 1. Ekstraksi SiO<sub>2</sub> dari Sekam Padi



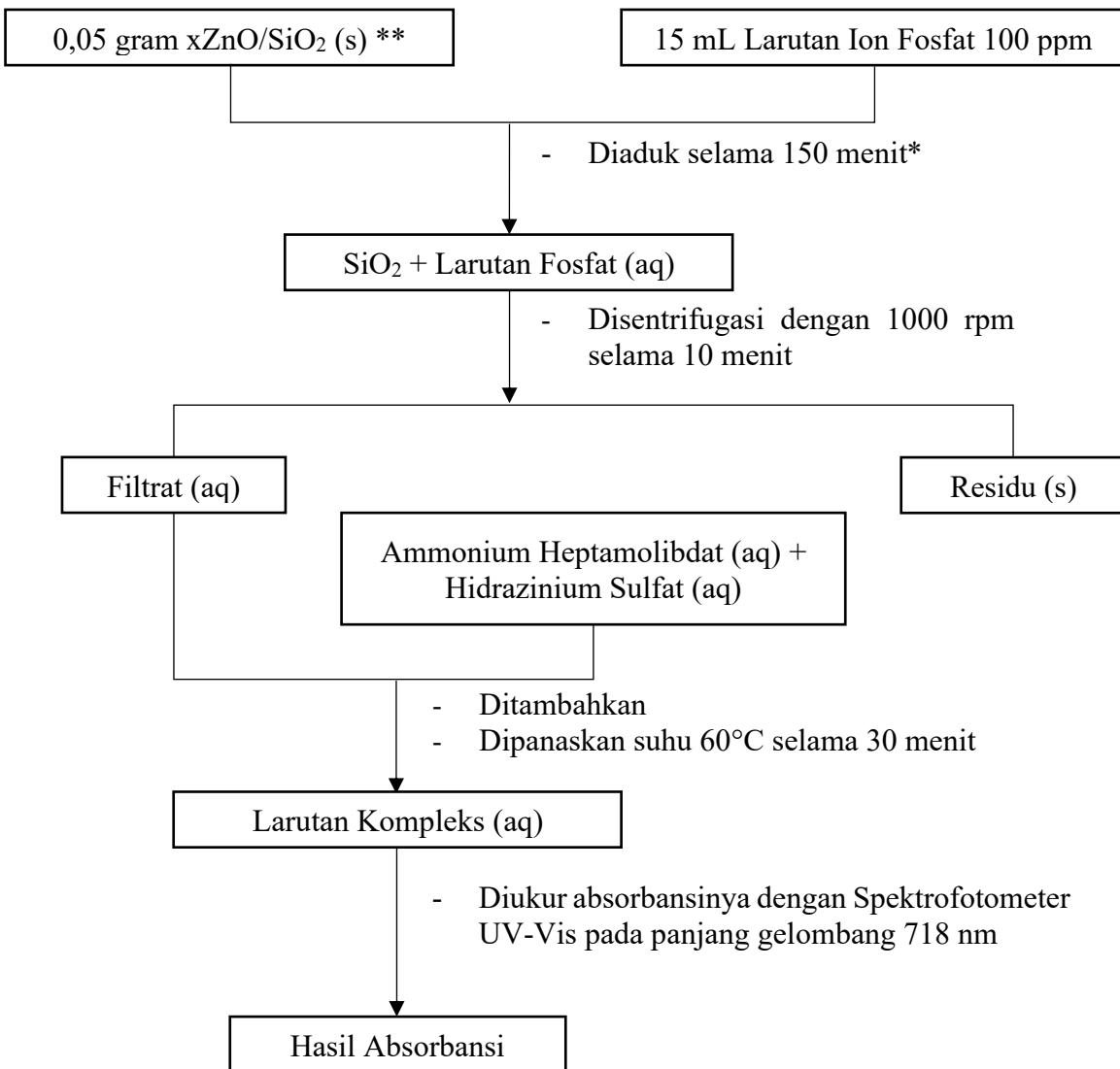
## 2. Sintesis ZnO/SiO<sub>2</sub>



Keterangan:

\* ZnCl<sub>2</sub> yang digunakan 0,0167; 0,0251; 0,0335; 0,0419; dan 0,050 gram

### 3. Adsorpsi Ion Fosfat dengan Adsorben



Keterangan:

\* dilakukan dengan variasi waktu adsorpsi (60, 90, 120, 150, 180, dan 210 menit)

\*\* setelah diperoleh waktu optimum, dilakukan untuk adsorben xZnO/SiO<sub>2</sub> dan variasi dosis adsorben (0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; dan 0,5 gram)

# LAMPIRAN B

## Database JCPDS-International Centre of Diffraction Data

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

82-1410		Wavelength= 1.54060								C				
2 <sub>θ</sub>	Int	h	k	l	2 <sub>θ</sub>	Int	h	k	l	2 <sub>θ</sub>	Int	h	k	l
SiO <sub>2</sub>					22.044	999*	1	0	1	65.245	18	3	1	2
Silicon Oxide					25.349	10	1	1	0	65.915	14	2	0	4
Cristobalite β, syn					28.507	97	1	1	1	67.032	13	2	2	3
Rad.: CuKα1 λ: 1.54060 Filter: d-sp: Calculated					31.568	123	1	0	2	68.028	1	3	2	0
Cut off: 17.7 Int.: Calculated I/Icor.: 4.95					36.154	140	2	0	0	68.903	24	2	1	4
Ref: Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)					36.498	33	1	1	2	69.563	13	3	2	1
Ref: Parise, J.B et al., J. Appl. Phys., 75, 1381 (1994)					38.513	1	2	0	1	69.896	6	3	0	3
Sys.: Tetragonal S.G.: P4 <sub>1</sub> 2 <sub>1</sub> 2 (92)					40.699	1	2	1	0	70.860	22	1	0	5
a: 4.9849(1) b: c: 6.8954(1) A: C: 1.3888					42.750	30	2	1	1	72.906	27	3	1	3
α: β: γ: Z: 4 mp:					43.348	1	1	0	3	73.756	1	1	1	5
Ref: Ibid.					44.961	20	2	0	2	74.079	25	3	2	2
Dx: 2.348 Dm: ICSD #: 075490					47.228	54	1	1	3	76.719	1	4	0	0
					48.742	52	2	1	2	77.555	7	2	2	4
					52.058	6	2	2	0	78.185	11	4	0	1
					53.083	10	0	0	4	79.538	14	4	1	0
					53.850	1	2	2	1	80.385	1	3	0	4
					54.352	27	2	0	3	80.990	5	4	1	1
					56.461	5	1	0	4	81.401	14	3	2	3
					57.197	36	3	0	1	82.224	16	2	1	5
					57.680	9	2	1	3	82.537	10	4	0	2
					58.763	6	3	1	0	83.163	10	3	1	4
					59.001	5	2	2	2	83.773	4	3	3	1
Peak height intensity, R-factor: 0.041. O2 Si type. PSC: tP12. See PDF 39-1425. At least one TF implausible. Structural reference: Parise, J.B et al., J. Appl. Phys., 75, 1381 (1994). Mwt: 60.08. Volume[CD]: 169.97.					59.711	1	1	4		85.312	1	4	1	2
					60.421	29	3	1	1	86.943	1	1	0	6
					62.168	36	3	0	2	87.871	1	4	2	0

2<sub>θ</sub>      Int    h    k    l

88.075	6	3	3	2
89.302	11	4	2	1
89.703	22	1	1	6
89.703	4	0	3	

 2001 JCPDS-International Centre for Diffraction Data. All rights reserved  
PCPDFWIN v. 2.2

### 2. ZnO

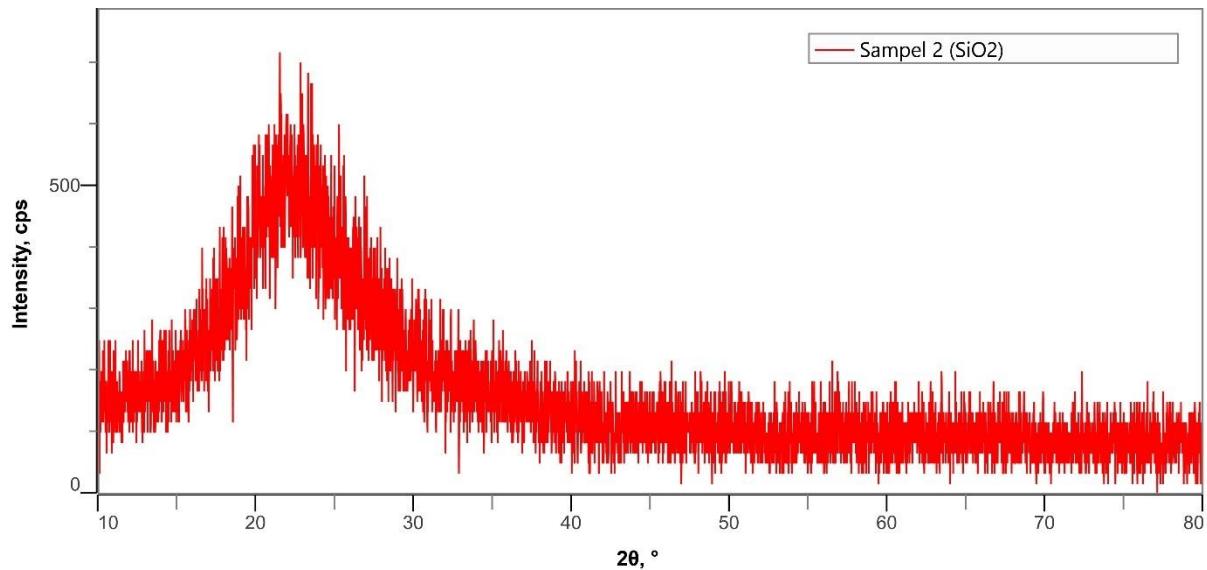
75-1533		Wavelength= 1.54060								C				
2 <sub>θ</sub>	Int	h	k	l	2 <sub>θ</sub>	Int	h	k	l	2 <sub>θ</sub>	Int	h	k	l
ZnO					30.765	567	1	0	0					
Zinc Oxide					34.291	367	0	0	2					
Zincite					35.350	999*	1	0	1					
Rad.: CuKα1 λ: 1.54060 Filter: d-sp: Calculated					46.742	193	1	0	2					
Cut off: 17.7 Int.: Calculated I/Icor.: 5.37					54.741	300	1	1	0					
Ref: Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)					62.094	244	1	0	3					
Ref: Weber, L. Z. Kristallogr., Kristallgeom., Kristallphys., Kristallchem., 58, 398 (1923)					64.128	39	2	0	0					
Sys.: Hexagonal S.G.: P6 <sub>3</sub> mc (186)					66.205	195	1	1	2					
a: 3.351 b: c: 5.226 A: C: 1.5696					66.864	103	2	0	1					
α: β: γ: Z: 2 mp:					72.256	14	0	0	4					
Ref: Ibid.					74.778	29	2	0	2					
Dx: 5.318 Dm: 5.700 ICSD #: 031060					80.569	14	1	0	4					
					87.404	59	2	0	3					
					89.219	40	2	1	0					

Peak height intensity. S Zn type. PSC: hP4. Calc. density unusual but tolerable. No R value given. At least one TF missing. Structural reference: Weber, L. Z. Kristallogr., Kristallgeom., Kristallphys., Kristallchem., 58, 398 (1923). Mwt: 81.38. Volume[CD]: 50.82.

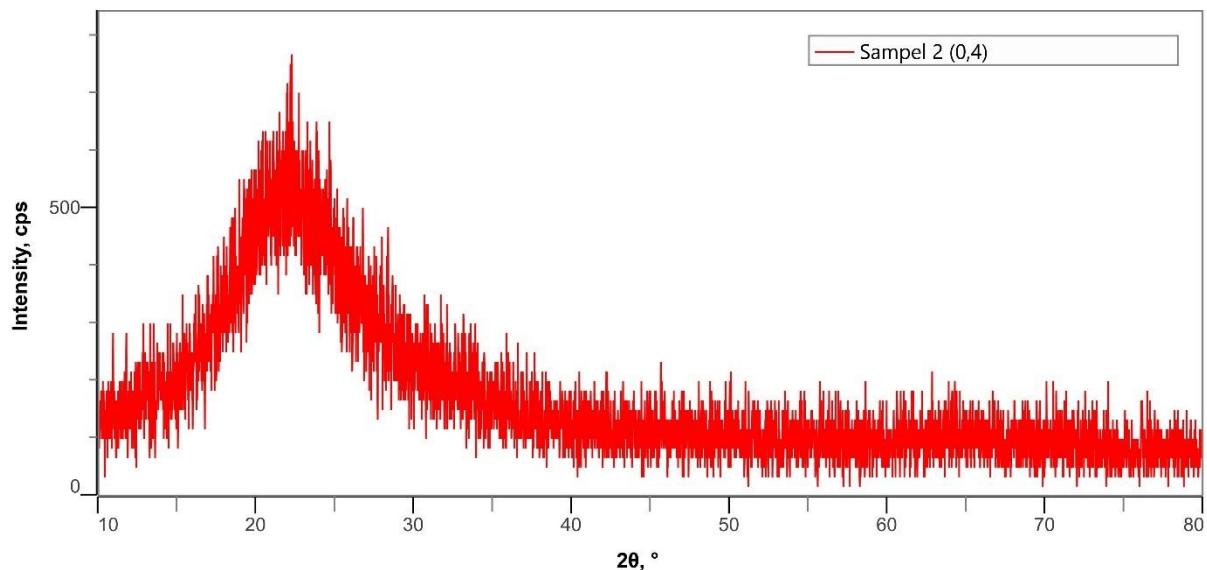
 2001 JCPDS-International Centre for Diffraction Data. All rights reserved  
PCPDFWIN v. 2.2

**LAMPIRAN C**  
**Data Hasil Karakterisasi**

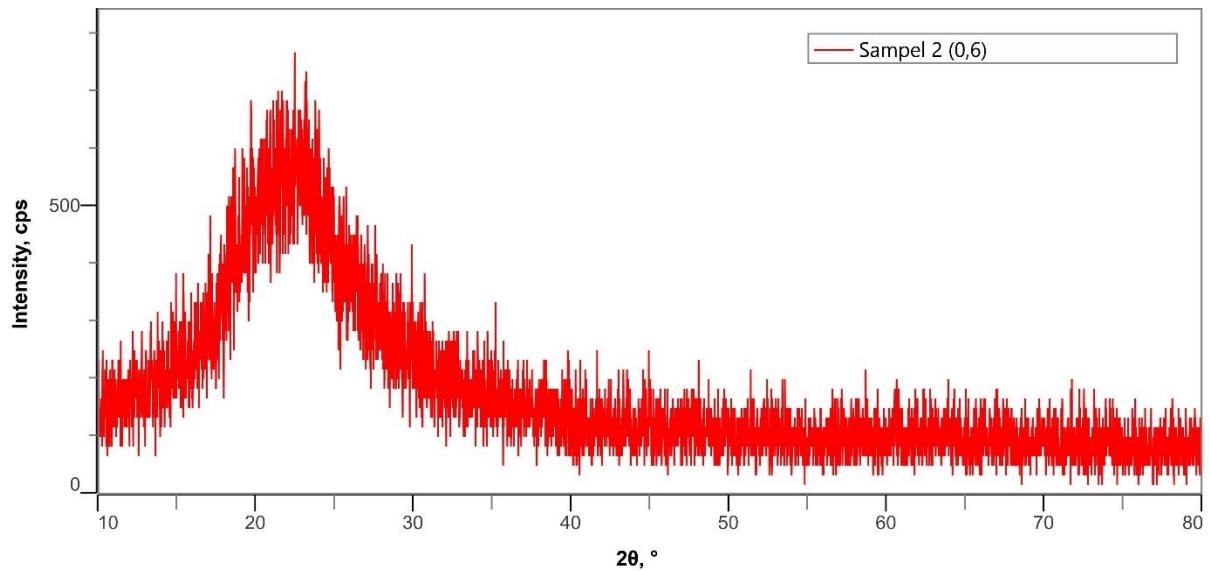
**1. Hasil Karakterisasi XRD SiO<sub>2</sub>**



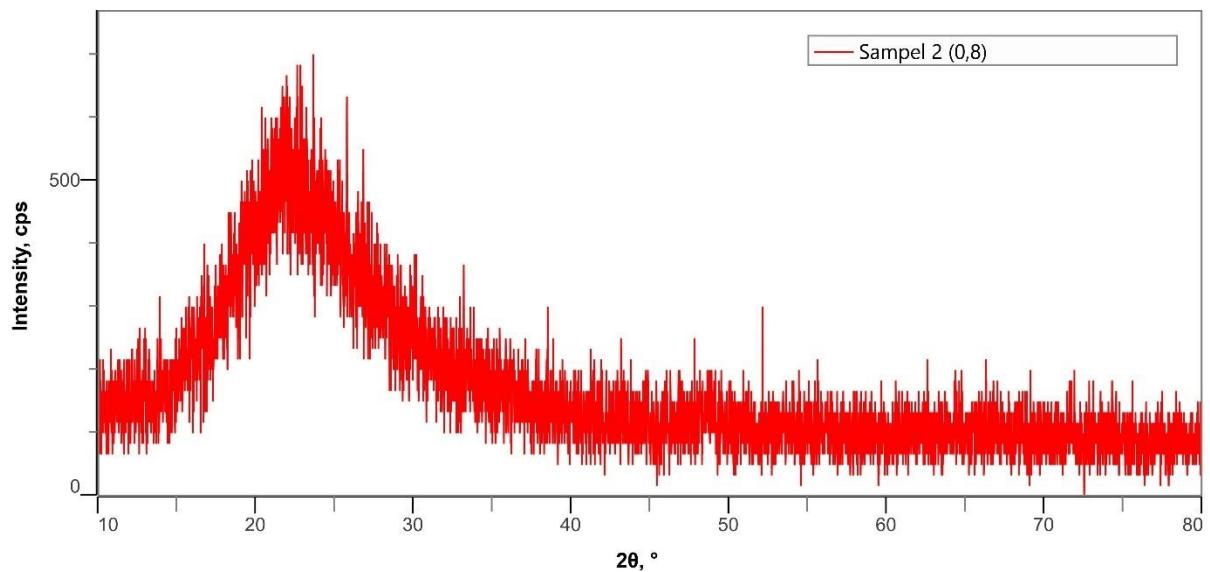
**2. Hasil Karakterisasi XRD 0,4ZnO/SiO<sub>2</sub>**



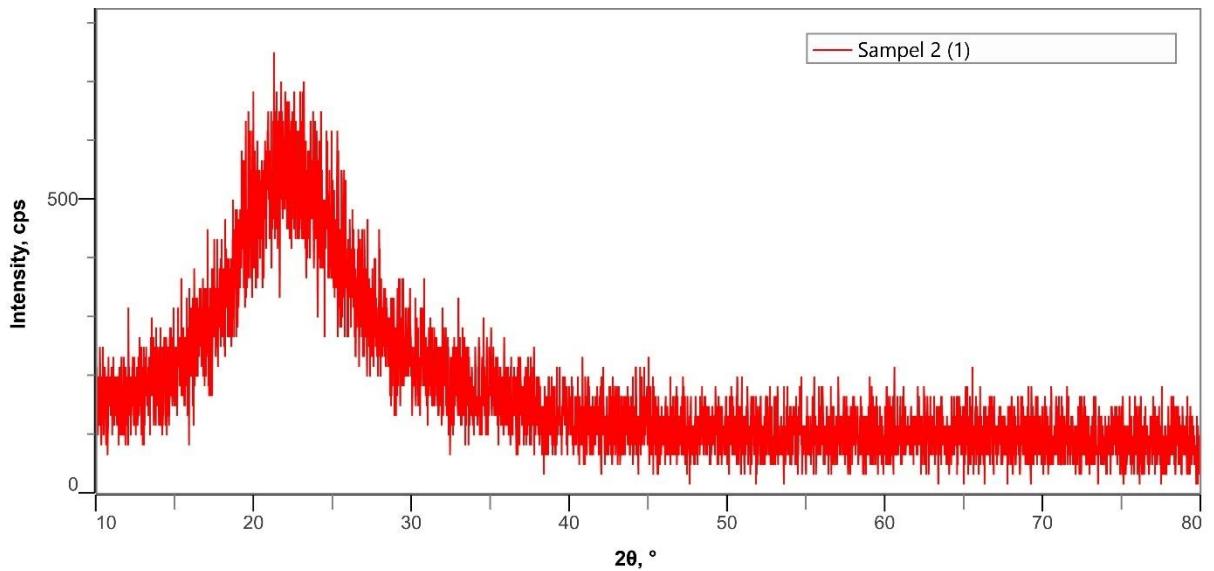
### 3. Hasil Karakterisasi XRD 0,6ZnO/SiO<sub>2</sub>



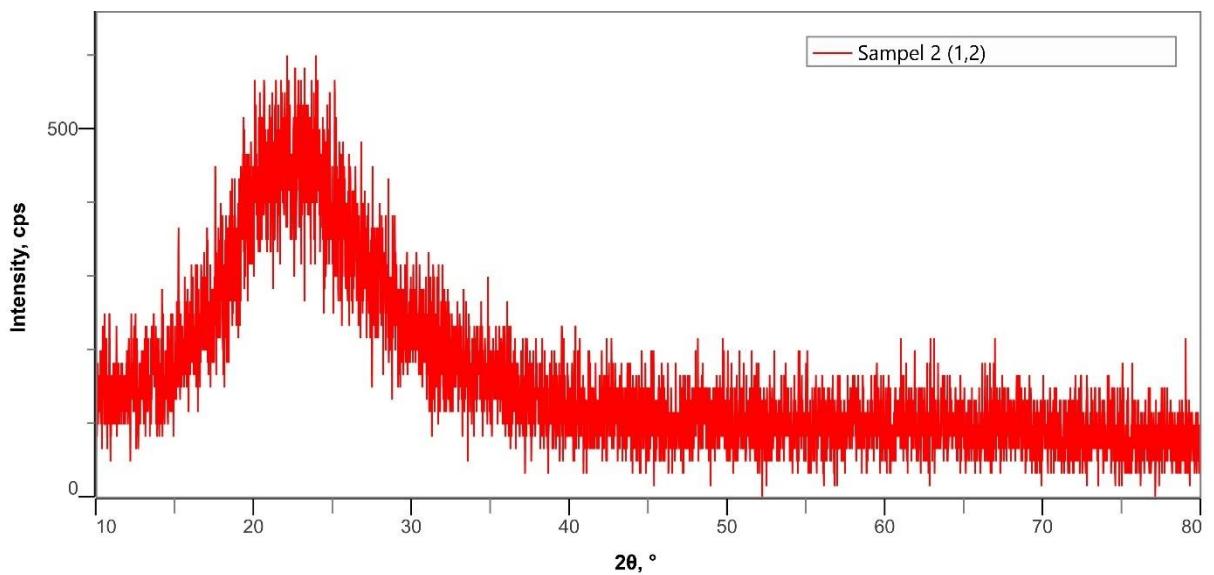
### 4. Hasil Karakterisasi XRD 0,8ZnO/SiO<sub>2</sub>



## 5. Hasil Karakterisasi XRD 1,0ZnO/SiO<sub>2</sub>

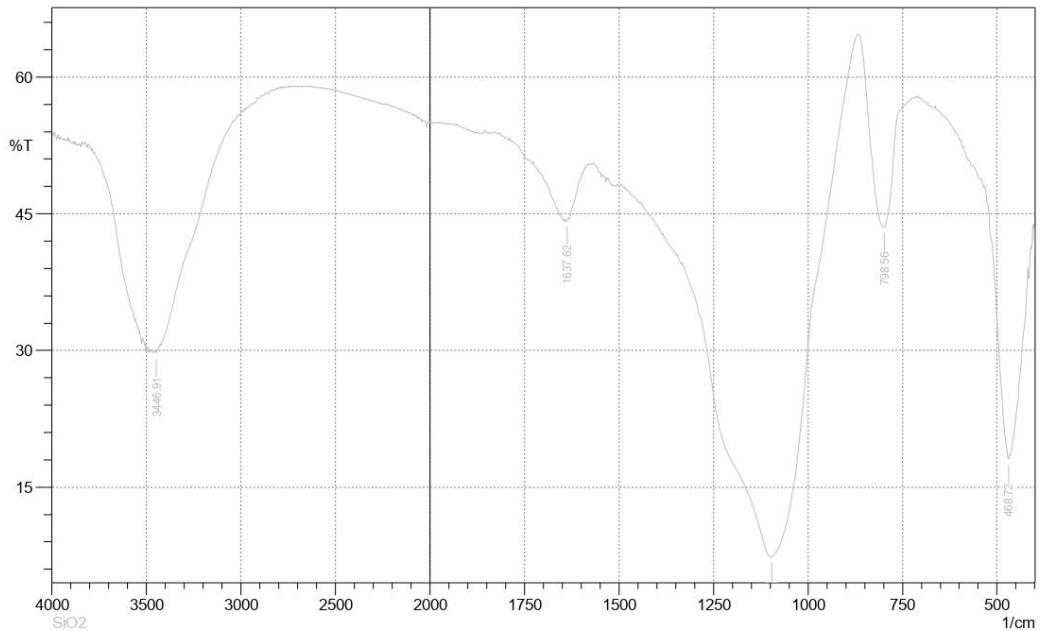


## 6. Hasil Karakterisasi XRD 1,2ZnO/SiO<sub>2</sub>



## 7. Hasil Spektra FTIR SiO<sub>2</sub>

 SHIMADZU



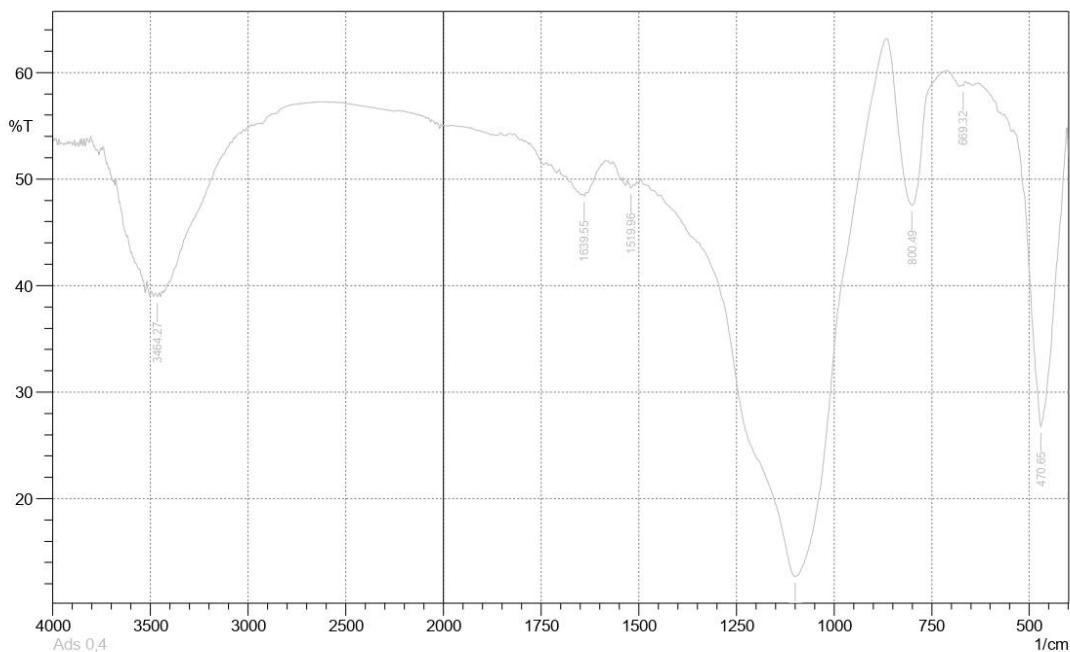
	<b>Peak</b>	<b>Intensity</b>	<b>Corr. Intensity</b>	<b>Base (H)</b>	<b>Base (L)</b>	<b>Area</b>	<b>Corr. Area</b>
1	468.72	18.097	24.931	542.02	418.57	64.786	20.273
2	798.56	43.505	17.849	866.07	725.26	39.522	9.401
3	1095.6	7.379	45.025	1332.86	868	293.826	156.546
4	1637.62	44.287	0.085	1639.55	1633.76	2.043	0.003
5	3446.91	29.739	0.397	3452.7	3425.69	14.05	0.058

Comment:  
SiO<sub>2</sub>

Date/Time; 6/17/2025 11:15:16 AM  
No. of Scans;  
Resolution;  
Apodization;

## 8. Hasil Spektra FTIR 0,4ZnO/SiO<sub>2</sub>

 SHIMADZU



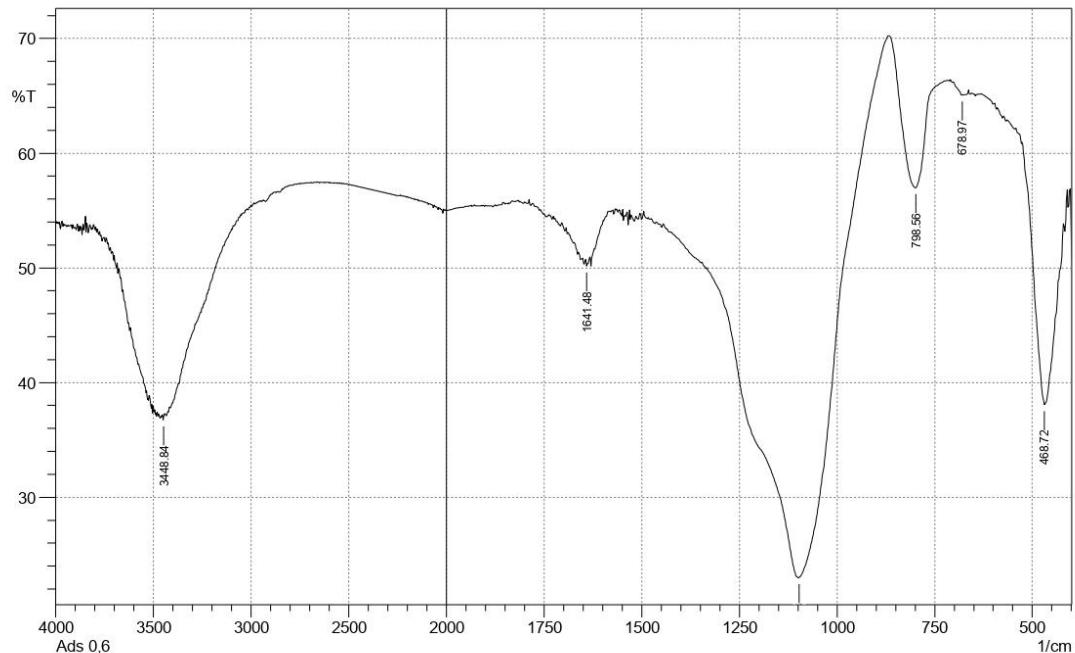
	<b>Peak</b>	<b>Intensity</b>	<b>Corr. Intensity</b>	<b>Base (H)</b>	<b>Base (L)</b>	<b>Area</b>	<b>Corr. Area</b>
1	470.65	26.768	27.848	540.09	405.06	54.13	18.662
2	669.32	58.771	0.187	673.18	663.53	2.215	0.005
3	800.49	47.559	14.244	866.07	721.4	37.636	7.234
4	1099.46	12.712	44.529	1442.8	866.07	286.627	138.556
5	1519.96	49.163	0.467	1529.6	1514.17	4.719	0.032
6	1639.55	48.422	0.224	1643.41	1635.69	2.424	0.009
7	3464.27	38.937	0.385	3475.84	3454.62	8.644	0.042

Comment;  
Ads 0,4

Date/Time; 6/17/2025 10:35:16 AM  
No. of Scans;  
Resolution;  
Apodization;

## 9. Hasil Spektra FTIR 0,6ZnO/SiO<sub>2</sub>

 SHIMADZU



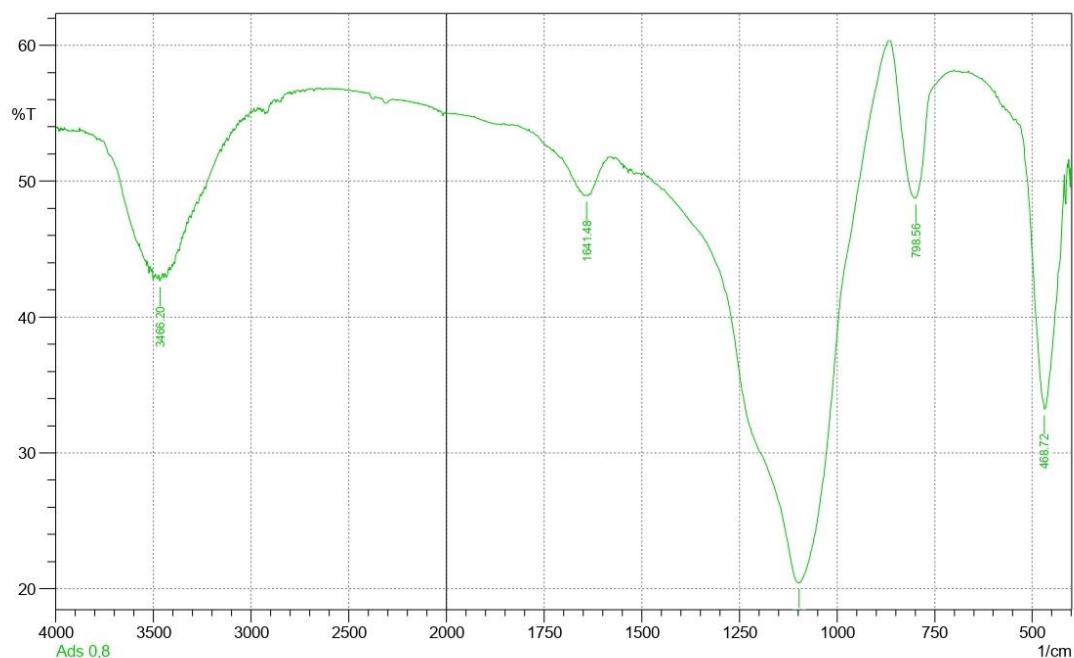
	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	468.72	38.064	18.981	524.66	420.5	34.619	9.296
2	678.97	65.077	0.188	702.11	675.11	4.96	0.025
3	798.56	57	11.345	868	725.26	28.68	5.012
4	1097.53	22.995	37.278	1332.86	868	184.903	79.514
5	1641.48	50.138	0.652	1643.41	1631.83	3.431	0.032
6	3448.84	36.749	0.51	3454.62	3444.98	4.16	0.023

Comment;  
Ads 0,6

Date/Time; 6/17/2025 9:22:50 AM  
No. of Scans;  
Resolution;  
Apodization;

## 10. Hasil Spektra FTIR 0,8ZnO/SiO<sub>2</sub>

 SHIMADZU



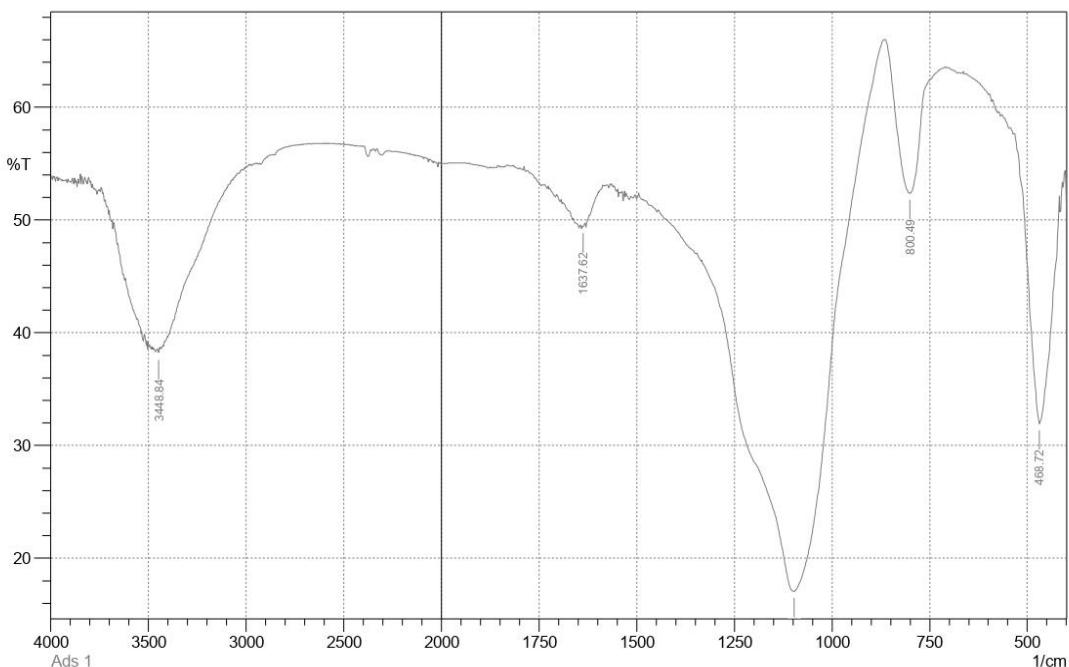
	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	468.72	33.246	18.889	542.02	418.57	45.637	11.034
2	798.56	48.761	10.603	868	709.83	41.603	5.61
3	1097.53	20.455	35.525	1442.8	868	247.598	96.641
4	1641.48	48.961	0.014	1643.41	1639.55	1.196	0
5	3466.2	42.654	0.315	3471.98	3462.34	3.55	0.015

Comment;  
Ads 0,8

Date/Time; 6/17/2025 9:26:50 AM  
No. of Scans;  
Resolution;  
Apodization;

## 11. Hasil Spektra FTIR 1,0ZnO/SiO<sub>2</sub>

 SHIMADZU



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	468.72	31.935	22.637	532.37	418.57	42.728	12.984
2	800.49	52.37	12.429	864.14	725.26	32.125	5.839
3	1097.53	17.069	39.225	1332.86	866.07	218.482	98.741
4	1637.62	49.397	0.127	1639.55	1631.83	2.353	0.004
5	3448.84	38.169	0.431	3454.62	3444.98	4.008	0.02

Comment;

Ads 1

Date/Time; 6/17/2025 9:37:06 AM

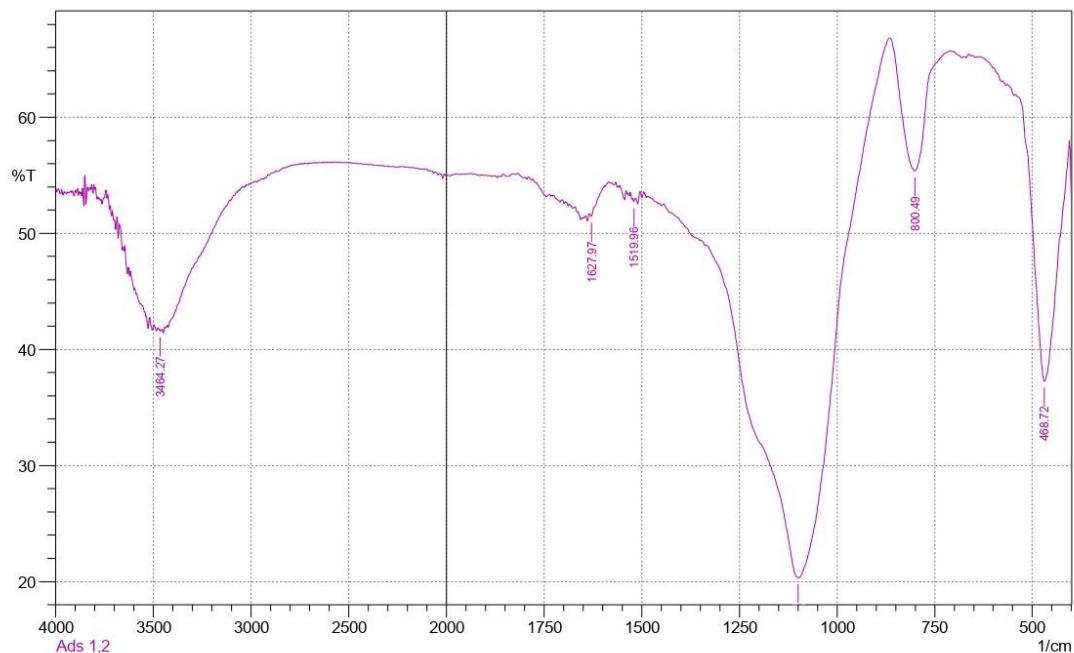
No. of Scans;

Resolution;

Apodization;

## 12. Hasil Spektra FTIR 1,2ZnO/SiO<sub>2</sub>

 SHIMADZU



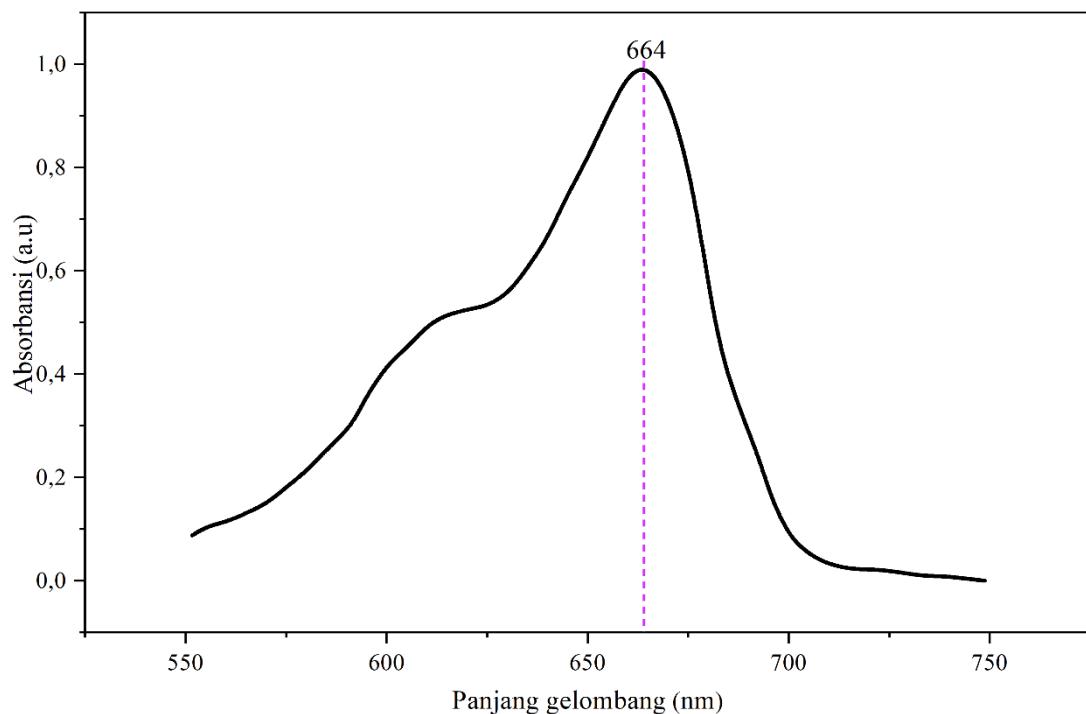
	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	468.72	37.24	22.592	542.02	405.06	42.792	12.322
2	800.49	55.39	10.985	864.14	709.83	32.62	5.052
3	1099.46	20.331	37.612	1334.78	866.07	199.313	85.781
4	1519.96	52.741	0.279	1523.82	1516.1	2.135	0.009
5	1627.97	51.466	0.567	1633.76	1595.18	10.715	0.032
6	3464.27	41.581	0.173	3470.06	3454.62	5.869	0.016

Comment;  
Ads 1,2

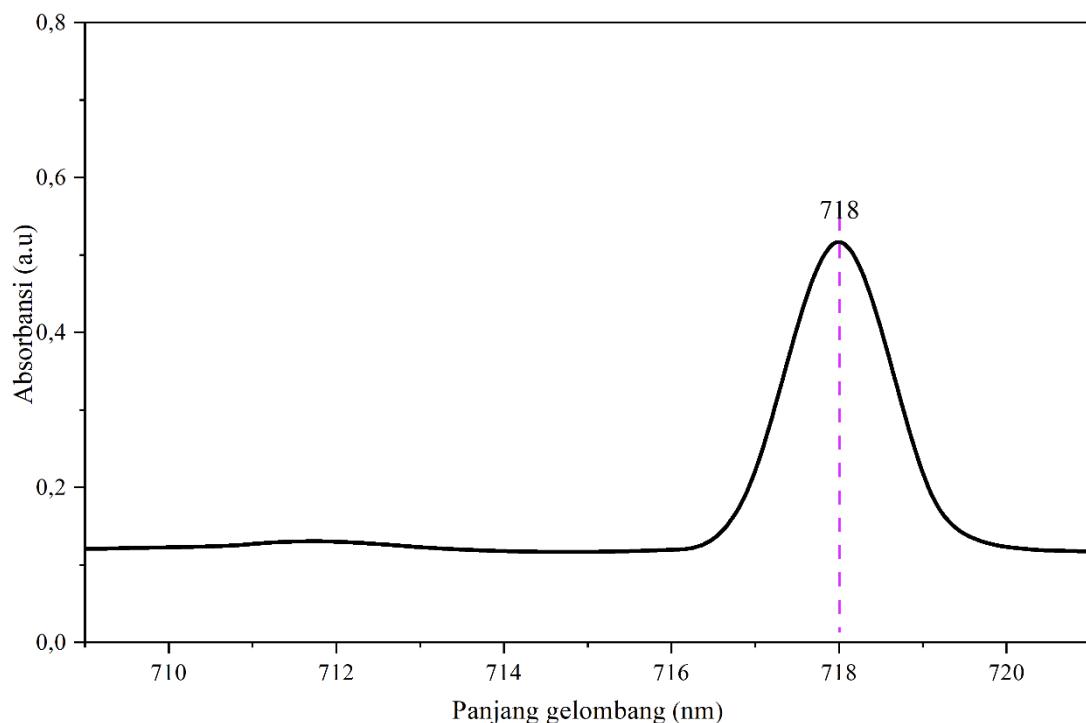
Date/Time; 6/17/2025 10:00:28 AM  
No. of Scans;  
Resolution;  
Apodization;

**LAMPIRAN D**  
**Grafik Panjang Gelombang Maksimum**

**1. Metilen Biru**



**2. Ion Fosfat**



## LAMPIRAN E

### Perhitungan

#### 1. Perhitungan Pembuatan Larutan Standar dan Kurva Kalibrasi

##### a. Pembuatan Larutan

- **Larutan stok MB 100 ppm**

Larutan MB 100 mg/L jika dibuat dalam 100 mL, maka diperlukan MB sebesar

$$m \text{ MB} = \frac{100}{1000} \times 100 \text{ mg} = 10 \text{ mg}$$

- **Larutan stok ion fosfat 100 ppm dari KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>**

100 ppm larutan PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> = 100 mg/L

Mr KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> = 136,086 g/mol

Mr PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> = 94,97 g/mol

$$\begin{aligned} m \text{ PO}_4^{3-} &= \text{ppm} \times V \\ &= 100 \text{ mg/L} \times 1 \text{ L} \\ &= 0,1 \text{ gram} \end{aligned}$$

Perhitungan massa KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>

$$\begin{aligned} \frac{m \text{ PO}_4^{3-}}{m \text{ KH}_2\text{PO}_4} &= \frac{\text{Mr PO}_4^{3-}}{\text{Mr KH}_2\text{PO}_4} \\ m \text{ KH}_2\text{PO}_4 &= \frac{\text{Mr KH}_2\text{PO}_4}{\text{Mr PO}_4^{3-}} \times m \text{ PO}_4^{3-} \\ &= \frac{136,086 \text{ g/mol}}{94,97 \text{ g/mol}} \times 0,1 \text{ g} \end{aligned}$$

m KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> = 0,14329 gram

- **Pembuatan larutan stok HCl 1M**

$$M = \frac{\rho \times 10 \times \%}{\text{Mr}} = \frac{1,19 \times 10 \times 37}{36,5} = 12,06 \text{ M}$$

Diencerkan ke 1M

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

$$12,06 \times V_1 = 1 \times 1000$$

$$V_1 = \frac{1 \times 1000}{12,06} = 82,9 \text{ mL}$$

##### b. Kurva Kalibrasi

- **Kurva kalibrasi MB**

Konsentrasi MB (mg/L)	Absorbansi (a.u)
0,0	0,0000
0,4	0,0670
0,5	0,0840
0,6	0,1070
0,8	0,1380
1,0	0,1830

▪ Kurva kalibrasi ion fosfat

Konsentrasi Ion Fosfat (mg/L)	Absorbansi (a.u)
0,01	0,1470
0,03	0,1980
0,05	0,2580
0,07	0,3120
0,10	0,4130

2. Perhitungan Luas Area Spesifik

a.  $\text{SiO}_2$

Diketahui kurva kalibrasi MB dengan persamaan regresi linear  $y = 0,1814x - 0,0033$  dengan  $R^2 = 0,9965$  sehingga diperoleh konsentrasi MB sisa sebesar 0,8693 mg/L. Dalam 15 mL MB terdapat 0,01304 mg dengan MB mula-mula 10 mg yang diperoleh dengan persamaan berikut.

$$\text{MB}_{\text{sisa}} = \frac{15 \text{ mL}}{1000} \times 0,8693 \text{ mg/L} = 0,01304 \text{ mg}$$

Apabila Mr MB adalah 373,9 g/mol, maka diperoleh mol MB sisa adalah

$$n_{\text{MB}_{\text{sisa}}} = \frac{\text{g}}{\text{Mr}} = \frac{0,01304 \text{ mg}}{373,9 \text{ g/mol}} = 3,49 \times 10^{-5} \text{ mmol}$$

Kapasitas penyerapan  $\text{SiO}_2$  dalam MB dengan mol MB mula-mula  $60,18 \times 10^{-5}$  mmol adalah sebagai berikut.

$$n_{\text{mula}} - n_{\text{sisa}} = 60,18 \times 10^{-5} - 3,49 \times 10^{-5} \text{ mmol} = 56,69 \times 10^{-5} \text{ mmol}$$

$$X_m = \frac{n_{\text{MB}}}{\text{g SiO}_2} = \frac{56,69 \times 10^{-5} \text{ mmol}}{5 \times 10^{-2} \text{ g}} = 1,13 \times 10^{-5} \text{ mol/g}$$

Luas area spesifik dari  $\text{SiO}_2$  dihitung dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \text{SSA} &= X_m \times N \times A \\ &= \left(1,13 \times 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{g}}\right) \times \left(6,02 \times 10^{23}\right) \times \left(130 \times 10^{-20} \text{ m}^2\right) \\ &= 8,8730 \text{ m}^2/\text{g} \end{aligned}$$

dimana

$X_m$  : kapasitas monolayer (mol/g)

N : bilangan avogadro ( $6,02 \times 10^{23}$ )

A : luas area molekul MB ( $130 \times 10^{-20} \text{ m}^2$ )

b.  $x\text{ZnO}/\text{SiO}_2$

Persamaan regresi linear  $y = 0,1814x - 0,0033$  dengan  $R^2 = 0,9965$  digunakan untuk menghitung luas area spesifik  $x\text{ZnO}/\text{SiO}_2$ . Sebagai contoh dilakukan perhitungan pada 0,4  $\text{ZnO}/\text{SiO}_2$  sehingga diperoleh konsentrasi MB sisa sebesar 0,5472 mg/L. Dalam 15 mL MB terdapat 0,00821 mg yang diperoleh dengan persamaan berikut.

$$\text{MB}_{\text{sisa}} = \frac{15 \text{ mL}}{1000} \times 0,5472 \text{ mg/L} = 0,00821 \text{ mg}$$

Apabila Mr MB adalah 373,9 g/mol, maka diperoleh mol MB sisa adalah

$$n_{\text{MB}_{\text{sisa}}} = \frac{\text{g}}{\text{Mr}} = \frac{0,00821 \text{ mg}}{373,9 \text{ g/mol}} = 2,195 \times 10^{-5} \text{ mmol}$$

Kapasitas penyerapan  $\text{SiO}_2$  dalam MB dengan mol MB mula-mula  $60,18 \times 10^{-5}$  mmol adalah sebagai berikut.

$$n_{\text{mula}} - n_{\text{sisa}} = 60,18 \times 10^{-5} - 2,195 \times 10^{-5} \text{ mmol} = 57,98 \times 10^{-5} \text{ mmol}$$

$$X_m = \frac{n_{\text{MB}}}{\text{g SiO}_2} = \frac{57,98 \times 10^{-5} \text{ mmol}}{5 \times 10^{-2} \text{ g}} = 1,16 \times 10^{-5} \text{ mol/g}$$

Luas area spesifik dari  $\text{SiO}_2$  dihitung dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{SSA} &= X_m \times N \times A \\
 &= \left(1,16 \times 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{g}}\right) \times \left(6,02 \times 10^{23}\right) \times \left(130 \times 10^{-20} \text{m}^2\right) \\
 &= 9,0751 \text{ m}^2/\text{g}
 \end{aligned}$$

### 3. Sintesis ZnO/SiO<sub>2</sub>

- Mr ZnCl<sub>2</sub> = 137 g/mol
- Mr ZnO = 82 g/mol

1 gram SiO<sub>2</sub> dapat menampung ZnO maksimum 9,545 mg dari pengukuran luas permukaan, sehingga dalam 100 mg adsorben terdapat 0,9545 mg ZnO dan 99,0455 mg SiO<sub>2</sub>. Apabila target sintesis 1,55 g untuk masing-masing variasi, maka

- **Perhitungan mol sintesis variasi 0,4 mg ZnO**

$$n = \frac{0,4}{\text{Mr ZnO}} = \frac{0,4}{82 \text{ g/mol}} = 0,00491 \text{ mmol}$$

1 mol ZnO = 1 mol Zn, sehingga diperlukan 0,00491 mmol ZnCl<sub>2</sub>

- **Perhitungan prekursor yang dibutuhkan**

- a. ZnCl<sub>2</sub>

Massa yang dibutuhkan :

$$m = n \times \text{Mr ZnCl}_2 = 0,00491 \text{ mmol} \times 137 \text{ g/mol} = 0,66994 \text{ mg}$$

Jika dibutuhkan 1550 mg sampel, maka ZnCl<sub>2</sub> yang dibutuhkan yaitu

$$\frac{1550 \text{ mg}}{100} \times \frac{0,4 \text{ mg}}{82 \text{ g/mol}} = 0,07607 \text{ mmol}$$

$$m \text{ ZnCl}_2 = 0,07607 \text{ mmol} \times 137 \text{ g/mol} = 10,3840 \text{ mg}$$

- b. SiO<sub>2</sub>

Massa yang dibutuhkan :

Jika diperlukan 1550 mg sampel, maka SiO<sub>2</sub> yang dibutuhkan yaitu

$$\frac{1550 \text{ mg}}{100} \times 99,6 \text{ mg} = 1543,8 \text{ mg}$$

- **Tabel perhitungan masing-masing variasi**

Perhitungan untuk variasi adsorben

ZnO (mg)	SiO <sub>2</sub> (mg)	ZnCl <sub>2</sub> (mmol)	ZnCl <sub>2</sub> (mg)
0,4	1543,8	0,07607	10,3840
0,6	1540,7	0,11411	15,5760
0,8	1537,6	0,15214	20,7680
1,0	1831,5	0,22699	30,9846
1,2	1531,4	0,22822	31,1521

### 4. Perhitungan Persentase Ion Fosfat yang Teradsorpsi

Konsentrasi akhir diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut.

$$x = \frac{(y - a)}{b} = \frac{(0,254 - 2,9496)}{0,1122} = 0,04807 \text{ mg/L}$$

Perhitungan persentase ion fosfat yang teradsorpsi dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

- **SiO<sub>2</sub>**

$$\text{Persentase adsorpsi ion fosfat (\%)} = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100\%$$

$$= \frac{(100-0,0481)}{100} \times 100\% \\ = 99,951\%$$

▪ **xZnO/SiO<sub>2</sub>**

Persentase adsorpsi ion fosfat pada 1,2 ZnO/SiO<sub>2</sub> diperoleh dengan persamaan berikut.

$$\text{Persentase adsorpsi ion fosfat (\%)} = \frac{\frac{(Co-Ce)}{Co}}{100} \times 100\% \\ = \frac{(100-0,0158)}{100} \times 100\% \\ = 99,984\%$$

**5. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi**

Kapasitas adsorpsi dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$Qt = \frac{(Co-Ce) \times V}{m} \\ = \frac{(100 - 0,0155) \times 0,015}{0,05 \text{ g}} \\ = 29,9953 \text{ mg adsorbat/g adsorben}$$

## LAMPIRAN F

### Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Ion Fosfat

#### 1. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Ion Fosfat dengan Adsorben

Kapasitas adsorpsi dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$Q_t = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m}$$

Dimana :

$Q_t$  : Kapasitas adsorpsi ion fosfat (mg adsorbat/g adsorben)

$C_0$  : Konsentrasi ion fosfat sebelum adsorpsi (mg/L)

$C_e$  : Konsentrasi ion fosfat setelah adsorpsi (mg/L)

$V$  : Volume yang digunakan (L)

$m$  : Massa adsorben yang digunakan (g)

- **Kapasitas Adsorpsi Ion Fosfat dengan  $\text{SiO}_2$**

Waktu (menit)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Massa Adsorben (g)	Volume (L)	Qt (mg/g)
150	100	0,0481	0,05	0,015	29,9856

- **Kapasitas Adsorpsi Ion Fosfat dengan  $x\text{ZnO}/\text{SiO}_2$**

Waktu (menit)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Massa Adsorben (g)	Volume (L)	Qt (mg/g)
60	100	0,0616	0,05	0,015	29,9815
90	100	0,0542	0,05	0,015	29,9837
120	100	0,0487	0,05	0,015	29,9854
150	100	0,0155	0,05	0,015	29,9953
180	100	0,0335	0,05	0,015	29,9899
210	100	0,0342	0,05	0,015	29,9897

## LAMPIRAN G

### Perhitungan Model Kinetika Adsorpsi Ion Fosfat

#### 1. Perhitungan Kinetika Adsorpsi Orde Satu Semu

Persamaan yang digunakan untuk perhitungan kinetika adsorpsi ion fosfat orde satu semu adalah :

$$\ln(Qe-Qt) = \ln Qe - K_1 t$$

Dimana :

$\ln(Qe-Qt)$

: Sumbu y

$t$

: Sumbu x

$Qe$

: Kapasitas adsorpsi kesetimbangan (mg adsorbat/g adsorben)

$K_1$

: Slope

<b>t (menit)</b>	<b>Qe (mg/g)</b>	<b>Qt (mg/g)</b>	<b>(Qe - Qt)</b>	<b>ln(Qe-Qt)</b>
60	29,9953	29,9815	0,01383	-4,2807
90	29,9953	29,9837	0,01159	-4,4572
120	29,9953	29,9854	0,00996	-4,6084
150	29,9953	29,9953	0	-
180	29,9953	29,9899	0,00539	-5,2231
210	29,9953	29,9897	0,00559	-5,1860

#### 2. Perhitungan Kinetika Adsorpsi Orde Dua Semu

Persamaan yang digunakan untuk perhitungan kinetika orde dua semu adalah :

$$\frac{t}{Qt} = \frac{1}{K_2 Q_e^2} + \frac{t}{Qe}$$

Dimana :

$t$  : Sumbu x

$t/Qt$  : Sumbu y

$K$  : Slope

$Qe$  : 1/Slope

<b>t (menit)</b>	<b>Qt (mg/g)</b>	<b>t/Qt (menit.g/mg)</b>
60	29,9815	2,0012
90	29,9837	3,0016
120	29,9854	4,0019
150	29,9953	5,0007
180	29,9899	6,0020
210	29,9897	7,0024

## LAMPIRAN H

### Perhitungan Persentase Adsorpsi Ion Fosfat

#### 1. Perhitungan Persentase Adsorpsi Ion Fosfat pada $\text{SiO}_2$

Persamaan yang digunakan adalah :

$$\text{Persentase Adsorpsi Ion Fosfat} = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100\%$$

Dimana :

$C_0$  : Konsentrasi ion fosfat awal (mg/L)

$C_e$  : Konsentrasi ion fosfat akhir (mg/L)

Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Massa Adsorben (g)	Adsorpsi Ion Fosfat (%)
100	0,0752	0,05	99,9248
100	0,0742	0,10	99,9258
100	0,0735	0,15	99,9265
100	0,0677	0,20	99,9323
100	0,0525	0,25	99,9475
100	0,0481	0,30	99,9519
100	0,0463	0,50	99,9536

#### 2. Perhitungan Persentase Adsorpsi Ion Fosfat pada $x\text{ZnO}/\text{SiO}_2$

Persamaan yang digunakan adalah :

$$\text{Persentase Adsorpsi Ion Fosfat} = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100\%$$

Dimana :

$C_0$  : Konsentrasi ion fosfat awal (mg/L)

$C_e$  : Konsentrasi ion fosfat akhir (mg/L)

- 0,4  $\text{ZnO}/\text{SiO}_2$

Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Massa Adsorben (g)	Adsorpsi Ion Fosfat (%)
100	0,0701	0,05	99,9298
100	0,0714	0,10	99,9285
100	0,0721	0,15	99,9278
100	0,0633	0,20	99,9366
100	0,0429	0,25	99,9570
100	0,0290	0,30	99,9709
100	0,0256	0,50	99,9743

- **0,6 ZnO/SiO<sub>2</sub>**

<b>Co (mg/L)</b>	<b>Ce (mg/L)</b>	<b>Massa Adsorben (g)</b>	<b>Adsorpsi Ion Fosfat (%)</b>
100	0,0592	0,05	99,9407
100	0,0606	0,10	99,9393
100	0,0579	0,15	99,9420
100	0,0528	0,20	99,9471
100	0,0382	0,25	99,9617
100	0,0260	0,30	99,9739
100	0,0247	0,50	99,9753

- **0,8 ZnO/SiO<sub>2</sub>**

<b>Co (mg/L)</b>	<b>Ce (mg/L)</b>	<b>Massa Adsorben (g)</b>	<b>Adsorpsi Ion Fosfat (%)</b>
100	0,0480	0,05	99,9519
100	0,0474	0,10	99,9526
100	0,0467	0,15	99,9532
100	0,0385	0,20	99,9614
100	0,0284	0,25	99,9715
100	0,0240	0,30	99,9759
100	0,0229	0,50	99,9770

- **1,0 ZnO/SiO<sub>2</sub>**

<b>Co (mg/L)</b>	<b>Ce (mg/L)</b>	<b>Massa Adsorben (g)</b>	<b>Adsorpsi Ion Fosfat (%)</b>
100	0,0413	0,05	99,9587
100	0,0409	0,10	99,9590
100	0,0386	0,15	99,9614
100	0,0345	0,20	99,9654
100	0,0260	0,25	99,9739
100	0,0213	0,30	99,9787
100	0,0203	0,50	99,9797

- 1,2 ZnO/SiO<sub>2</sub>

Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Massa Adsorben (g)	Adsorpsi Ion Fosfat (%)
100	0,0328	0,05	99,9671
100	0,0321	0,10	99,9678
100	0,0280	0,15	99,9719
100	0,0270	0,20	99,9729
100	0,0216	0,25	99,9783
100	0,0179	0,30	99,9820
100	0,0158	0,50	99,9841

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Sidoarjo, 03 Maret 2003, merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Bina Ana Prasa II Sidoarjo, SDN Lemah Putro III Sidoarjo, SMPN 4 Sidoarjo dan SMAN 2 Sidoarjo. Setelah lulus dari SMA tahun 2021, Penulis mengikuti SNMPTN dan diterima di Departemen Kimia FSAD-ITS pada tahun 2021 dan terdaftar dengan NRP 5004211010. Selama berkuliah penulis aktif mengikuti kegiatan manajerial dan organisasi yaitu LKMM Pra-TD, LKMW-TD, PKTI-TD, Chemistry Week 13, PLH SIKLUS ITS, dan Forum Anak Sidoarjo. Selain itu penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi mahasiswa sebagai Kepala Divisi Media Informasi PLH SIKLUS ITS. Di Departemen Kimia ini, Penulis mengambil bidang penelitian kimia anorganik di bawah bimbingan Prof. Dr.rer.nat. Irmina Kris Murwani dengan tugas akhir berjudul "Sintesis dan Karakterisasi Adsorben ZnO/SiO<sub>2</sub> dengan Sumber SiO<sub>2</sub> Dari Sekam Padi Serta Aplikasinya dalam Adsorpsi Ion Fosfat". Penulis dapat dihubungi melalui surat elektronik (email) dengan alamat andhinidy@gmail.com.