

**SINTESIS BENTONIT OKSIDA ZnO  
DAN APLIKASINYA SEBAGAI ADSORBEN SERTA FOTOKATALIS  
ZAT WARNA *Methylene Blue* DAN *Congo Red***

**TESIS**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Magister Sains Bidang Studi Ilmu Material



**ZULKARNAIN  
20032682327003**

**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU MATERIAL  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2024**

HALAMAN PENGESAHAN

SINTESIS BENTONIT OKSIDA ZnO  
DAN APLIKASINYA SEBAGAI ADSORBEN SERTA FOTOKATALIS  
ZAT WARNA *Methylene Blue* DAN *Congo Red*

TESIS

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Magister Sains Bidang Studi Ilmu Material

OLEH:

ZULKARNAIN  
20032682327003

Palembang, Januari 2025

Pembimbing I

Prof. Dr. rer. nat. Risfidian Mohadi, M.Si  
NIP. 197711272005011003

Pembimbing II

Elda Melwita, S.T., M.T., Ph.D  
NIP. 197505112000122001

Mengetahui,  
Direktur Pascasarjana



Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Said, M.Sc  
NIP. 196108121987031003

## HALAMAN PERSETUJUAN

Tesis dengan judul “Sintesis Bentonit Oksida ZnO dan Aplikasinya sebagai Adsorben serta Fotokatalis Zat Warna *Methylene Blue* dan *Congo Red*” telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Sidang Tesis Program Studi Magister Ilmu Material pada tanggal 31 Desember 2024 dan telah diperiksa, diperbaiki dan disetujui dengan saran dan masukan yang diberikan.

Palembang, Januari 2025

Tim Penguji Karya Ilmiah berupa Tesis

**Ketua :**

1. Prof. Aldes Lesbani, M.Si., Ph.D  
NIP. 197408121998021001

(  )

**Anggota :**

2. Prof. Dr. rer. nat. Risfidian Mohadi, M.Si  
NIP. 197711272005011003

(  )

3. Elda Melwita, S.T., M.T., Ph.D  
NIP. 197505112000122001

(  )

4. Dr. Idha Royani, M.Si  
NIP. 197105151999032001

(  )

5. Dr. Nova Yuliasari, M.Si  
NIP. 197307261999032001

(  )

**Mengetahui,**

**Direktur Pascasarjana**



Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Said, M.Sc  
NIP. 196108121987031003

**Koordinator Program Studi  
Ilmu Material**



Prof. Aldes Lesbani, M.Si., Ph.D  
NIP. 197408121998021001

## PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama mahasiswa : Zulkarnain  
NIM : 20032682327003  
Fakultas/Jurusan : Pascasarjana/Ilmu Material

Menyatakan bahwa tesis ini adalah hasil karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar magister (S2) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain.

Semua informasi yang dimuat dalam tesis ini yang berasal dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar. Semua isi dari tesis ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Palembang, Januari 2025

Penulis



Zulkarnain  
NIM. 20032682327003

**HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH  
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademis Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan dibawah ini:

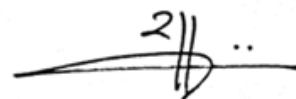
Nama Mahasiswa : Zulkarnain  
NIM : 20032682327003  
Fakultas/Jurusan : Pascasarjana/Ilmu Material  
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengeahuan, Saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “Sintesis Bentonit Oksida ZnO dan Aplikasinya sebagai Adsorben serta Fotokatalis Zat Warna *Methylene Blue* dan *Congo Red*”. Dengan hak bebas royalti non-ekslusive ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, edit/memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir atau tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Palembang, Januari 2025

Yang menyatakan



Zulkarnain

NIM. 20032682327003

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*"... Niscaya Allah Swt. akan mengangkat (derajat) orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu beberapa derajat. Allah Swt. Mahateliti apa yang kamu kerjakan."*

**(QS. Al Mujadalah : 11)**

*"Tuntutlah ilmu, tapi tidak dengan melupakan ibadah, dan kerjakanlah ibadah tapi tidak boleh lupa pada ilmu."*

**(Hasan Al Bashri)**

Alhamdulillah, Tesis ini sebagai salah satu tanda syukurku kepada Allah SWT. dan Nabi Muhammad SAW.

Saya persembahkan Tesis ini untuk kedua orang tua, Abah dan Papa (Pardi dan Budi Mulyono), Mimik dan Mama (Nuraini dan Kholilah) serta Keluarga tercinta yang senantiasa memberikan dukungan dan doanya, juga kepada Dosen Pembimbing, Dosen Pengajar, Koordinator dan Staff Prodi Ilmu Material, sahabat dan teman-teman serta seluruh pihak yang terlibat atas dukungan dan bantuannya sehingga saya dapat menyelesaikan pendidikan di Program Magister (S2) Ilmu Material, Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya.

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT atas segala limpahan nikmat dan karunia-Nya terutama nikmat Iman dan Islam, tempat kita memohon ampunan dan meminta pertolongan. Sholawat serta salam kepada baginda Nabi Muhammad SAW yang kita mengharapkan syafa'atnya di yaumul akhir kelak. Atas kedua nikmat diatas akhirnya penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul “Sintesis Bentonit Oksida ZnO dan Aplikasinya sebagai Adsorben serta Fotokatalis Zat Warna *Methylene Blue* dan *Congo Red*” sebagai salah syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains bidang Ilmu Material di Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya.

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak **Prof. Dr. rer. nat. Risfidian Mohadi, S.Si., M.Si** dan Ibu **Elda Melwita, S.T., M.T., Ph.D** selaku Pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, semangat dan motivasi serta yang paling penting adalah berbagi ilmunya sehingga Penulis dapat menyelesaikan Tesis ini.

Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. H.Muhammad Said, M.Sc selaku Direktur Pascasarjana Universitas Sriwijaya dan Bapak Prof. Aldes Lesbani, Ph.D. selaku Koordinator Program Studi Magister Ilmu Material Universitas Sriwijaya.
2. Ibu Dr. Idha Royani, M.Si dan Ibu Dr. Nova Yuliasari, M.Si selaku Tim Dosen Penguji Sidang Tesis yang telah banyak memberikan masukan, kritik, dan saran kepada Penulis yang sifatnya membangun dalam hal penulisan tesis.
3. Seluruh Dosen Pengajar Program Studi Ilmu Material Pascasarjana Universitas Sriwijaya yang telah banyak memberikan ilmu dan pengetahuannya sehingga menambah wawasan berfikir dan implementasi Penulis.
4. Bapak Deddy Iskandar, S.H.I selaku staff Program Studi Ilmu Material yang banyak membantu proses pelaksanaan perkuliahan baik secara administratif maupun sarana dan prasarana sehingga Mahasiswa nyaman menjalani perkuliahan.



5. Kepada kedua orang tua; Abah (Poniman Pardi), Papa (Budi Mulyono), Mimik (Nuraini) dan Mama (Hj. Kholilah) yang senantiasa berdoa untuk kebaikan dan kesuksesan anak-anaknya, memberikan kasih sayang yang tak terbilang sehingga menjadi penguat diri bagi anak-anaknya, termasuk Penulis, untuk memberikan hal terbaik untuk mereka dan Alhamdulillah Tesis ini selesai dibuat. Terimakasih juga Penulis ucapkan kepada Kakak, Ayuk dan Adik yang telah memberikan dukungan sepenuhnya baik moril maupun materil. InsyaAllah mendapat ganjaran pahala kebaikan yang berlimpah.
6. Terkhusus keluarga kecilku dirumah, istri (Indri Wahyuni, S.Si) serta anak-anakku (Zayid Zuhdi Zulkarnain, Zoe Zuyyin Zulkarnain dan Zia Zivana Zulkarnain) terimakasih atas doa dan keceriaannya yang menjadi motivasi Penulis untuk *stay strong* menjalani perkuliahan hingga selesai Tesis. InsyaAllah menjadi berkah buat keluarga.
7. Teruntuk rekan seperjuangan di Prodi Ilmu Material Sahrul Wibiyana dan Bunga Indah Putri (*The 3 Musketeers*) terimakasih banyak atas kebersamaannya, turut membantu, memberikan semangat, kepolosan dan ketulusannya sehingga memberi warna tersendiri atas Tesis yang dibuat.
8. Kepada teman-teman BC dan Ilmu Material, Yusuf (*specialist of Bentonite*) terimakasih atas keluangannya waktu diskusinya, 'Daeng' Ahmad, Alfian, Amri, Robiatul, terimakasih sudah menjadi tempat berdiskusi menarik, memberikan sudut pandang baru dalam penelitian. Jefri, Amanda Syafa Aliyah dan Rabellia Juladika Sayeri terimakasih atas kebersamaan sebagai Mahasiswa Ilmu Material.
9. Kepada teman-teman Alumni MIPA Kimia'97 (MIKI '97) Universitas Sriwijaya, terkhusus M. Jafaruddin, Dodi, Fauzan dan Roy, terimakasih atas dukungannya sehingga Penulis dapat menyelesaikan pendidikan di Program Magister Ilmu Material Universitas Sriwijaya.



10. Kepada teman-teman sepekerjaan, Pak Didiek H Setyawan, Pak Fajar, Iyan, Hendi, Jimmy dan Delan, terimakasih atas dukungan dan motivasinya sehingga Penulis tetap bersemangat menyelesaikan masa studi dengan tetap melaksanakan tugas kantor.
11. Semua pihak yang telah ikut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung selama masa studi hingga Penulis dapat menyelesaikan Tesis ini.

Semoga semua bantuan, do'a, bimbingan, ilmu dan motivasinya menjadi amal shaleh dan mendapat ganjaran pahala oleh Allah SWT. Penulis juga menyadari bahwa masih ada kekurangan dalam pembuatan Tesis ini, untuk itulah kritik dan saran yang sifatnya membangun sangat dibutuhkan Penulis. Semoga Tesis ini bermanfaat dan Penulis sampaikan **TERIMA KASIH**.

Palembang, Januari 2025

Penulis

## SUMMARY

### **Synthesis And Application of Bentonite-ZnO Composite as an Adsorbent and Photocatalyst for Methylene Blue and Congo Red Dyes**

Zulkarnain : Supervised by Prof. Dr. rer. nat Risfidian Mohadi, M.Si, and Elda Melwita, S.T., M.T., P.hd.

Bentonite-ZnO composites were successfully synthesized via hydrothermal methods at 100°C and 200°C to optimize their adsorption and photocatalytic properties. X-ray Diffraction (XRD) analysis confirmed the integration of hexagonal wurtzite ZnO into the bentonite matrix, with diffraction peaks at 31.86° [100], 36.36° [101], and 56.71° [110]. Thermal Gravimetric-Differential Thermal Analysis (TG-DTA) and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) revealed significant structural transformations during synthesis. The disappearance of C-H and -OH stretching vibrations at 2900–3000 cm<sup>-1</sup> and 3000–3500 cm<sup>-1</sup>, respectively, confirmed the reduction of organic impurities and interlayer water molecules, correlating with thermal decomposition peaks observed in TG-DTA. This structural refinement improved the thermal stability and performance of the composites. The adsorption of Methylene Blue (MB) was optimal at pH 5, achieving efficiencies of 97.1% and 91.9% for composites synthesized at 200°C and 100°C, respectively. Similarly, Congo Red (CR) adsorption was optimal at pH 7, with efficiencies of 94.7% and 93% for the same composites. Kinetic studies confirmed that adsorption followed a Pseudo-Second Order (PSO) model, dominated by chemisorption mechanisms, with high R<sup>2</sup> values (>0.99) for both dyes. Thermodynamic analysis indicated that MB adsorption was endothermic, while CR adsorption was exothermic. In photocatalytic degradation, the ZnO-Bentonite composite synthesized at 200°C achieved 98.65% CR degradation within 40 minutes, outperforming the 98.38% efficiency of the 100°C composite. For MB, the 200°C composite achieved a maximum degradation of 79.68% within 10 minutes. The 100°C composite demonstrated distinct advantages under specific conditions, particularly at lower catalyst weights, due to its higher porosity and more efficient light distribution. Isotherm studies revealed that the Langmuir model best described the adsorption of both dyes, with a maximum adsorption capacity ( $Q_{max}$ ) of 120.482 mg/g for MB at 50°C on the 200°C composite. These results highlight the dual functionality of Bentonite-ZnO composites as efficient adsorbents and photocatalysts, with tailored performance for various environmental conditions and operational requirements.

**Keywords:** Hydrothermal, Bentonite-ZnO, Adsorption, Photocatalysis, Methylene Blue, Congo Red

## RINGKASAN

### Sintesis Bentonit Oksida ZnO dan Aplikasinya sebagai Adsorben serta Fotokatalis Zat Warna *Methylene Blue* dan *Congo Red*

Zulkarnain : Dibimbing oleh Prof. Dr. rer. nat Risfidian Mohadi, M.Si, dan Elda Melwita, S.T., M.T., P.hd.

Komposit Bentonit-ZnO telah berhasil disintesis menggunakan metode hidrotermal pada suhu 100°C dan 200°C untuk mengoptimalkan sifat adsorpsi dan fotokatalitiknya. Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) mengonfirmasi integrasi struktur ZnO heksagonal wurtzite ke dalam matriks bentonit, dengan puncak difraksi utama pada sudut  $2\theta$  sebesar 31,86° [100], 36,36° [101], dan 56,71° [110]. Analisis *Termogravimetri-Diferensial Termal* (TG-DTA) dan Spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (FTIR) mengungkapkan transformasi struktural yang signifikan selama sintesis. Hilangnya gugus C-H dan -OH pada bilangan gelombang 2900–3000  $\text{cm}^{-1}$  dan 3000–3500  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan pengurangan pengotor organik dan molekul air antar lapisan, yang sesuai dengan puncak dekomposisi termal yang diamati pada TG-DTA. Penyempurnaan struktur ini meningkatkan stabilitas termal dan kinerja komposit. Adsorpsi *Methylene Blue* (MB) menunjukkan efisiensi optimal pada pH 5, dengan efisiensi 97,1% untuk komposit sintetis pada suhu 200°C dan 91,9% pada suhu 100°C. Adsorpsi *Congo Red* (CR) optimal pada pH 7, dengan efisiensi masing-masing 94,7% dan 93%. Studi kinetika mengonfirmasi bahwa proses adsorpsi mengikuti model *pseudo second order* (PSO) yang didominasi mekanisme kemisorpsi, dengan nilai  $R^2$  tinggi ( $>0,99$ ) untuk kedua zat warna. Analisis termodinamika menunjukkan bahwa adsorpsi MB bersifat endotermik, sedangkan adsorpsi CR bersifat eksotermik. Dalam proses fotodegradasi, komposit ZnO-Bentonit sintetis pada suhu 200°C mencapai efisiensi degradasi CR sebesar 98,65% dalam waktu 40 menit, melampaui efisiensi 98,38% dari komposit 100°C. Untuk MB, komposit 200°C mencapai degradasi maksimum sebesar 79,68% dalam waktu 10 menit. Komposit suhu 100°C menunjukkan keunggulan pada kondisi tertentu, terutama berat katalis yang lebih rendah, karena porositas yang lebih tinggi dan distribusi cahaya yang lebih efisien. Studi isoterm menunjukkan bahwa model Langmuir paling sesuai untuk menggambarkan adsorpsi kedua zat warna, dengan kapasitas adsorpsi maksimum ( $Q_{\max}$ ) sebesar 120,482 mg/g untuk MB pada suhu 50°C pada komposit sintetis 200°C. Hasil ini menyoroti fungsi ganda komposit Bentonit-ZnO sebagai adsorben dan fotokatalis yang efisien, dengan kinerja yang dapat disesuaikan untuk berbagai kondisi lingkungan dan kebutuhan operasional.

**Kata Kunci** : Hidrotermal, Bentonit-ZnO, Adsorpsi, Fotokatalis, *Methylene Blue*, *Congo Red*.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN.....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vii</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>x</b>
<b>RINGKASAN.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xvi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Hipotesis.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
2.1 Bentonit .....	6
2.2 ZnO (Seng Oksida).....	9
2.3 Modifikasi Komposit ZnO-Bentonit .....	10
2.4 Hidrotermal .....	11
2.5 Fotokatalisis .....	12
2.6 <i>Methylene Blue</i> .....	13
2.7 <i>Congo Red</i> .....	14
<b>BAB III METODELOGI PENELITIAN .....</b>	<b>16</b>
3.1. Waktu dan Tempat .....	16
3.2. Alat dan Bahan .....	16
3.2.1. Alat .....	16
3.2.2. Bahan.....	16
3.3. Prosedur Penelitian.....	16
3.3.1. Interkalasi Bahan Baku Clay Alam serta Karakterisasinya.....	16
3.3.2. Sintesis ZnO .....	17

3.3.3.	Sintesis Komposisi Bentonit-ZnO .....	17
3.3.4.	Penentuan pH <sub>pzc</sub> .....	18
3.3.5.	Pembuatan Larutan Stok Zat Warna Anionik dan Kationik.....	18
3.3.6.	Penentuan Panjang Gelombang pada Absorbansi Maksimum.....	18
3.3.7.	Pembuatan Kurva Kalibrasi .....	18
3.3.8.	Pengukuran Adsorpsi <i>Methylene Blue</i> dan <i>Congo Red</i> Oleh Bentonit-ZnO .....	19
3.3.7.1	Variasi pH Adsorpsi .....	19
3.3.7.2	Pengaruh Waktu Kontak Adsorpsi .....	19
3.3.7.3	Pengaruh Konsentrasi dan Temperatur Adsorpsi.....	19
3.3.9.	Uji Fotokatalisis Bentonit-ZnO dalam Degradasi <i>Methylene Blue</i> dan <i>Congo Red</i> .....	19
3.3.8.1.	Variasi pH Fotokatalisis .....	20
3.3.8.2.	Pengaruh Berat Katalis .....	20
3.3.8.3.	Pengaruh Lama Penyinaran UV .....	20
3.4	Analisa Data .....	20
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>24</b>
4.1.	Karakterisasi Bentonit dan Material Komposit dengan X-Ray Diffraction (XRD) .....	24
4.2.	Analisis Termogravimetri-Diferensial Termal (TG-DTA) .....	28
4.3.	Analisis Spektroskopi FT-IR (Fourier Transform Infrared).....	29
4.4.	Analisis Luas Permukaan BET (Brunauer-Emmett-Teller).....	33
4.5.	Pengaruh pH pada Proses Adsorpsi dan fotodegradasi <i>Methylene Blue</i> (MB) dan <i>Congo Red</i> (CR) oleh Komposit ZnO-Bentonit .....	35
4.6.	Pengaruh Waktu Adsorpsi pada Efektivitas Penghilangan <i>Methylene Blue</i> (MB) dan <i>Congo Red</i> (CR) dengan Komposit ZnO-Bentonit.....	39
4.7.	Pengaruh Konsentrasi dan Suhu terhadap Efektivitas Adsorpsi <i>Methylene Blue</i> (MB) dan <i>Congo Red</i> (CR) oleh Komposit ZnO-Bentonit .....	44
4.8.	Pengaruh Berat Adsorben pada Fotodegradasi .....	49
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>52</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>54</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Bentonit .....	6
Gambar 2.2 Pola XRD dari Bentonit Alam dan Na-bentonit.....	8
Gambar 2.3 Struktur <i>wurtzite</i> ZnO .....	9
Gambar 2.4 Ilustrasi Pilarisasi Bentonit .....	11
Gambar 2.5 Struktur <i>Methylene Blue</i> .....	14
Gambar 2.6 Struktur <i>Congo Red</i> .....	15
Gambar 4.1 Difraktogram XRD Bentonit Alam, Na-Bentonit dan komposit Bentonit-ZnO .....	24
Gambar 4.2 Difraktogram XRD Bentonit Alam, Na-Bentonit dan komposit Bentonit-ZnO pada sudut $2\theta$ sekitar $5^{\circ}$ – $10^{\circ}$ .....	25
Gambar 4.3 Pola Difraktogram Bentonit Alami dan komposit Bentonit- ZnO .....	26
Gambar 4.4 Kurva TG-DTA Bentonit Alam, Bentonit-Na dan komposit Bentonit-ZnO .....	29
Gambar 4.5 Spektrum FTIR Bentonit Alam, Bentonit-Na dan komposit Bentonit-ZnO .....	30
Gambar 4.6 Spektrum FTIR Bentonit pada rentang 400-800 $\text{cm}^{-1}$ .....	31
Gambar 4.7 Isoterm Adsorpsi-Desorpsi Nitrogen dari Na-Bentonit dan Bentonit-ZnO .....	33
Gambar 4.8 Kurva pH <sub>pzc</sub> material bentonit .....	35
Gambar 4.9 Performa adsorpsi terhadap variasi pH pada MB (a) dan CR (b) .....	36
Gambar 4.10 Kinetika adsorpsi melalui variasi waktu pada MB (a) dan (b) serta CR (c) dan (d).....	39

Gambar 4.11 Pengaruh waktu terhadap fotodegradasi pada MB (a) dan CR (b) .....	41
Gambar 4.12 Kurva Isoterm Adsorpsi Langmuir Material .....	45
Gambar 4.13 Kurva Isoterm Adsorpsi Freundlich Material .....	46
Gambar 4.14 Pengaruh Berat Katalis pada Fotodegradasi MB (a) dan (b) serta CR (c) dan (d) .....	49



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Properti dan Karakteristik <i>Methylene Blue</i> .....	14
Tabel 2.2 Properti dan Karakteristik <i>Congo Red</i> .....	15
Tabel 4.1 Hasil Analisis Pola Difraktogram XRD Bentonit Alami, Na-Bentonit dan Bentonit-ZnO .....	26
Tabel 4.2 Hasil Analisis Pola Difraktogram XRD Bentonit Alami dan Bentonit- ZnO .....	27
Tabel 4.3 Kinetika Adsorpsi MB dan CR .....	40
Tabel 4.4 Perbandingan Persentase Adsorpsi dan Degradasi pada Proses Fotodegradasi .....	43
Tabel 4.5 Parameter Isoterm Adsorpsi <i>Methylene Blue</i> pada Komposit Bentonit-ZnO .....	44
Tabel 4.6 Parameter Isoterm Adsorpsi <i>Congo Red</i> pada Komposit Bentonit-ZnO.....	46
Tabel 4.7 Data Termodinamika Adsorpsi <i>Methylene Blue</i> pada Bentonit-ZnO.....	47
Tabel 4.8 Data Termodinamika Adsorpsi <i>Congo Red</i> pada Bentonit-ZnO .....	47

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Kontaminasi lingkungan akibat pembuangan limbah industri yang tidak terkendali terus menjadi tantangan global, khususnya dalam pengelolaan ekosistem air. Limbah zat warna yang berasal dari industri tekstil, farmasi, dan makanan diperkirakan mencapai 700.000 ton setiap tahunnya, dengan sebagian besar terbuang tanpa pengolahan memadai (Tkaczyk dkk., 2020). Zat warna seperti *Methylene Blue* (MB) dan *Congo Red* (CR) memiliki struktur kimia yang kompleks sehingga sulit terurai dengan metode pengolahan konvensional. Selain itu, zat warna kationik seperti MB diketahui berpotensi toksik karena mudah berinteraksi dengan sel biologis (Hakim, 2023).

Untuk menjawab tantangan ini, berbagai pendekatan telah dikembangkan, mulai dari flokulasi dan koagulasi hingga fotokatalisis. Adsorpsi menjadi salah satu metode yang paling menjanjikan karena kemampuannya yang efisien untuk mengikat zat warna serta polutan lainnya pada permukaan material adsorben (Chai dkk., 2020). Bentonit, yang tersusun atas lapisan montmorillonit, merupakan material lempung alami yang dikenal karena luas permukaannya yang besar, ketersediaannya yang melimpah, serta biaya rendah. Struktur berlapis bentonit dengan ruang antar lapisan memungkinkan material ini menyerap ion-ion logam dan zat organik, sehingga menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi adsorpsi (Wang dkk., 2022).

Namun, kemampuan bentonit dapat ditingkatkan melalui kombinasi dengan material lain, seperti ZnO, oksida logam semikonduktor yang memiliki sifat fotokatalitik unggul. ZnO mampu mendegradasi senyawa organik berbahaya melalui reaksi fotokatalisis di bawah sinar UV. Sayangnya, tantangan seperti instabilitas dalam kondisi asam dan kecenderungan untuk beragregasi membatasi penggunaan ZnO secara langsung. Untuk mengatasi hal ini, ZnO sering dikompositkan dengan bentonit, sehingga menggabungkan kemampuan adsorpsi bentonit dengan aktivitas fotokatalitik ZnO, menghasilkan efisiensi

penghilangan polutan yang lebih tinggi (Islam & Mostafa, 2022).

Proses hidrotermal merupakan salah satu metode sintesis material yang paling efektif untuk menghasilkan komposit seperti Bentonit-ZnO. Melalui teknik ini, material komposit dapat dibentuk dengan morfologi, struktur, dan sifat fisikokimia yang terkontrol. Variasi suhu hidrotermal memungkinkan modifikasi luas permukaan dan kristalinitas material, yang secara langsung memengaruhi performa adsorpsi dan fotodegradasi. Selain ramah lingkungan, metode ini juga mampu menghasilkan material yang stabil secara termal dan kimia, sehingga cocok untuk aplikasi pengolahan limbah dalam kondisi ekstrem (Nguyen dkk., 2020).

Berdasarkan latar belakang ini, penelitian ini bertujuan untuk menyintesis komposit Bentonit-ZnO melalui metode hidrotermal dan mengevaluasi efisiensinya dalam proses adsorpsi dan fotodegradasi zat warna MB dan CR. Studi ini diharapkan dapat memberikan solusi inovatif untuk pengelolaan limbah industri yang lebih berkelanjutan.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Pencemaran air akibat limbah industri yang mengandung zat warna seperti MB dan CR menjadi tantangan global yang memerlukan solusi pengelolaan limbah yang efektif. Bentonit, sebagai material lempung alami yang melimpah di Indonesia, memiliki kemampuan adsorpsi yang baik namun terbatas dalam kondisi alami. Keterbatasan ini memerlukan modifikasi, seperti interkalasi dengan ion Na atau kombinasi dengan material fotokatalitik, untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi dan kinerja pengolahan limbah.

Oksida logam ZnO, dengan sifat fotokatalitik yang unggul, mampu mendegradasi senyawa organik berbahaya melalui reaksi redoks fotokatalitik. Namun, ZnO memiliki keterbatasan, seperti instabilitas dalam kondisi tertentu dan kecenderungan untuk beragregasi. Kombinasi ZnO dengan bentonit melalui sintesis hidrotermal berpotensi menghasilkan material komposit yang lebih efektif dalam menghilangkan zat warna melalui proses adsorpsi dan fotokatalisis.

Beberapa penelitian telah membahas kemampuan adsorpsi bentonit dan aktivitas fotokatalitik ZnO secara terpisah, namun studi yang mengintegrasikan

keduanya untuk mengatasi limbah zat warna, khususnya dengan memanfaatkan variasi suhu hidrotermal, masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menjawab pertanyaan berikut: 1. Bagaimana pengaruh modifikasi bentonit dengan ZnO terhadap kemampuan adsorpsi dan fotokatalisis zat warna MB dan CR? 2. Bagaimana variasi suhu hidrotermal memengaruhi sifat fisikokimia material komposit Bentonit-ZnO dan kinerjanya dalam mengolah limbah cair?

### 1.3. Hipotesis

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, penelitian ini bertujuan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan utama terkait efektivitas bentonit yang dimodifikasi dengan oksida logam ZnO melalui metode hidrotermal. Proses sintesis dan aplikasi material ini diharapkan memberikan solusi inovatif untuk pengelolaan limbah zat warna MB dan CR. Oleh karena itu, diasumsikan bahwa:

**Hipotesis 1 :** *Metode hidrotermal mampu meningkatkan luas permukaan Na-Bentonit, sehingga memperbaiki kapasitas adsorpsi dan kinerjanya sebagai material pendukung dalam sintesis komposit Bentonit-ZnO.*

Proses hidrotermal yang melibatkan suhu tinggi dan tekanan tinggi memungkinkan penggantian ion  $\text{Ca}^{2+}$  dengan  $\text{Na}^+$  pada ruang interlayer bentonit, menghasilkan struktur yang lebih mengembang (swelling). Hal ini sesuai dengan penelitian Miyazaki (2019), yang menunjukkan bahwa Na-Bentonit hasil hidrotermal memiliki indeks swelling lebih tinggi dibandingkan Ca-Bentonit. Peningkatan suhu juga akan mempengaruhi keberadaan gugus fungsi. Dengan meningkatnya suhu hidrotermal, jumlah gugus fungsi seperti -OH berkurang. Menurunnya gugus -OH dapat disebabkan oleh menurunnya kadar air pada suhu tinggi (Askaputra dkk, 2020).

**Hipotesis 2 :** *Komposit Bentonit-ZnO yang disintesis melalui metode hidrotermal pada suhu  $200^{\circ}\text{C}$  memiliki efisiensi adsorpsi dan fotodegradasi zat warna yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit yang disintesis pada suhu  $100^{\circ}\text{C}$ .*

Hal ini dapat terjadi karena suhu hidrotermal yang lebih tinggi dapat meningkatkan kristalinitas ZnO dan distribusinya pada permukaan bentonit, seperti

dilaporkan oleh Nguyen dkk. (2020), yang menunjukkan hubungan antara suhu sintesis dengan peningkatan sifat katalitik material.

**Hipotesis 3** : *Zat warna Congo Red akan terserap lebih banyak oleh komposit Bentonit-ZnO dibandingkan Methylene Blue.*

Hal ini disebabkan oleh ukuran molekul CR (696.68 g/mol) yang lebih besar dibandingkan MB (319.86 g/mol), yang memungkinkan interaksi yang lebih kuat dengan material komposit pada ruang interlayer bentonit. Penelitian Zhang dkk. (2016) juga mendukung asumsi ini, dengan menunjukkan bahwa adsorpsi CR pada material berbasis bentonit lebih maksimal dalam berbagai kondisi lingkungan.

#### **1.4. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk menjawab permasalahan yang telah dirumuskan sebelumnya, dengan fokus utama pada pemahaman mekanisme interkalasi, karakterisasi material, serta aplikasi material komposit Bentonit-ZnO dalam pengolahan limbah pewarna organik. Adapun tujuan spesifik penelitian ini adalah:

1. **Mempelajari pengaruh proses hidrotermal** pada interkalasi Na-Bentonit terhadap struktur material serta efisiensinya dalam proses adsorpsi dan fotodegradasi zat warna kationik (MB) dan anionik (CR).
2. **Melakukan sintesis dan modifikasi Na-Bentonit dengan oksida logam ZnO melalui metode hidrotermal** untuk menghasilkan material komposit dengan karakteristik unggul, yang kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD, FTIR, BET, UV-Vis dan TG-DTA.
3. **Menganalisis kinerja komposit Bentonit-ZnO** dalam mengadsorpsi dan mendegradasi zat warna *Methylene Blue* dan *Congo Red* melalui berbagai parameter operasi, meliputi variasi pH, waktu kontak, konsentrasi zat warna, dan suhu reaksi, guna mengoptimalkan efisiensi adsorpsi dan fotodegradasi.

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang signifikan, baik secara teoritis maupun praktis, sebagai berikut:

1. Memberikan informasi ilmiah mengenai karakteristik material hasil modifikasi Bentonit-ZnO menggunakan metode hidrotermal, termasuk perubahan struktur, kristalinitas, luas permukaan, dan sifat fotokatalitiknya, yang dapat menjadi referensi bagi pengembangan material serupa dalam pengolahan limbah.
2. Menghasilkan data mengenai kemampuan adsorpsi dan fotodegradasi Bentonit-ZnO terhadap zat warna kationik dan anionik, yang dapat berkontribusi pada pengembangan teknologi berbasis material ramah lingkungan untuk pengelolaan limbah cair industri.
3. Mendorong pemanfaatan bentonit lokal Indonesia sebagai material dasar yang bernilai tambah melalui proses modifikasi dengan oksida logam ZnO, yang dapat membuka peluang aplikasi lebih luas dalam pengelolaan limbah dan remedi lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. A. Abimanyu, I. E. Suprihatin and I. A. R. A. Asih. (2024). Degradasi Zat Warna Congo Red dengan Fotokatalis ZnO-Arang Aktif dan Oksidator H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Jurnal Kimia (Journal Of Chemistry)* 18 (2), Juli 2024. DOI: <https://doi.org/10.24843/JCHEM.2024.v18.i02.p05>
- Abolfazl Dehghani, Soroush Baradaran, Salman Movahedirad. (2024). Synergistic degradation of Congo Red by hybrid advanced oxidation via ultraviolet light, persulfate, and hydrodynamic cavitation. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 272 (2024) 116042. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116042>
- Adisu Girma. (2022). A Review on Ag/Bentonite and ZnO/Bentonite Nanocomposite: Synthesis and their Applications. *JESSD VOL* 5(2), 82-100. DOI: <https://doi.org/10.20372/mwu.jessd.2022.1538>
- Ahmed Jaber Ibrahima, Haneen Abdul Wahid Dwesha and Ahmed R.Y. Al-Sawad. (2023). Adsorption of methylene blue dye onto bentonite clay: Characterization, adsorption isotherms, and thermodynamics study by using UV-Vis technique. *Analytical Methods in Environmental Chemistry Journal*. 6 (3) (2023) 5-18. <https://doi.org/10.24200/amecj.v6.i03.243>
- Ajith, P., Agnes, J., & Rajkumar, A. (2021). Synthesis and Characterization Studies of Pure ZnO and Bentonite Doped ZnO Nanocrystals. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, 8(9). <https://www.researchgate.net/publication/356960721>
- Ali, O. I. M., Menofy, E. A. El, & Kandil, A. H. H. T. (2019). Synthesis , Characterisation And Application Of Zno-Bentonite Nanocomposite For Preconcentration And Spectrophotometric Determination Of Trace Amounts Of Bromocresol Purple In Water And Wastewater Samples. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 00(00), 1–18. <https://doi.org/10.1080/03067319.2019.1639689>
- Ali, R., & Siew, O. O. I. B. (2006). Photodegradation Of New Methylene Blue N In Aqueous Solution Using Zinc Oxide And Titanium Dioxide As Catalyst Aqueous Solution Using Zinc Oxide And Titanium Dioxide As Catalyst. *Jurnal Teknologi*, December.



- Angelika Tkaczyk, Kamila Mitrowska, Andrzej Posyniak. (2020). Synthetic organic dyes as contaminants of the aquatic environment and their implications for ecosystems: A review. *Science of the Total Environment* 717 (2020) 137222.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137222>
- Askaputra, A., & Yuliansyah, T. (2020). Pengaruh Variasi Suhu Hidrotermal dan Aktivator Kalium. *Jurnal Rekayasa Proses*, 14(2), 160–168.  
<https://doi.org/10.22146/jrekpros.57394>
- Atikah. (2017). Efektifitas Bentonit Sebagai Adsorben Pada Proses Peningkatan Kadar Bioetanol. *Distilasi*, 2(2), 23–32.
- Aziz Askaputra dan Ahmad Tawfieurrahman Yuliansyah. (2019). Pengaruh Variasi Suhu Hidrotermal dan Aktivator Kalium Hidroksida (KOH) terhadap Kemampuan Hydrochar sebagai Adsorben pada Proses Adsorpsi Limbah Cair Metilen Biru. *Jurnal Rekayasa Proses Research article / Vol. 14, No. 2, 2020*, hlm. 160-168.  
DOI: <https://doi.org/10.22146/jrekpros.57394>
- Bath, D. S., Siregar, J. M., & Lubis, M. T. (2012). Penggunaan Tanah Bentonit Sebagai Adsorben Logam Cu. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 1(1), 8–11.
- C. Puchongkawarin, W. Jaiharn, S. Thongfuang, C. Umpuch. (2020). Comprehensive Studies on Methylene Blue Adsorption onto Na-bentonite Clay and its Kinetics, Isotherm and Thermodynamics. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 736 (2020) 022013. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/736/2/022013>
- Debasis Borah, Harshajit Nath and Hemaprobha Saikia. (2021). Modification of bentonite clay & its applications: a review. *De Gruyter* November 10, 2021.  
<https://doi.org/10.1515/revic-2021-0030>
- Dehghani, A., Baradaran, S., & Movahedirad, S. (2024). Ecotoxicology and Environmental Safety Synergistic degradation of Congo Red by hybrid advanced oxidation via ultraviolet light , persulfate , and hydrodynamic cavitation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 272(January), 116042  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116042>
- Dio, R., Bahri, S., Kiswandono, A. A., & Supriyanto, R. (2021). Validasi Metode Fotodegradasi Congo Red Terkatalis Zno/Zeolit Y Secara Spektrofotometri Uv-Vis. *Analit: Analytical and Environmental*

*Chemistry*, 6(02), 134–144.

- Do, M., Alkan, M., Türkyilmaz, A., & Özdemir, Y. (2004). Kinetics And Mechanism Of Removal Of Methylene Blue By Adsorption Onto Perlite. *Journal of Hazardous Materials*, 109, 141–148. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.03.003>
- Emmanuel D. Revellame, Dhan Lord Fortela. (2020). Adsorption kinetic modeling using pseudo-first order and pseudo-second order rate laws: A review. *Journal of Cleaner Engineering and Technology*, (2020) 100032. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2020.100032>
- Fathoni, I., & Rusmini. (2016). Usage Of Technical Bentonite As A Dye Adsorbent Imam Fathoni dan Rusmini Departement of Chemistry , Faculty of Matematics and Natural Sciences State University of Surabaya Jl . Ketintang Surabaya ( 6023 ), telp 031-8298761. *UNESA Journal of Chemistry*, 5(3), 18–22.
- Fouzia Mashkoo, Abu Nasar. (2020). Magsorbents: Potential candidates in wastewater treatment technology – A review on the removal of methylene blue dye. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 500 (2020) 166408. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2020.166408>
- Giraldo, S., N. Y. Acelas, R. Ocampo Pérez, E. Padilla Ortega, E. Flórez, C. A. Franco, F. B. Cortés, and A. Forgionny (2022). Application of Orange Peel Waste as Adsorbent for Methylene Blue and Cd<sup>2+</sup> Simultaneous Remediation. *Molecules*, 27(16); 5105 <https://doi.org/10.3390/molecules27165105>
- H. Ait Hmeid, M. Akodad, M. Baghour. (2021). Adsorption of a basic dye, Methylene Blue, in aqueous solution on bentonite. *Mor. J. Chem.* 9 N°3 (2021) 416-433. DOI: <https://doi.org/10.48317/IMIST.PRSM/morjchem-v9i3.23303>
- Han-bing Zhang, Ning-hua Chen, *et al.* (2019). Adsorption of Methylene Blue and Congo Red on Bentonite Modified with CaCO<sub>3</sub>. *Key Engineering Materials* Vol. 727 pp 853-858. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.727.853>
- Hidetoshi Miyazakia, Yuta Kitanoa, Yuki Makinosea. (2019). Synthesis of

- Large-Swelling Na-Type Bentonite by Hydrothermal Ion Exchange. *Clay Science* 23, 47–53 (2019).  
doi: [https://doi.org/10.11362/jcssjclayscience.23.3\\_47](https://doi.org/10.11362/jcssjclayscience.23.3_47)
- Hmeid, H. A., & Akodad, M. (2021). Adsorption of a basic dye, Methylene Blue, in aqueous solution on bentonite. *Moroccan Journal of Chemistry*, 9(October), 416–433. <https://doi.org/10.48317/IMIST.PRSM/morjchem-v9i3.23303>
- Islam, M.R., Mostafa, M.G. 2022. Adsorption kinetics, isotherms and thermodynamic studies of methyl blue in textile dye effluent on natural clay adsorbent. *Sustainable Water Resources Management*, 8(2), 52. <https://doi.org/10.1007/s40899-022-00640-1>
- Ismael, M. (2020). The photocatalytic performance of the ZnO / g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> composite photocatalyst toward degradation of organic pollutants and its inactivity toward hydrogen evolution : The influence of light irradiation and charge transfer. *Chemical Physics Letters*, 739(October 2019), 136992. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2019.136992>
- Ihsan Habib Dakhil, Ahmed Hassan Ali. (2021). Adsorption of methylene blue dye from industrial wastewater using activated carbon prepared from agriculture wastes. *Desalination and Water Treatment* 216 (2021) 372–378. doi: <https://doi.org/10.5004/dwt.2021.26802>
- Jida, S. M., & Zerefa, E. A. (2023). Preparation and photocatalysis of ZnO / bentonite based on adsorption and photocatalytic activity Preparation and photocatalysis of ZnO / bentonite based on adsorption and photocatalytic activity. *Materials Research Express PAPER*, 10(035502). <https://doi.org/https://doi.org/10.1088/2053-1591/acbf0f>
- Juhra, F., & Notodarmodjo, S. (2016). Degradasi Zat Warna Pada Air Gambut Menggunakan Metode Kombinasi Koagulasi Dan Fotokatalitik ZnO Degradation Color Substances In Peat Water By Combination Coagulation And Photocatalytic Zno. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 22(82), 42–51.
- Juntan Pratiwi, Suriati Eka Putri, *et al.* (2022). Sintesis dan Karakterisasi Komposit ZnO Bentonit. *Jambura Physics Journal* (2022) Vol. 4 (1): 70-76. <https://doi.org/10.34312/jpj.v4i1.13499>

- Oleksiy Klimenkov, Iryna Ivanenko. (2024). Adsorptive and Photocatalytic Properties of The ZnO/Bentonite/Ag Heterojunction. *Water and Water Purification Technologies. Scientific and Technical News*. 4 January 2024. DOI: <https://doi.org/10.20535/2218-930032023301934>
- Laipan, M., Xiang, L., Yu, J., & Martin, B. R. (2020). Progress in Materials Science Layered intercalation compounds : Mechanisms , new methodologies , and advanced applications. *Progress in Materials Science Journal*, 109(100631 Contents), 1–37. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2019.100631>
- Length, F. (2022). A Review on Ag / Bentonite and ZnO / Bentonite Nanocomposite : Synthesis and their Applications Adisu Girma Madda Walabu University , College of Natural and Computational Science , Department of. *Journal of Equity in Sciences & Sustainable Development*, 5(2), 82–100. <https://doi.org/10.20372/mwu.jessd.2022.1538>
- Litefti, K., Freire, M. S., Stitou, M., & González-álvarez, J. (2019). Adsorption of an anionic dye ( Congo red ) from aqueous solutions by pine bark. *Scientific Reports*, 9(16530), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53046-z>
- Marina, B., Panova, B., Burevski, D., & Stojanovska, L. (2004). The adsorption characteristics and porous structure of bentonite adsorbents as determined from the adsorption isotherms of benzene vapor. *J.Serb.Chem.Soc.*, 69(2), 145–151.
- Mashkoo, F., & Nasar, A. (2020). Magsorbents : Potential candidates in wastewater treatment technology – A review on the removal of methylene blue dye. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 500(166408). <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2020.166408>
- Miyazaki, H., Kitano, Y., Makinose, Y., Handa, M., Nakashima, T. 2019. Synthesis Of Large-swelling Na-Type Bentonite By Hydrothermal Ion Eexchange. *Clay Science*, 23(3), 47–53. [https://doi.org/10.11362/jcssjclayscience.23.3\\_47](https://doi.org/10.11362/jcssjclayscience.23.3_47)
- Mustapha, S., Ndamitso, M. M., Abdulkareem, A. S., Tijani, J. O., & Ajala, D. T. S. A. O. (2020). Application of - TiO<sub>2</sub> and ZnO nanoparticles immobilized on clay in wastewater treatment : a review. *Applied Water*

*Science.*

<https://doi.org/10.1007/s13201-019-1138-y>

- Mostafa H. Mohamed, Taha M. Elmorsi and H. M. Abdelbary. (2023). Enhanced Adsorption of Anionic Dyes using Sr-Doped ZnO Nanoparticles: Nonlinear Kinetics and Isotherm Studies. *Al-Azhar Bulletin of Science*: Vol. 34: Iss. 3, Article 2. DOI: <https://doi.org/10.58675/2636-3305.1654>
- Mohammed Ismael. (2020). The photocatalytic performance of the ZnO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> composite photocatalyst toward degradation of organic pollutants and its inactivity toward hydrogen evolution: The influence of light irradiation and charge transfer. *Chemical Physics Letters* 739 (2020) 136992. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2019.136992>
- Nguyen, T. H., Chen, Y., & Wang, L. (2020). Hydrothermal synthesis of ZnO-Bentonite nanocomposites and their enhanced adsorption and photocatalytic activity for dye removal. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(6), 104326. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104326>
- Nurzihan, A., Hrp, N., Siregar, S. H., & Nasution, H. (2019). Bentonit Termodifikasi Ethylene Diamine Tetra Aceticacid ( Edta ). *Prosiding SainsTeKes Semnas MIPAKes UMRi Vol.: 1*, 1–13.
- Nikom Srikacha, Manop Sriuttha, Lamyai Neeratanaphan. (2022). The Improvement of Natural Thai Bentonite Modified with Cationic Surfactants on Hexavalent Chromium Adsorption from an Aqueous Solution. *Adsorption Science & Technology* Volume 2022, Article ID 4444164. <https://doi.org/10.1155/2022/4444164>
- Olusakin, P., Oladiran, T., Oyinkansola, E., & Joel, O. (2022). Results in Engineering Methylene blue dye : Toxicity and potential elimination technology from wastewater. *Results in Engineering*, 16(September),100678. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100678>
- Omnia I. M. Ali, Eman A. El Menofy & Abdel Hakim H. T. Kandil. (2019). *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. <https://doi.org/10.1080/03067319.2019.1639689>
- Online, V. A., Liu, J., & Zhang, G. (2014). Recent advances in synthesis and applications of clay-based photocatalysts: a review.

*Phys.Chem.Chem.Phys.*, 16(8178), 8178–8192.  
<https://doi.org/10.1039/c3cp54146k>

- Özgür, Ü., Alivov, Y. I., & Liu, A. T. (2005). A comprehensive review of ZnO materials and devices. *Journal Of Applied Physics*, 98(041301).
- P. Ajith, J. Agnes, M. Sappani Muthu. (2021). Synthesis and Characterization Studies of Pure ZnO and Bentonite Doped ZnO Nanocrystals. *JETIR* September 2021, Volume 8, Issue 9.
- Patil, S. P., Kailas, V., & Sonawane, G. H. (2017). Kinetics of photocatalytic degradation of Methylene Blue by ZnO-bentonite nanocomposite. *Iranian Chemical Communication*, 5, 417–428.
- Peter Olusakin Oladoye, Timothy Oladiran Ajiboye. (2022). Methylene blue dye: Toxicity and potential elimination technology from wastewater. *Results in Engineering* 16 (2022) 100678.  
<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100678>
- Pratiwi, J., Putri, S. E., Pratiwi, D. E., & Sari, A. I. W. (2022). Sintesis Dan Karakterisasi Komposit ZnO-Bentonit. *Jambura Physics Journal*, 4, 70–76. <https://doi.org/10.34312/jpj.v4i1.13603>
- Priatna, S. J., Hakim, Y. M., Wibyan, S., Sailah, S., & Mohadi, R. (2023). Interlayer Modification of West Java Natural Bentonite as Hazardous Dye Rhodamine B. *Science and Technology Indonesia*, 8(2).  
<https://doi.org/10.26554/sti.2023.8.2.160-169>
- Puchongkawarin, C., Jaiharn, W., & Thongfuang, S. (2020). Comprehensive Studies on Methylene Blue Adsorption onto Na-bentonite Clay and its Kinetics , Isotherm and Thermodynamics Comprehensive Studies on Methylene Blue Adsorption onto Na-bentonite Clay and its Kinetics, Isotherm and Thermodynamics. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 736(022013).  
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/736/2/022013>
- R. Deepa, D. Muthuraj, E. Kumar, V. Veeraputhiran. (2019). Microwave Assisted Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles and Its Antimicrobial Efficiency. *Journal of Nanoscience and Technology* Volume 5 Issue 1 (2019) 640–641. <https://doi.org/10.30799/jnst.215.19050116>
- S. Mustapha, M. M. Ndamitso, A. S. Abdulkareem. (2020). Application of TiO<sub>2</sub> and ZnO nanoparticles immobilized on clay in wastewater treatment: a

- review. *Applied Water Science* (2020) 10:49.  
<https://doi.org/10.1007/s13201-019-1138-y>
- Sachin, Pramanik, B. K., Singh, N., Zizhou, R., Houshyar, S., & Cole, I. (2023). Fast and Effective Removal of Congo Red by Doped ZnO Nanoparticles. *Nanomaterials*, 13(566).  
<https://doi.org/10.3390/nano13030566>
- Sahan, Y. (2012). Penentuan Daya Jerap Bentonit Dan Keseimbangan Adsorpsi Bentonit Terhadap IONCu ( II ). *Chem. Prog*, 5(2), 93–99.
- Saiqa Sardar, Atta Ur Rahman, Bakhtawar Khan *et al.* (2024). Vaccinium macrocarpon Based Fe-Doped ZnO Nanoparticles as an Alternate Against Resistant Uropathogens. *BioNanoScience* (2024) 14:2649–2664.  
<https://doi.org/10.1007/s12668-024-01576-w>
- Sasikala, S. P., Nibila, T. A., Babitha, K. B., Azeez, A., & Mohamed, P. (2019). Competitive Photo-Degradation Performance Of ZnO Modified Bentonite Clay In Water Containing Both Organic And Inorganic Contaminants. *Sustainable Environment Research*, 29:1, 1–12.  
<https://doi.org/10.1186/s42834-019-0001-z>
- Sena Megersa Jida and Enyew Amare Zerefa. (2023). Preparation and photocatalysis of ZnO/bentonite based on adsorption and photocatalytic activity. *Mater. Res. Express* 10 (2023) 035502.  
<https://doi.org/10.1088/2053-1591/acbf0f>
- Sishu Hailemariam Tadesse. (2022). Application of Ethiopian bentonite for water treatment containing zinc. *Emerging Contaminants* 8 (2022) 113e122.  
<https://doi.org/10.1016/j.emcon.2022.02.002>
- Sitepu, O. C., Ratnayani, O., & Suprihatin, I. E. (2016). Sintesis Komposit ZnO-Bentonit Dan Penggunaannya Dalam Proses Degradasi Methyl Orange. *Cakra Kimia*, 4, 153–160.
- Stephanie Giraldo, Nancy Y. Acelas, *et al.* (2022). Application of Orange Peel Waste as Adsorbent for Methylene Blue and Cd<sup>2+</sup> Simultaneous Remediation. *Molecules* 2022, 27, 5105.  
<https://doi.org/10.3390/molecules27165105>



- Suprihatin, I. E., Dewi, N. W. S. P., & Suarsa, I. W. (2023). Sintesis Dan Karakterisasi Bentonit- ZnO Serta Pemanfaatannya Dalam Degradasi Limbah Industri Pencelupan. *Jurnal Kimia (Journal Of Chemistry)*, 17(1). <https://doi.org/10.24843/JCHEM.2023.v17.i01.p10>
- Tadesse, S. H. (2022). Application of Ethiopian bentonite for water treatment containing zinc. *Emerging Contaminants*, 8, 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2022.02.002>
- Tripathi, S. K., et al. (2020). "Synergistic effect of ZnO nanoparticles in bentonite-based composites for environmental applications." *Materials Research Bulletin*, 128, 110919.
- Tkaczyk, A., Mitrowska, K., Posyniak, A. 2020. Synthetic organic dyes as contaminants of the aquatic environment and their implications for ecosystems: A review. *Science of The Total Environment*, 717, 137222. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137222>
- Tonmoy Chakraborty, Aratrika Chakraborty, Madhulata Shukla & Tanmay Chattopadhyay. (2019). ZnO–Bentonite nanocomposite: an efficient catalyst for discharge of dyes, phenol and Cr(VI) from water. *Journal of Coordination Chemistry*. <https://doi.org/10.1080/00958972.2018.1560429>
- Widiantini, N. L. P., Sibarani, J., & Manurung, M. (2013). Studi Fotodegradasi Congo Red Menggunakan UV/ZnO/Reagen Fenton Ni. *Jurnal Kimia (Journal Of Chemistry)*, 7(1), 82–90
- Widihati, I. A. G., Manurung, M., & Putri, N. G. A. D. A. S. N. P. A. J. S. (2022). Sintesis Dan Karakterisasi Sifat Fisik Dan Kimia Katalis Bentonit-ZnO. *Jurnal Kimia (Journal Of Chemistry)*, 16(2), 220–225. <https://doi.org/10.24843/JCHEM.2022.v16.i02.p13>
- Xiong, X., & Lee, K. J. (2024). Analytical modeling of bentonite swelling with experimental validations through hydrothermal reaction and free swelling index measurement. *Progress in Nuclear Energy*, 169(105066). <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2024.105066>.
- Yang, C., et al. (2021). Factors influencing the adsorption of dyes onto ZnO-

modified bentonite: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5), 105412.

Yujin Byun, Chanyoung Seo, Taehyun Yun, et al. (2023). Prediction of Na- and Ca-montmorillonite contents and swelling properties of clay mixtures using Vis-NIR spectroscopy. *Geoderma* 430 (2023) 116294.  
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116294>

Yusuf Mathiinul Hakim, Risfidian Mohadi, Mardiyanto, Idha Royani. (2023). Ammonium-Assisted Intercalation of Java Bentonite as Effective of Cationic Dye Removal. *Journal of Ecological Engineering* 2023, 24(2), 184–195. <https://doi.org/10.12911/22998993/156665>

Zhang, H., Chen, N., Tong, Z., Liu, Q., Tang, Y., Zhou, Z., & Shi, H. (2017). Adsorption of Methylene Blue and Congo Red on Bentonite Modified with CaCO<sub>3</sub>. *Key Engineering Materials*, 727, 853–858.  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.727.853>.

Zhao, W., et al. (2020). Removal of toxic dyes using ZnO-clay composites: Mechanisms and optimization. *Journal of Cleaner Production*, 276, 124295.

Zhu, H., Jia, Y., Wu, X., & Wang, H. (2020). Synthesis of ZnO-Bentonite composites for enhanced adsorption of Methylene Blue from aqueous solutions. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104014.