

**PEMANFAATAN LIMBAH LUMPUR MINYAK BUMI (*OIL SLUDGE*)
MENJADI OKSIDA Al-Fe/C SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Bidang Studi Kimia**



**Oleh :
ALYA SELVIANI
08031282126076**

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

**PEMANFAATAN LIMBAH LUMPUR MINYAK BUMI (OIL SLUDGE)
MENJADI OKSIDA Al-Fe/C SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Bidang Studi Kimia**

Oleh :

**Alya Selviani
08031282126076**

Dosen Pembimbing



**Dr. Zainal Fanani, M.Si
NIP. 196708211995121001**

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D
NIP. 197111191997021001**

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi Alya Selviani (08031282126076) dengan judul "Pemanfaatan Limbah Lumpur Minyak Bumi (*Oil Sludge*) Menjadi Oksida Al-Fe/C Sebagai Adsorben Zat Warna" telah disidangkan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 22 Mei 2025 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 23 Mei 2025

Pembimbing

1. **Dr. Zainal Fanani, M.Si**
NIP. 196708211995121001



Penguji

1. **Prof. Drs. Dedi Rohendi, M.T, P.hD.**
NIP. 196704191993031001
2. **Dra. Julinar, M.Si.**
NIP. 196507251993032002



Mengetahui,

Dekan FMIPA



Prof. Hermansyah, S.Si, M.Si., Ph.D
NIP. 197111191997021001

Ketua Jurusan Kimia



Prof. Dr. Muharni, M.Si.
NIP. 196903041994122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Alya Selviani

NIM : 08031282126076

Fakultas Jurusan : MIPA/Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata (SI) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain. Semua informasi yang dimuat dalam skripsi ini yang berasal dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar. Semua isi dari skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Indralaya, 23 Mei 2025

Penulis



Alya Selviani

NIM. 08031282126076

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Alya Selviani
NIM : 08031282126076
Fakultas Jurusan : MIPA/Kimia
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya " Pemanfaatan Limbah Lumpur Minyak Bumi (*Oil Sludge*) menjadi Oksida Al-Fe/C sebagai Adsorben Zat Warna" dengan hak bebas royalti non-eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, edit memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 23 Maret 2025



Alya Selviani
NIM. 08031282126076

HALAMAN PERSEMBAHAN

"Jangan menunggu sempurna untuk memulai. Mulailah, dan kesungguhan akan membawamu pada kebaikan yang lebih besar."

Imam Al-Ghazali

“Jangan pernah lelah melangkah, karena setiap langkah yang kita tempuh dengan niat baik adalah bagian dari ibadah. Percayalah, Allah menilai setiap usaha, bukan hanya hasilnya.”

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Allah SWT. Tuhan Yang Maha Esa.
2. Dosen Pembimbing (Bapak Dr. Zainal Fanani, M.Si.).
3. Bapak, Ibu, Kakak, dan Adik yang senantiasa mendoakan dan mendukung
4. Sahabat, yang menjadi penguat dalam suka dan duka perjalanan ini.
5. Rekan-rekan yang terlibat dan membantu dalam penelitian.
6. Teman-teman seperjuangan dan Almamater yang aku banggakan, Universitas Sriwijaya.
7. Diriku sendiri.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim,

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT. atas segala rahmat, hidayah, dan inayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan karya tulis ini yang berjudul “Pemanfaatan Limbah Lumpur Minyak Bumi (*Oil Sludge*) Menjadi Oksida Al-Fe/C Sebagai Adsorben Zat Warna”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya. Shalawat dan salam semoga tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, suri teladan umat manusia, beserta keluarga dan para sahabat beliau.

Penyusunan karya ini tidak terlepas izin Allah SWT dan dukungan dari berbagai pihak. Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. Zainal Fanani, M.Si. yang banyak memberikan motivasi, saran, bimbingan, dan bantuannya kepada penulis dalam perkuliahan dan penulisan skripsi hingga skripsi ini selesai. Dengan penuh hormat penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan nikmat-Nya yang sangat luar biasa kepada penulis.
2. Keluarga saya (Ayah, Ibu, Kakak, Adek) yang sudah banyak memberikan doa, materi, serta motivasi selama penulis mengerjakan penelitian dan penyusunan skripsi.
3. Bapak Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph. D selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
5. Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
6. Bapak Dr. Zainal Fanani, M.Si. selaku dosen pembimbing akademik sekaligus dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan atas segala ilmu, bimbingan, serta nasihat berharga yang Bapak berikan sejak awal perkuliahan hingga akhirnya penulis dapat

menyelesaikan studi dan meraih gelar sarjana. Semoga segala kebaikan yang Ibu berikan menjadi amal jariyah, dibalas dengan keberkahan dari Allah SWT, serta senantiasa dianugerahi kesehatan, usia yang panjang, dan kemudahan dalam setiap urusan. Aamiin.

7. Bapak Prof. Dr. Dedi Rohendi, M.T dan Ibu Dra. Julinar, M.Si selaku dosen penguji seminar dan sidang saya. Penulis mengucapkan terima kasih yang tulus atas waktu, perhatian, serta masukan yang diberikan selama proses pengerjaan skripsi ini. Semoga segala ilmu dan kebaikan yang telah diberikan menjadi amal yang diridhai Allah SWT, dan semoga Bapak dan Ibu senantiasa diberikan kesehatan, keberkahan usia, dan kemudahan dalam setiap langkah. Aamiin.
8. Ibu Dr. Nurlisa Hidayati, M. Si. selaku kepala laboratorium kimia anorganik yang selalu mengingatkan penulis untuk selalu berdoa dan memberikan masukan untuk skripsi penulis.
9. Seluruh Dosen FMIPA Universitas Sriwijaya telah memberikan banyak hal ilmu, mendidik dan membimbing selama perkuliahan.
10. Yuk Nur, Yuk Niar, dan Mba Yanti selaku analis kimia yang telah membantu selama penelitian, semoga kebaikan kalian selalu dibalas oleh Allah SWT.
11. Kak Iin dan Mba Novi selaku admin jurusan kimia yang selalu membantu dalam persoalan surat menyurat selama perkuliahan hingga lulus.
12. Sahabat saya “Sesiana Dewi Kamila” terimakasih banyak tidak pernah lelah berteman dengan penulis, selalu memastikan penulis dalam keadaan baik, serta selalu mencari penulis ketika penulis hilang. Walaupun kita bukan keluarga tapi Anda selalu seperti keluarga bagi penulis. Semangat mencari loker dan semoga ditahun ini tahun terbaik bagimu.
13. Sahabat saya “SiMerah” (Devimultiani, Vema, Melli) terima kasih banyak telah menjadi teman baik penulis semasa kuliah ini. Kalian selalu menjadi orang penting bagi penulis, semangat buat kalian dalam meraih gelar S.Si dan mencari pekerjaan semoga seluruh urusan kita selalu dipermudah dan diridhoi Allah. Aamiin.
14. Sahabat saya “Putri Anika Sari” terima kasih banyak tidak pernah meninggalkan penulis dan selalu mensupport penulis dalam keadaan apapun.

Terima kasih atas setiap kebaikan yang tak pernah diminta balasannya, atas tangan yang selalu hadir saat penulis goyah, dan atas kesediaanmu menjadi tempat singgah di tengah dunia kimia yang riweh. Terima kasih telah menjadi rumah yang bisa dijumpai di Kimia Raya. Apa pun arah hidup yang kelak kita pilih, semoga langkahmu senantiasa ringan, hatimu selalu lapang, dan bahagiamu tak pernah enggan mampir. Semoga hal baik selalu mengiringimu.. Jangan berhenti bercerita sebab setiap kisahmu, suka maupun duka, tetap berarti untuk dibagi.

15. Putri Azzahra, Diyan Priyani, Excel Debora Silaen dan Adelia Indriani, terimakasih sudah menjadi teman terbaik penulis selama masa studi. Tetap hebat di jalan kalian masing-masing ya dan semoga setiap langkah kalian selalu ringan dan dipermudah. aamiin
16. Teman penelitian saya (Husnul, Kak Tiara) terima kasih banyak telah menemani penullis di lab, revisian, konsultasi. Terima kasih telah memberi warna di hidup penulis ketika sedih, kesal, dan jadi tempat curahan hati semoga setelah ini kalian selalu mendapatkan keberuntungan dan diiringi kebahagiaan dalam hidup. aamiin
17. Sosok yang tidak pernah disangka-sangka Raihan Naufal Mukhlisin, terima kasih selalu menemani penulis dimasa praktikum, koas, perkuliahan, seminar, dan sidang sarjana. Terima kasih selalu sabar dengan keriwahan dan mood swing penulis, selalu menjadi tempat nyaman buat penulis, serta selalu menjadi cahaya dijalan penulis. Terima kasih telah menjadi bagian hidup penulis. Semoga apa yang dibangun tidak runtuh, semoga seluruh urusan dipermudah Allah SWT, dan yang menjadi doaku, menjadi doamu juga. aamiin.
18. Teman-teman seperjuangan Kimia Angkatan 2021, terimakasih sudah mengukir cerita indah selama masa studi penulis. Selamat berjuang di jalan masing-masing ya kalian.
19. Semua rekan yang terlibat dalam hidup penulis yang tidak bisa penulis tulis satu per satu. Terima kasih banyak, dimanapun kalian berdiri semoga kalian yang paling bersinar.

20. Diri sendiri, terima kasih banyak selalu mencoba untuk menjadi manusia yang baik, manusia yang bermoral, dan manusia yang selalu mencoba. Terima kasih telah terus melangkah, meski sering kali dengan kaki yang gemetar dan hati yang nyaris runtuh. Banyak hal dan rasa lelah yang tak terlihat, air mata yang diam-diam jatuh, dan malam-malam yang penuh doa dalam diam, kamu tidak menyerah. Kamu tetap berdiri, bahkan saat kamu sendiri tak tahu dari mana kekuatan itu datang. Apa pun yang akan kamu hadapi setelah ini, percayalah: kamu layak bahagia. Kamu pantas untuk hidup dengan tenang, dicintai sepenuhnya termasuk oleh dirimu sendiri. Terus bertumbuh dan terus sembuh.

Penulis menyadari bahwa karya ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang. Akhir kata, semoga karya ini dapat memberikan manfaat dan menjadi amal kebaikan di sisi Allah SWT.

Indralaya, 23 Maret 2025



Alya Selviani

NIM. 08031282126076

SUMMARY
UTILIZATION OF OIL SLUDGE WASTE INTO Al-Fe/C OXIDE AS A
DYE ADSORBENT

Alya Selviani : Supervised by Dr. Zainal Fanani, M.Si.

Chemistry, Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University

xix + 96 pages, 20 figures, 6 tables, 19 attachments.

This study focuses on the development of an adsorbent derived from oil sludge activated with sulfuric acid (H_2SO_4) using a hydrothermal method as a solution for reducing hazardous and toxic waste (B3). The high carbon, iron, and aluminium content in the sludge was utilized to synthesize Al-Fe/C oxide adsorbents for the removal of methylene blue and eriochrome black T dyes. The research aimed to analyze the morphology and metal components of the oil sludge powder using SEM-EDX and to determine the number of Bronsted and Lewis acid sites using FTIR. The optimal adsorption conditions of the Al-Fe/C oxide adsorbent were evaluated through variations in pH, contact time, and dye concentration. Adsorption isotherms and kinetics were also analyzed to assess the adsorbent's performance.

The sludge powder contained 51.7% carbon, 10.8% iron, and 1.6% aluminium, with an irregular surface structure. Acidity measurements showed surface acidity of 0.646 mmol/g, internal acidity of 4.9878 mmol/g, and total acidity of 5.6338 mmol/g. The optimal conditions for methylene blue adsorption occurred at pH 7, with a contact time of 120 minutes and a concentration of 90 mg/L, while for eriochrome black T, optimum adsorption was achieved at pH 3, 180 minutes, and 70 mg/L. The adsorption process followed a pseudo-second-order kinetic model with rate constants of 0.0712 g/mg.min for methylene blue and 0.0028 g/mg.min for eriochrome black T. The adsorption of methylene blue followed the Freundlich isotherm ($R^2 = 0.9491$), indicating multilayer adsorption, while eriochrome black T followed the Langmuir isotherm ($R^2 = 0.9325$), indicating monolayer adsorption.

Keywords : oil sludge, Al-Fe/C adsorbent, methylene blue, eriochrome black T, adsorption

Citations : 64 (2005-2025)

RINGKASAN

PEMANFAATAN LIMBAH LUMPUR MINYAK BUMI (*OIL SLUDGE*) MENJADI OKSIDA Al-Fe/C SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA

Alya Selviani : Dibimbing oleh Dr. Zainal Fanani, M.Si.

Kimia, Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya

xix + 96 halaman, 20 gambar, 6 tabel, 19 lampiran.

Penelitian ini mengenai pembuatan adsorben dari lumpur minyak bumi yang diaktivasi dengan asam sulfat (H_2SO_4) menggunakan metode hidrotermal sebagai solusi pengurangan limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Kandungan karbon, besi, dan aluminium dalam limbah dapat digunakan sebagai adsorben oksida Al-Fe/C untuk mengadsorpsi zat warna metilen biru dan eriokrom hitam T. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis morfologi dan komponen logam dari serbuk *oil sludge* menggunakan SEM-EDX serta jumlah situs asam Bronsted dan Lewis menggunakan FTIR. Penentuan kondisi optimum adsorben oksida Al-Fe/C yang dievaluasi melalui adsorpsi metilen biru dan eriokrom hitam T pada berbagai variasi pH, waktu kontak dan konsentrasi zat warna. Model isoterm dan kinetika adsorpsi kedua zat warna dianalisis untuk memahami kinerja adsorben.

Hasil penelitian didapatkan kandungan C (51,7%), Al (1,6%), Fe(10,8%) di dalam serbuk *oil sludge* dengan struktur permukaan tidak merata. Keasaman serbuk *oil sludge* pada keasaman permukaan (0,646 mmol/g), keasaman dalam (4,9878 mmol/g), dan keasaman total (5,6338 mmol/g). Kondisi optimum adsorben oksida Al-Fe/C dalam mengadsorpsi zat warna metilen biru pada pH 7 dengan waktu kontak 120 menit dan konsentrasi zat warna 90 mg/L, sedangkan kondisi optimum adsorben oksida Al-Fe/C dalam mengadsorpsi zat warna eriokrom hitam T pada pH 3 dengan waktu kontak 180 menit dan konsentrasi zat warna 70 mg/L. Kinetika adsorpsi mengikuti model *pseudo*-orde dua, dengan konstanta laju masing-masing 0,0712 g/mg.menit (metilen biru) dan 0,0028 g/mg.menit (eriokrom hitam T). Isoterm adsorpsi metilen biru sesuai model Freundlich ($R^2 = 0,9491$), sedangkan eriokrom hitam T mengikuti Langmuir ($R^2 = 0,9325$).

Kata Kunci : lumpur minyak bumi, adsorben oksida Al-Fe/C, metilen biru, eriokrom hitam T, adsorpsi

Sitasi : 64 (2005-2025).

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
SUMMARY	xi
RINGKASAN	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1. 1 Latar Belakang.....	1
1. 2 Rumusan Masalah	2
1. 3 Tujuan Penelitian.....	3
1. 4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2. 1 Limbah Lumpur Minyak Bumi (<i>Oil Sludge</i>).....	4
2. 2 Aktivasi Kimia.....	6
2. 3 Metode Hidrotermal	7
2. 4 Metode Karakterisasi.....	8
2.4.1 <i>Scanning Electron Microscope Energy Dispersive</i> <i>X-Ray (SEM-EDX)</i>	8
2.4.2 Adsorpsi.....	10
2.4.2.1 Isoterm Langmuir	10
2.4.2 Isoterm Freundlich	10
2.4.2 Kinetika Adsorpsi	10
2.4.3 Spektrofotometer UV-Vis	15

2. 5 Zat Warna	16
2.5.1 <i>Methylene Blue</i>	16
2.5.2 <i>Eriochrome Black T</i>	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3. 1 Waktu dan Tempat.....	19
3. 2 Alat dan Bahan	19
3.3. 1 Alat	19
3.3. 2 Bahan.....	19
3. 3 Prosedur Penelitian	19
3.3. 1 Preparasi Limbah Lumpur Minyak Bumi (<i>Oil Sludge</i>)	19
3.3. 2 Karakterisasi Serbuk <i>Oil Sludge</i>	20
3.3.2.1 Penentuan Keasaman dan Luas Permukaan Serbuk <i>Oil Sludge</i> menggunakan Amonia dan Piridin	20
3.3. 3 Aktivasi Kimia Adsorben Oksida Al-Fe/C	21
3.3.4 Penentuan pH _{pzc} (<i>Point Zero Charge</i>)	21
3.3.5 Preparasi Zat Warna	21
3.3.5.1 Pembuatan Larutan Induk Zat Warna <i>Methylene Blue</i> dan <i>Eriochrome Black T</i>	21
3.3.5.2 Penentuan Nilai Panjang Gelombang Maksimum Zat Warna <i>Methylene Blue</i> dan <i>Eriochrome Black T</i>	21
3.3.5.3 Penentuan Kurva Kalibrasi Zat Warna <i>Methylene Blue</i> dan <i>Eriochrome Black T</i>	21
3.3.6 Penentuan Kondisi Optimum Adsorben Oksida Al-Fe/C dengan Metode Adsorpsi Menggunakan Zat Warna <i>Methylene Blue</i> dan <i>Eriochrome</i> <i>Black T</i>	22
3.3.6.1 Pengaruh pH	23
3.3.6.2 Pengaruh Waktu Kontak	23
3.3.6.3 Pengaruh Konsentrasi Awal Zat Warna	23
3.3. 7 Analisis Data	23
3.3.7.1 Penentuan Kapasitas Adsorpsi	23
3.3.7.2 Penentuan Kinetika Adsorpsi	23
3.3.7.3 Penentuan Isoterm Adsorpsi	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	26

4.1	Identifikasi Morfologi Serbuk <i>Oil Sludge</i> dengan <i>Scanning Electron Mikroscope Energy Dispersive</i> <i>X-Ray</i> (SEM-EDX).....	26
4.2	Karakteristik Serbuk <i>Oil Sludge</i>	27
4.2.1	Keasaman dan Luas Permukaan Serbuk <i>Oil</i> <i>Sludge</i> menggunakan Piridin dan Amonia.....	27
4.2.2	Karakteristik Serbuk <i>Oil Sludge</i> Hasil Uji Keasaman Amonia dan Piridin dengan Menggunakan FTIR.....	29
4.3	Aktivasi Kimia Oksida Al-Fe/C	31
4.4	pHpzc (<i>Point Zero Charge</i>).....	32
4.5	Penentuan Kondisi Optimum Zat Warna <i>Methylene Blue</i> dan <i>Eriochrome Black T</i> oleh Adsorben Serbuk <i>Oil Sludge</i> dan Oksida Al-Fe/C	33
4.5.1	pH Optimum.....	33
4.5.2	Waktu Kontak Optimum	35
4.5.3	Konsentrasi Awal Larutan Zat Warna.....	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		42
5.1	Kesimpulan.....	42
5.2	Saran	42
DAFTAR PUSTAKA		43
LAMPIRAN.....		49

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Limbah Lumpur Minyak Bumi (<i>Oil Sludge</i>)	4
Gambar 2. Skema Proses Pembentukan Limbah Lumpur Minyak Bumi	5
Gambar 3. Skema Komponen Inti SEM-EDX	8
Gambar 4. Hasil SEM Limbah Lumpur Minyak Bumi (<i>Oil Sludge</i>)	10
Gambar 5. Mekanisme Adsorpsi Antara Adsorben Dan Adsorbat	11
Gambar 6. Lapisan <i>Monolayer</i> Pada Model Isoterm Langmuir	13
Gambar 7. Lapisan <i>Multilayer</i> Pada Model Isoterm Freundlich	13
Gambar 8. Prinsip Kerja Spektrofotometer UV-Vis	16
Gambar 9. Struktur Kimia <i>Methylene Blue</i>	17
Gambar 10. Struktur Kimia <i>Eriochrome Black T</i>	17
Gambar 11. Hasil Pengujian SEM dari Limbah Lumpur Minyak Bumi Pada Perbesaran 500x	26
Gambar 12. Luas Permukaan Serbuk <i>Oil Sludge</i>	29
Gambar 13. Spektra FTIR Serbuk <i>Oil Sludge</i> menggunakan Amonia dan Piridin.....	30
Gambar 14. Nilai pH _{pzc} Adsorben Serbuk <i>Oil Sludge</i> dan Oksida Al-Fe/C	32
Gambar 15. Grafik Hubungan pH Larutan <i>Methylene Blue</i> terhadap Kapasitas Adsorpsi	33
Gambar 16. Grafik Hubungan pH Larutan <i>Eriochrome Black T</i> terhadap Kapasitas Adsorpsi	34
Gambar 17. Grafik Hubungan Waktu Kontak Larutan <i>Methylene Blue</i> terhadap Kapasitas Adsorpsi	35
Gambar 18. Grafik Hubungan Waktu Kontak Larutan <i>Eriochrome Black T</i> terhadap Kapasitas Adsorpsi	36
Gambar 19. Grafik Hubungan Kapasitas Adsorpsi terhadap Konsentrasi Awal Larutan <i>Methylene Blue</i>	38
Gambar 20. Grafik Hubungan Konsentrasi Awal Larutan <i>Eriochrome</i> <i>Black T</i> terhadap Kapasitas Adsorpsi	39

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Komponen Unsur Serbuk <i>Oil Sludge</i>	27
Tabel 2. Jumlah Situs Keasaman Serbuk <i>Oil Sludge</i>	28
Tabel 3. Model Kinetika Adsorpsi Zat Warna <i>Methylene Blue</i> dengan Adsorben Serbuk <i>Oil Sludge</i> dan Oksida Al-Fe/C	37
Tabel 4. Model Kinetika Adsorpsi Zat Warna <i>Eriochrome Black T</i> dengan Adsorben Serbuk <i>Oil Sludge</i> dan Oksida Al-Fe/C	38
Tabel 5. Isoterm Adsorpsi Zat Warna <i>Methylene Blue</i> dengan Adsorben Serbuk <i>Oil Sludge</i> dan Oksida Al-Fe/C	40
Tabel 6. Isoterm Adsorpsi Zat Warna <i>Eriochrome Black T</i> dengan Adsorben Serbuk <i>Oil Sludge</i> dan Oksida Al-Fe/C	41

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Skema Kerja	50
Lampiran 2. Hasil Karakterisasi SEM-EDX Serbuk <i>Oil Sludge</i> dengan Perbesaran 250x, 500x, 1000x	51
Lampiran 3. Perhitungan Jumlah Keasaman Serbuk <i>Oil Sludge</i> dengan Amonia dan Piridin	53
Lampiran 4. Perhitungan Luas Permukaan Serbuk <i>Oil Sludge</i> dengan Amonia dan Piridin	55
Lampiran 5. Spektrum FTIR Serbuk <i>Oil Sludge</i> Hasil Uji Keasaman dengan Amonia dan Piridin	56
Lampiran 6. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum <i>Methylene Blue</i> dan <i>Eriochrome Black T</i>	59
Lampiran 7. Penentuan pH <i>Point Zero Charge</i> (pH _{pzc})	61
Lampiran 8. Penentuan Kurva Kalibrasi <i>Methylene Blue</i> dan <i>Eriochrome</i> <i>Black T</i>	63
Lampiran 9. Penentuan Kapasitas Adsorpsi Serbuk <i>Oil Sludge</i> dan Oksida Al-Fe/C terhadap Variasi pH Zat Warna <i>Methylene Blue</i>	65
Lampiran 10. Penentuan Kapasitas Adsorpsi Serbuk <i>Oil Sludge</i> dan Oksida Al-Fe/C terhadap Variasi pH Zat Warna <i>Eriochrome Black T</i> ...	68
Lampiran 11. Penentuan Kapasitas Adsorpsi Serbuk <i>Oil Sludge</i> dan Oksida Al-Fe/C terhadap Variasi Waktu Kontak Zat Warna <i>Methylene</i> <i>Blue</i>	71
Lampiran 12. Penentuan Kapasitas Adsorpsi Serbuk <i>Oil Sludge</i> dan Oksida Al-Fe/C terhadap Variasi Waktu Kontak Zat Warna <i>Eriochrome Black T</i>	74
Lampiran 13. Penentuan Kapasitas Adsorpsi Serbuk <i>Oil Sludge</i> dan Oksida Al-Fe/C terhadap Variasi Konsentrasi Awal Zat Warna <i>Methylene Blue</i>	77
Lampiran 14. Penentuan Kapasitas Adsorpsi Serbuk <i>Oil Sludge</i> dan Oksida Al-Fe/C terhadap Variasi Konsentrasi Awal Zat Warna <i>Eriochrome Black T</i>	80

Lampiran 15. Isoterm Adsorpsi Zat Warna <i>Methylene Blue</i> oleh Serbuk <i>Oil Sludge</i> dan Oksida Al-Fe/C	83
Lampiran 16. Isoterm Adsorpsi Zat Warna Eriochrome Black T oleh Serbuk <i>Oil Sludge</i> dan Oksida Al-Fe/C	86
Lampiran 17. Kinetika Adsorpsi Zat Warna <i>Methylene Blue</i> oleh Serbuk <i>Oil Sludge</i> dan Oksida Al-Fe/C	89
Lampiran 18. Kinetika Adsorpsi Zat Warna <i>Eriochrome Black T</i> oleh Serbuk <i>Oil Sludge</i> dan Oksida Al-Fe/C	92
Lampiran 19. Gambar Penelitian	95

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Negara-negara berkembang di kawasan Asia Tenggara, termasuk Indonesia masih memiliki ketergantungan terhadap energi fosil yang dimanfaatkan untuk kegiatan rumah tangga, kebutuhan industri, bisnis, perdagangan dan komersial (Sihombing, 2022). Saat ini, Indonesia memproduksi 860.000 barel minyak bumi per hari sehingga terdapat sekitar 51.000 meter kubik limbah lumpur minyak bumi yang dihasilkan setiap tahunnya (Helmy *and* Kardenia, 2015). Secara umum, limbah lumpur minyak bumi (*oil sludge*) merupakan produk sampingan dari hasil proses pengolahan minyak bumi dengan karakteristik semi-padat dan mengandung 15-50% hidrokarbon minyak bumi, 30-85% air, dan 5-46% partikel padat yang memiliki toksisitas biologis yang tinggi (Chen *et al.*, 2024). Limbah ini mengandung berbagai polutan organik dan logam berat seperti, besi (Fe) dan aluminium (Al) yang memiliki sifat kompresibilitas yang rendah dan kandungan pengotor yang tinggi sehingga limbah lumpur minyak bumi (*oil sludge*) tergolong limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) (Chen *et al.*, 2015).

Metode-metode yang biasanya digunakan untuk mengolah dan membuang limbah lumpur minyak bumi, seperti pirolisis, perawatan ultrasonik, oksidasi kimia, dan pengobatan insinerasi (Du *et al.*, 2021). Sebagai alternatif, limbah lumpur minyak bumi dapat dimanfaatkan sebagai material adsorben karena kandungan karbon dan logamnya yang melimpah. Namun, diperlukan aktivasi menggunakan asam sulfat (H_2SO_4) untuk meningkatkan luas permukaan, porositas, dan jumlah situs aktif karena limbah ini secara alami tidak memiliki situs aktif (Cheng *et al.*, 2024). Salah satu metode sintesis yang efektif adalah metode hidrotermal, yang mampu menghasilkan adsorben dengan luas permukaan tinggi dan distribusi pori seragam serta lebih ramah lingkungan dibandingkan pirolisis suhu tinggi, yang cenderung menyebabkan penyumbatan pori (Nazem & Tavakoli, 2017; Xin *et al.*, 2020). Penelitian yang dilakukan Xin *et al.*, (2020), menunjukkan bahwa aktivasi kimia menggunakan asam sulfat (H_2SO_4) dengan metode hidrotermal pada limbah lumpur mampu meningkatkan kapasitas adsorpsi polutan bisphenol A hingga 137,87 mg/g.

Zat warna sintesis seperti *methylene blue* dan *eriochrome black T* banyak digunakan di berbagai industri dan diketahui sulit terdegradasi secara alami. Zat warna ini dapat meningkatkan toksisitas perairan, bersifat mutagenik, dan karsinogenik, serta mengganggu ekosistem perairan. Penelitian Solmaz, (2024) serbuk limbah biji pinus sebagai adsorben, menghasilkan kapasitas adsorpsi terhadap zat warna masih tergolong rendah. Karbon aktif yang teremban logam masih kurang optimal dalam proses degradasi zat warna sehingga dibutuhkan karbon aktif yang teremban oksida logam untuk meningkatkan sifat adsorben (Akinyemi *et al.*, 2024). Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian terkait material adsorben oksida Al-Fe/C untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi zat warna di lingkungan.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini akan melakukan sintesis dan karakterisasi limbah lumpur minyak bumi sebagai adsorben oksida Al-Fe/C dengan metode hidrotermal untuk degradasi zat warna *methylene blue* dan *eriochrome black T*. Limbah lumpur minyak bumi akan dijadikan serbuk untuk dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX). Karakterisasi serbuk *oil sludge* dilakukan uji keasaman dengan amonia dan piridin dan dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Pembuatan adsorben oksida Al-Fe/C yang diaktivasi secara kimia melalui metode hidrotermal ditentukan kondisi optimumnya dengan cara adsorpsi zat warna seperti *methylene blue* dan *eriochrome black T*. Penentuan kondisi optimum dilakukan dengan variasi pH, waktu kontak, dan konsentrasi zat warna, yang dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

1. 2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana morfologi dan komponen logam yang ada dalam serbuk *oil sludge* menggunakan *Scanning Electron Mikroscope Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX)?
2. Bagaimana karakteristik serbuk *oil sludge* berdasarkan uji keasaman dengan amonia dan piridin?
3. Bagaimana kondisi optimum dari adsorben oksida Al-Fe/C dalam proses adsorpsi zat warna *methylene blue* dan *eriochrome black T*, berdasarkan pH, waktu kontak, dan konsentrasi zat warna?

4. Bagaimana model isoterm dan kinetika adsorpsi adsorben oksida Al-Fe/C terhadap zat warna *methylene blue* dan *eriochrome black T*?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis morfologi dan komponen logam yang terdapat dalam serbuk *oil sludge* menggunakan karakterisasi *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX).
2. Menentukan keasaman serbuk *oil sludge* berdasarkan uji keasaman dengan amonia dan piridin.
3. Mengevaluasi kondisi optimum dari adsorben oksida Al-Fe/C dengan mempertimbangkan variasi pH, waktu kontak, dan konsentrasi zat warna.
4. Menentukan model isoterm dan kinetika adsorpsi adsorben oksida Al-Fe/C terhadap zat warna *methylene blue* dan *eriochrome black T*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dalam mengatasi permasalahan pembuangan limbah lumpur minyak bumi dengan memanfaatkan material tersebut sebagai adsorben oksida Al-Fe/C. Selain itu, penelitian ini juga dapat memberikan informasi mengenai kondisi optimum adsorben oksida Al-Fe/C dalam proses adsorpsi zat warna *methylene blue* dan *eriochrome black T* dengan mempertimbangkan pH, waktu kontak, dan konsentrasi awal zat warna, serta dapat menjadi solusi dalam pengelolaan limbah B3 yang berpotensi mencemari lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdirakhimov, M., Al-Rashed, M. H., & Wójcik, J. (2022). Recent Attempts on the Removal of H₂S from Various Gas Mixtures Using Zeolites and Waste-Based Adsorbents. *Energies*, 15(15). <https://doi.org/10.3390/en15155391>
- Afroze, S., & Sen, T. K. (2018). A Review on Heavy Metal Ions and Dye Adsorption from Water by Agricultural Solid Waste Adsorbents. *Water, Air, and Soil Pollution*, 229(7). <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3869-z>
- Akinyemi, A., Agboola, O., Alagbe, E., & Igbokwe, E. (2024). The role of catalyst in the adsorption of dye: Homogeneous catalyst, heterogeneous catalyst, and advanced catalytic activated carbon, critical review. *Desalination and Water Treatment*, 320(September), 100780. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100780>
- Ali Ahmed, M., Dirar, M., A. Siddig, M., & M. H. Abdalsakhi, S. (2018). The Effect of Eriochrome Black T Concentrations on the Efficiency of Dye-sensitized Solar Cells. *Asian Journal of Research and Reviews in Physics*, 1(May 2017), 1–13. <https://doi.org/10.9734/ajr2p/2018/v1i324624>
- Aly-Eldeen, M. A., El-Sayed, A. A. M., Salem, D. M. S. A., & El Zokm, G. M. (2018). The uptake of Eriochrome Black T dye from aqueous solutions utilizing waste activated sludge: Adsorption process optimization using factorial design. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 44(3), 179–186. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2018.09.001>
- Andure, S. D., & Tiwari, N. (2022). A Complete Review on UV-Visible Spectroscopic Technique. *International Journal of Pharmaceutical Research and Applications*, 7(6), 2456–4494. <https://doi.org/10.35629/7781-070612881299>
- Anggoro, D. D. (2017). *Buku Ajar Teori dan Aplikasi Rekayasa Zeolit* (Issue 1). UNDIP Press. https://www.researchgate.net/profile/Didi-Anggoro-2/publication/321094902_Teori_dan_Aplikasi_Rekayas_Zeolit/links/5b58306ca6fdccf0b2f35495/Teori-dan-Aplikasi-Rekayas-Zeolit.pdf
- Asnawati, A., Kharismaningrum, R. R., & Andarini, N. (2017). Penentuan Kapasitas Adsorpsi Selulosa Terhadap Rhodamin B dalam Sistem Dinamis. *Jurnal Kimia Riset*, 2(1), 23. <https://doi.org/10.20473/jkr.v2i1.3553>
- Badriyah, L., & Kadarwati, S. (2012). Pengaruh Temperatur Pada Reaksi Hidrodenitrogenasi Piridin Dengan Katalis Ni-Mo/Zeolit Alam. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 1(2252).
- Bräuer, P., Ng, P. L., Situmorang, O., Hitchcock, I., & D'Agostino, C. (2017). Effect of Al content on number and location of hydroxyl acid species in zeolites: A DRIFTS quantitative protocol without the need for molar extinction coefficients. *RSC Advances*, 7(83), 52604–52613. <https://doi.org/10.1039/c7ra10699h>
- Chen, H., Wang, X., Liang, H., Chen, B., Liu, Y., Ma, Z., & Wang, Z. (2024). Characterization and treatment of oily sludge: A systematic review.

- Environmental Pollution*, 344(October 2023), 123245. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.123245>
- Chen, Z., Zhang, W., Wang, D., Ma, T., & Bai, R. (2015). Enhancement of activated sludge dewatering performance by combined composite enzymatic lysis and chemical re-flocculation with inorganic coagulants: Kinetics of enzymatic reaction and re-flocculation morphology. *Water Research*, 83, 367–376. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.06.026>
- Cheng, H., Peng, L., Liu, J., Ma, C., Hao, F., Zheng, B., & Yang, J. (2024). Adsorption Separation of Various Polar Dyes in Water by Oil Sludge-Based Porous Carbon. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(16). <https://doi.org/10.3390/app14167283>
- Cheng, S., Chang, F., Zhang, F., Huang, T., Yoshikawa, K., & Zhang, H. (2018). Progress in thermal analysis studies on the pyrolysis process of oil sludge. *Thermochimica Acta*, 663(January), 125–136. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2018.01.006>
- Du, M., Li, J., Wang, F., Li, X., Yu, T., & Qu, C. (2021). The sludge-based adsorbent from oily sludge and sawdust: preparation and optimization. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 42(20), 3164–3177. <https://doi.org/10.1080/09593330.2020.1725138>
- Edwan Kardenia, Q. H. (2015). Petroleum Oil and Gas Industry Waste Treatment; Common Practice in Indonesia. *Journal of Petroleum & Environmental Biotechnology*, 06(05). <https://doi.org/10.4172/2157-7463.1000241>
- El Jery, A., Alawamleh, H. S. K., Sami, M. H., Abbas, H. A., Sammen, S. S., Ahsan, A., Imteaz, M. A., Shanableh, A., Shafiquzzaman, M., Osman, H., & Al-Ansari, N. (2024). Isotherms, kinetics and thermodynamic mechanism of methylene blue dye adsorption on synthesized activated carbon. *Scientific Reports*, 14(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50937-0>
- Ellingham, S. T. D., Thompson, T. J. U., & Islam, M. (2018). Scanning Electron Microscopy–Energy-Dispersive X-Ray (SEM/EDX): A Rapid Diagnostic Tool to Aid the Identification of Burnt Bone and Contested Cremains. *Journal of Forensic Sciences*, 63(2), 504–510. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13541>
- Fachrully S, A., Erna S, N., & Susilo. (2021). Analisis Citra Hasil Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive X-Ray (SEM EDX) Komposit Resin Timbal dengan Metode Contrast to Noise Ratio (CNR). *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences*, 44(2), 81–85. <http://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/JM>
- Fajarwati, F. I., Sugiharto, E., & Siswanta, D. (2016). Film of Chitosan-Carboxymethyl Cellulose Polyelectrolyte Complex As Methylene Blue Adsorbent. *Jurnal Eksakta*, 16(1), 36–45. <https://doi.org/10.20885/eksakta.vol16.iss1.art5>
- Fayazi, M., Taher, M. A., Afzali, D., & Mostafavi, A. (2016). Enhanced Fenton-

- like degradation of methylene blue by magnetically activated carbon/hydrogen peroxide with hydroxylamine as Fenton enhancer. *Journal of Molecular Liquids*, 216, 781–787. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.01.093>
- Goveas, J. J., Shetty, S., Mascarenhas, N. P., D'Souza, R. M., & Gonsalves, R. A. (2020). Electrochemical synthesis of ZnO-WO₃ nanocomposites and their photocatalytic activity. *Journal of Applied Electrochemistry*, 50(4), 501–511. <https://doi.org/10.1007/s10800-020-01407-2>
- Hemmann, F., Agirrezabal-Telleria, I., Jaeger, C., & Kemnitz, E. (2015). Quantification of acidic sites of nanoscopic hydroxylated magnesium fluorides by FTIR and 15N MAS NMR spectroscopy. *RSC Advances*, 5(109), 89659–89668. <https://doi.org/10.1039/c5ra15116c>
- Huda, T., & Yulitaningtyas, T. K. (2018). Kajian Adsorpsi Methylene Blue Menggunakan Selulosa dari Alang-Alang. *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*, 1(01), 9–19. <https://doi.org/10.20885/ijca.vol1.iss1.art2>
- Hui, K., Tang, J., Lu, H., Xi, B., Qu, C., & Li, J. (2020). Status and prospect of oil recovery from oily sludge: A review. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(8), 6523–6543. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.06.009>
- Inkson, B. J. (2016). Scanning Electron Microscopy (SEM) and Transmission Electron Microscopy (TEM) for Materials Characterization. In *Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100040-3.00002-X>
- Ismail, M. (2019). *Aplikasi Mikrosimbion Spons dalam Bioremediasi Lingkungan*. Makassar : CV. Tohar Media.
- Jagaba, A. H., Kutty, S. R. M., Lawal, I. M., Birniwa, A. H., Affam, A. C., Yaro, N. S. A., Usman, A. K., Umaru, I., Abubakar, S., Noor, A., Soja, U. B., & Yakubu, A. S. (2022). Circular economy potential and contributions of petroleum industry sludge utilization to environmental sustainability through engineered processes - A review. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, 3(September), 100029. <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2022.100029>
- Jawad, A. H., Razuan, R., Appaturi, J. N., & Wilson, L. D. (2019). Adsorption and mechanism study for methylene blue dye removal with carbonized watermelon (*Citrullus lanatus*) rind prepared via one-step liquid phase H₂SO₄ activation. *Surfaces and Interfaces*, 16(April), 76–84. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2019.04.012>
- Johnson, O. A., & Affam, A. C. (2019). Petroleum sludge treatment and disposal: A review. *Environmental Engineering Research*, 24(2), 191–201. <https://doi.org/10.4491/EER.2018.134>
- Kamali, A., Heidari, S., Golzary, A., Tavakoli, O., & Wood, D. A. (2022). Optimized catalytic pyrolysis of refinery waste sludge to yield clean high quality oil products. *Fuel*, 328(July), 125292. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.125292>
- Kecili, R., & Hussain, C. M. (2018). Mechanism of adsorption on nanomaterials.

- In *Nanomaterials in Chromatography: Current Trends in Chromatographic Research Technology and Techniques*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812792-6.00004-2>
- Kondaveeti, S., Govindarajan, D., Mohanakrishna, G., Thatikayala, D., Abu-Reesh, I. M., Min, B., Nambi, I. M., Al-Raoush, R. I., & Aminabhavi, T. M. (2023). Sustainable bioelectrochemical systems for bioenergy generation via waste treatment from petroleum industries. *Fuel*, 331(P1), 125632. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.125632>
- Kong, L., Su, M., Shih, K., & Chen, D. (2019). Carbonization of sewage sludge as an adsorbent for organic pollutants. In *Industrial and Municipal Sludge: Emerging Concerns and Scope for Resource Recovery*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815907-1.00021-0>
- Kulkarni, S. J. (2016). Role of Adsorption in Petroleum Industries and Refineries. *International Journal of Petroleum and Petrochemical Engineering*, 2(1), 16–19. <https://doi.org/10.20431/2454-7980.0201004>
- Li, Z., Liu, D., Huang, W., Sun, Y., Li, S., & Wei, X. (2019). Applying facilely synthesized CuO/CeO₂ photocatalyst to accelerate methylene blue degradation in hypersaline wastewater. *Surface and Interface Analysis*, 51(3), 336–344. <https://doi.org/10.1002/sia.6585>
- Lin, B., Huang, Q., Yang, Y., & Chi, Y. (2019). Preparation of Fe-char catalyst from tank cleaning oily sludge for the catalytic cracking of oily sludge. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 139(March), 308–318. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2019.03.006>
- Liu, X., Yao, T., Lai, R., Xiu, J., Huang, L., Sun, S., Luo, Y., Song, Z., & Zhang, Z. (2019). Recovery of crude oil from oily sludge in an oilfield by sophorolipid. *Petroleum Science and Technology*, 37(13), 1582–1588. <https://doi.org/10.1080/10916466.2019.1594286>
- Luo, J., Xiong, R., Guo, J., Zhang, X. J., Wang, L., Chen, X., & Li, J. (2024). Research progress on formation mechanism and re-utilization technologies of oil sludge. *Process Safety and Environmental Protection*, 189(January), 275–287. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.06.007>
- Nachiappan, V., & Enayathali, D. S. S. (2024). Treatment of Methylene Blue Dye using Natural Adsorbents. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 12(4), 1567–1576. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.63361>
- Nazem, M. A., & Tavakoli, O. (2017). Bio-oil production from refinery oily sludge using hydrothermal liquefaction technology. *Journal of Supercritical Fluids*, 127, 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.03.020>
- Ningsih, S. K. W. (2016). Sintesis Anorganik. Padang : UNP Press.
- Pujilestari, T. (2015). Review : Sumber Dan Pemanfaatan Zat Warna Alam Untuk Keperluan Industri. *Dinamika Kerajinan Dan Batik*, 173–186. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-4226-3.00010-X>

- Putri, S., & Sanjaya, H. (2023). Degradasi Zat Warna Eriochrome Black-T (EBT) dengan Katalis ZnO-TiO₂ menggunakan Metode Sonolisis. *Jurnal Periodic Jurusan Kimia UNP*, 12(1), 65. <https://doi.org/10.24036/p.v12i1.117063>
- Rajendiran, R., Patchaiyappan, A., Harisingh, S., Balla, P., Paari, A., Ponnala, B., Perupogu, V., Lassi, U., & Seelam, P. K. (2022). Synergistic effects of graphene oxide grafted chitosan & decorated MnO₂ nanorods composite materials application in efficient removal of toxic industrial dyes. *Journal of Water Process Engineering*, 47(December 2021), 102704. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102704>
- Rio, S., Faur-Brasquet, C., Coq, L. Le, Courcoux, P., & Cloirec, P. Le. (2005). Experimental design methodology for the preparation of carbonaceous sorbents from sewage sludge by chemical activation - Application to air and water treatments. *Chemosphere*, 58(4), 423–437. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.06.003>
- Riskiani, E., Suprihatin, I. E., & Sibarani, J. (2019). Fotokatalis Bentonit-Fe₂O₃ Untuk Degradasi Zat Warna Remazol Brilliant Blue. *Cakra Kimia*, 7(1), 46–54.
- Royani, A., Sulistiyono, E., & Sufiandi, D. (2018). Pengaruh Suhu Kalsinasi Pada Proses Dekomposisi Dolomit. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 18(1), 41. <https://doi.org/10.17146/jsmi.2016.18.1.4186>
- Saood Manzar, M., Ahmad, T., Ullah, N., Velayudhaperumal Chellam, P., John, J., Zubair, M., Brandão, R. J., Meili, L., Alagha, O., & Çevik, E. (2022). Comparative adsorption of Eriochrome Black T and Tetracycline by NaOH-modified steel dust: Kinetic and process modeling. *Separation and Purification Technology*, 287(December 2021). <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.120559>
- Sarungu, Y. T., & Sihombing, R. P. (2021). Pemanfaatan Lumpur Minyak dengan Solar sebagai Energi Alternatif Bahan Bakar. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 7(2), 103–108. <https://doi.org/10.22487/kovalen.2021.v7.i2.15509>
- Senthil Kumar, P., Fernando, P. S. A., Ahmed, R. T., Srinath, R., Priyadharshini, M., Vignesh, A. M., & Thanjiappan, A. (2014). Effect of Temperature on the Adsorption of Methylene Blue Dye Onto Sulfuric Acid-Treated Orange Peel. *Chemical Engineering Communications*, 201(11), 1526–1547. <https://doi.org/10.1080/00986445.2013.819352>
- Setiawan, A., Bawafi, M. I. A., Ramadani, T. A., & Santiasih, I. (2021). Sintesis Karbon Aktif Limbah Lumpur Aktif Industri Gula sebagai Adsorben Limbah Logam Berat Cu(II). *Jurnal Teknik*, 42(1), 316–324. <https://doi.org/10.14710/teknik.v42i3.36031>
- Setyorini, D., Arninda, A., Syafaatullah, A. Q., & Panjaitan, R. (2023). Penentuan Konstanta Isoterm Freundlich dan Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif Terhadap Asam Asetat. *Eksergi*, 20(3), 149. <https://doi.org/10.31315/e.v20i3.10835>
- Sihombing, G. (2022). Tinjauan Strategi dan Potensi Pemanfaatan Energi

- Terbarukan Bagi Negara Berkembang di Asia Tenggara. *Jurnal Teknik Elektro Dan Informatika*, 17(1), 35. <https://doi.org/10.30587/e-link.v17i1.3916>
- Sirotiak, M., Alica, B., & Blinová, L. (2014). Uv-Vis Spectrophotometric Determinations of Selected Elements in Modelled Aqueous Solutions. *Journal of Environmental Protection, Safety, Education and Management*, 2(3), 75–87.
- Solmaz, A. (2024). Adsorption of Methylene Blue and Eriochrome Black T onto Pinecone Powders (*Pinus nigra* Arn.): Equilibrium, Kinetics, and Thermodynamic Studies. *Processes*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/pr12092044>
- Thuy, N., Luong, V., Trang, H., & Nguyen, C. (2025). Treatment of Diesel Oil - Contaminated Water Using Hydrochar Derived from the Hydrothermal Carbonization of Aloe Vera Leaves. *Water, Air, & Soil Pollution*, 1–20. <https://doi.org/10.1007/s11270-025-07881-8>
- Tian, D., Xu, Z., Zhang, D., Chen, W., Cai, J., Deng, H., Sun, Z., & Zhou, Y. (2019). Micro-mesoporous carbon from cotton waste activated by FeCl₃/ZnCl₂: Preparation, optimization, characterization and adsorption of methylene blue and eriochrome black T. *Journal of Solid State Chemistry*, 269(August 2018), 580–587. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2018.10.035>
- Wahyuningsih, A. W. K., Ulfen, I., & Suprpto, S. (2019). Pengaruh pH dan Waktu Kontak pada Adsorpsi Remazol Brilliant Blue R Menggunakan Adsorben Ampas Singkong. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 7(2), 7–9. <https://doi.org/10.12962/j23373520.v7i2.30070>
- Xin, W., Li, X., & Song, Y. (2020). Sludge-Based Mesoporous Activated Carbon: The Effect of Hydrothermal Pretreatment on Material Preparation And Adsorption of Bisphenol A. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 95(6), 1666–1674. <https://doi.org/10.1002/jctb.6358>
- Yustinah, Hudzaifa, Aprilia, M., & AB, S. (2019). Keseimbangan Adsorpsi Logam Berat (Pb) dengan Adsorben Tanah Diatomit Secara Batch. *Jurnal KONVERSI*, 9(1), 17–19.
- Zhang, J., Zhang, L., Li, H., Tian, X., Huang, R., & Lu, J. (2024). Catalyzed hydrothermal treatment of oily sludge: A review. *Clean Energy Science and Technology*, 2(1), 107. <https://doi.org/10.18686/cest.v2i1.107>
- Zhang, Y., Peng, Y., Li, K., Liu, S., Chen, J., Li, J., Gao, F., & Peden, C. H. F. (2019). Using Transient FTIR Spectroscopy to Probe Active Sites and Reaction Intermediates for Selective Catalytic Reduction of NO on Cu/SSZ-13 Catalysts [Research-article]. *ACS Catalysis*, 9(7), 6137–6145. <https://doi.org/10.1021/acscatal.9b00759>
- Zulfania, F., Fathoni, R., & Nur, A. M. (2022). Kemampuan Adsorpsi Logam Berat Zn Dengan Menggunakan Adsorben Kulit Jagung (*zea mays*). *Jurnal Chemurgy*, 6(200), 65–69.