

**SINTESIS NANOMATERIAL MAGNETIT TERMODIFIKASI  
EKSTRAK LIMBAH KULIT JERUK MANIS (*Citrus Sinensis*) DAN  
APLIKASINYA SEBAGAI MEDIA FILTRASI ADSORPTIF AIR  
LIMBAH DENGAN KOMBINASI ZEOLIT**

**Skripsi**  
**Untuk memenuhi sebagian persyaratan**  
**mencapai derajat Sarjana Kimia**



**Oleh:**

**Hanifah Ika Dian Pratiwi**  
**22106030005**

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA  
**PROGRAM STUDI KIMIA**  
**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**  
**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA**  
**YOGYAKARTA**  
**2026**

# HALAMAN PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Marsudi Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

## PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1176/Un.02/DST/PP.00.906/2026

Tugas Akhir dengan judul : SINTESIS NANOMATERIAL MAGNETIT TERMODIFIKASI EKSTRAK LIMBAH KULIT JERUK MANIS (*Citrus Sinensis*) DAN APLIKASINYA SEBAGAI MEDIA FILTRASI ADSORPTIF AIR LIMBAH DENGAN KOMBINASI ZEOLIT

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : HANIFAH IKA DIAN PRATIWI  
Nomor Induk Mahasiswa : 22106030005  
Telah diujikan pada : Selasa, 19 Mei 2026  
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

### TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Salang

Prof. Dr. Maya Rahmayanti, S.Si, M.Si.  
SIGNED

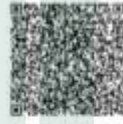
Valid ID: 6a2239689a



Penguji I

Prof. Dr. Sasy Yunita Prabawati, M.Si.  
SIGNED

Valid ID: 6a2239689a



Penguji II

Dr. Imelda Fajriati, M.Si.  
SIGNED

Valid ID: 6a2239689a



Yogyakarta, 19 Mei 2026  
UIN Sunan Kalijaga  
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Drs. H. Khurid Wardani, M.Si.  
SIGNED

Valid ID: 6a2110e96a4

## HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

### SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Hanifah Ika Dian Pratiwi  
NIM : 22106030005  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "SINTESIS NANOMATERIAL MAGNETIT TERMODIFIKASI EKSTRAK KULIT JERUK MANIS (*Citrus sinensis*) DAN APLIKASINYA SEBAGAI MEDIA FILTRASI ADSORPTIF AIR LIMBAH DENGAN KOMBINASI ZEOLIT" merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjana di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 07 Mei 2026

  
Hanifah Ika Dian Pratiwi  
NIM 22106030005

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

## HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

### SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Melalui surat ini : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir

Lampiran :

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

*Assalamu 'alaikum wr. wb.*

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Hanifah Ika Dian Pratiwi

NIM : 22106030005

Judul Skripsi : SINTESIS NANOMATERIAL MAGNETIT TERMODIFIKASI EKSTRAK LIMBAH KULIT

JERUK MANIS (*Citrus Sinensis*) DAN APLIKASINYA SEBAGAI MEDIA FILTRASI

ADSORPTIF AIR LIMBAH DENGAN KOMBINASI ZEOLIT

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Kimia.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

*Wassalamu 'alaikum wr. wb.*

Yogyakarta, 17 April 2026

Pembimbing

Prof. Dr. Maya Rahmayanti, M.Si

NIP: 198106272060420003

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

## HALAMAN MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.” (QS. Al-Baqarah: 286)

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.” (QS. Al-Insyirah: 6)

“Jangan pernah menyesali apa pun yang terjadi dalam hidup, hal yang baik akan memberikan kebahagiaan dan hal yang buruk akan memberikan pembelajaran.” – Invajy

“Hambatan tidak harus menghentikan Anda. Jika Anda menabrak tembok, jangan berbalik dan menyerah. Cari tahu cara memanjatnya, melewatinya, atau mengatasinya .” – Michael Jordan



## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Karya tulis ini penulis persembahkan dan didedikasikan untuk almamater Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

Karya tulis ini juga dipersembahkan sebagai tanda bukti sayang dan cinta yang tiada terhingga kepada bapak, ibu, dan ketiga adik tersayang yang selalu memberikan doa, motivasi, serta dukungan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.



STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrahmanirrahim*

*Assalamu 'alaikum Wr.Wb*

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua. Shalawat serta salam kita haturkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah rabbil 'Alamin, penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Sintesis Nanomaterial Magnetit Termodifikasi Ekstrak Limbah Kulit Jeruk Manis (*Citrus Sinensis*) dan Aplikasinya Sebagai Media Filter Air Limbah dengan Kombinasi Zeolit” dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat mencapai gelas Sarjana Sains Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan banyak cobaan dan kesulitan yang dihadapi. Namun semuanya dapat dihadapi dengan baik atas dukungan, doa, motivasi dari orang-orang terdekat. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Noorhaidi Hasan, S.Ag., M.A., M.Phil., Ph.D. selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga.
2. Ibu Prof. Dr. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga.
3. Ibu Prof. Dr. Maya Rahmayanti, M.Si. selaku Ketua Program Studi Kimia UIN Sunan Kalijaga sekaligus Dosen Pembimbing Skripsi yang sangat luar biasa. Terima kasih kepada beliau yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam memberikan arahan, bimbingan, masukan serta memantau perkembangan kepada penulis dalam proses penulisan tugas akhir.
4. Segenap PLP Laboratorium Kimia Terpadu UIN Sunan Kalijaga yang telah membantu penulis selama melaksanakan penelitian, serta selalu memberikan semangat kepada penulis.
5. Seluruh Dosen Kimia UIN Sunan Kalijaga yang telah memberikan ilmunya selama dibangku perkuliahan.
6. Teristimewa penulis ucapkan terima kasih kepada kedua orang tua tercinta, Bapak Samidi dan Ibu Parwanti atas seluruh pengorbanan dan kerja keras yang dilakukan kepada penulis sampai sekarang ini. Terima kasih sudah memberikan semangat, motivasi, doa dan dukungan penuh kepada penulis.
7. Kepada ketiga adikku. Nabilah, Naufa, dan Mutia. Terima kasih sudah menjadi mood booster bagi penulis.
8. Kepada para pejuang sintesis nanomaterial magnetit Rini, Ida, Gisel, Andhini, dan Mashita. Terima kasih atas kerja samanya, bantuan, motivasi serta dukungan yang telah diberikan selama proses penelitian di laboratorium hingga tahap penyelesaian.

9. Kepada teman humanic, Nonod, Della, Puspa, dan Meylina. Terima kasih atas dukungan, semangat, serta cerita yang telah mewarnai perjalanan penulis dari awal semester hingga saat ini. Terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan penulis.
10. Kepada teman grup Wa Apaya, Tari dan Nabila. Terima kasih telah kebersamai setiap proses, berbagi tawa, keluh kesah, dukungan, dan motivasi kepada penulis dari awal kenalan satu gugus hingga saat ini.
11. Kepada teman kecilku Arintya dan Nur. Terima kasih telah menemani dan kebersamai perjalanan penulis dari bangku SD hingga saat ini. Terima kasih atas kebersamaan, dukungan, dan motivasinya selama ini.
12. Kepada Warga Kimor. Terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan penulis dari semester 1 hingga semester akhir ini.
13. Kepada teman-teman kimia 2022, Xenon. Terima kasih untuk semua pengalaman, cerita, dukungan, dan motivasi dari kalian semua tanpa terkecuali.
14. Kepada semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah membantu dan memberikan doa kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi.
15. Terakhir, kepada diri sendiri. Terima kasih sudah memilih bertahan dan berjuang hingga titik ini, bahkan ketika tidak ada yang tahu seberapa berat beban yang sedang dipikul. Perjalanan ini bukan semata tentang menyelesaikan studi, melainkan tentang rangkaian panjang selama masa studi yang penuh dengan rintangan, ujian dan perjuangan yang tidak selalu mudah. Setiap rintangan yang hadir di kehidupan penulis menjadi bagian dari proses pendewasaan diri yang tentunya tidaklah mudah untuk dilalui. Penulis banyak belajar tentang kesabaran, rasa syukur, dan kepercayaan bahwa setiap proses akan menemukan akhirnya. Terima kasih karena tidak pernah menyerah dan tetaplah semangat karena perjalanan ke depan tentunya juga tidak akan mudah.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan menambah wawasan bagi banyak orang.

*Wassalamu 'alaikum Wr.Wb.*

Penulis,

Hanifah Ika Dian Pratiwi

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN MOTTO.....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN.....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>xiii</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang.....	1
B. Batasan Masalah.....	6
C. Rumusan Masalah .....	7
D. Tujuan Penelitian.....	7
E. Manfaat Penelitian.....	8
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....</b>	<b>9</b>
A. Tinjauan Pustaka.....	9
B. Landasan Teori.....	16
1. Limbah Cair Domestik.....	16
2. Zeolit.....	17
3. Nanomaterial Magnetit .....	18
4. Jeruk Manis ( <i>Citrus Sinensis</i> ).....	20
5. Ekstraksi.....	21
6. Kopresipitasi .....	22
7. Adsorpsi.....	23
8. Diagram Pourbaix .....	24
9. Spektrofotometer FTIR.....	25

10. XRD .....	26
11. SEM-EDX.....	26
12. COD ( <i>Chemical Oxygen Demand</i> ) .....	27
13. TSS ( <i>Total Suspended Solid</i> ).....	28
14. TDS ( <i>Total Dissolved Solids</i> ).....	29
15. Deterjen.....	30
16. pH.....	31
C. Kerangka Berpikir dan Hipotesis Penelitian .....	31
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>34</b>
A. Waktu dan Tempat Penelitian .....	34
B. Alat dan Bahan Penelitian .....	34
C. Prosedur Kerja Penelitian .....	34
<b>BAB IV PEMBAHASAN .....</b>	<b>39</b>
A. Karakterisasi Nanomaterial Magnetit dari Ekstrak Kulit Jeruk Manis ( <i>Citrus Sinensis</i> ) .....	39
B. Mekanisme Sintesis Nanomaterial Magnetit dari Ekstrak Limbah Kulit Jeruk Manis ( <i>Citrus Sinensis</i> ).....	48
C. Performa Nanomaterial Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -CS sebagai Media Filtrasi Adsorptif dengan Kombinasi Zeolit.....	51
D. Studi Regenerasi Filter .....	62
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>66</b>
A. Kesimpulan.....	66
B. Saran .....	67
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>68</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>74</b>
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....</b>	<b>76</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Struktur Zeolit .....	18
<b>Gambar 2. 2</b> Jeruk Manis ( <i>Citrus Sinensis</i> ) .....	20
<b>Gambar 2. 3</b> Diagram Pourbaix Fe .....	25
<b>Gambar 3. 1</b> Desain filter air limbah menggunakan media filter zeolit (A) dan Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -CS dengan kombinasi zeolit (B).....	37
<b>Gambar 4. 1</b> Spektrum FTIR Ekstrak Kulit Jeruk Manis dan Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -CS.....	39
<b>Gambar 4. 2</b> Difraktogram XRD Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -CS.....	42
<b>Gambar 4. 3</b> Mikrograf SEM Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -CS .....	45
<b>Gambar 4. 4</b> Grafik Distribusi Ukuran Partikel .....	46
<b>Gambar 4. 5</b> Hasil Analisis EDX Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -CS .....	47
<b>Gambar 4. 6</b> Ilustrasi Sintesis Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -CS.....	49
<b>Gambar 4. 7</b> Bukti Magnetit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -CS dengan Medan Magnet Eksternal.....	50
<b>Gambar 4. 8</b> Interaksi Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -CS dengan Senyawa Organik .....	54
<b>Gambar 4. 9</b> Interaksi Zeolit dengan Senyawa Organik .....	54
<b>Gambar 4. 10</b> Interaksi Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -CS dengan Lemak, Minyak dan Partikel Organik.....	56
<b>Gambar 4. 11</b> Interaksi Zeolit dengan Partikel Debu, Benang Pakaian, dan Rambut .....	57
<b>Gambar 4. 12</b> Interaksi Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -CS dengan Ion Fosfat dan Ion Keadahan .....	59
<b>Gambar 4. 13</b> Interaksi Zeolit dengan Ion Fosfat dan Ion Keadahan.....	59
<b>Gambar 4. 14</b> Interaksi Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -CS dengan <i>linear alkylbenzene sulfonate</i> (LAS) .....	61
<b>Gambar 4. 15</b> Interaksi Zeolit dengan Gugus Sulfonat pada <i>linear alkylbenzene sulfonate</i> (LAS).....	62
<b>Gambar 4. 16</b> Spektrum FTIR Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -CS sebelum dan sesudah filtrasi.....	63
<b>Gambar 4. 17</b> Tren penurunan Zeolit vs Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -CS & Zeolit .....	65

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 4. 1</b> Pengaruh Perbedaan Jenis Ekstrak Tanaman Terhadap Ukuran Kristal Magnetit .....	44
<b>Tabel 4. 2</b> Hasil Uji Parameter pH .....	52
<b>Tabel 4. 3</b> Hasil Uji Parameter COD (mg/L) .....	53
<b>Tabel 4. 4</b> Hasil Uji Parameter TSS (mg/L) .....	55
<b>Tabel 4. 5</b> Hasil Uji Parameter TDS (mg/L) .....	57
<b>Tabel 4. 6</b> Hasil Uji Parameter Deterjen (mg/L) .....	60



## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1</b> Perhitungan Ukuran Kristal $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -CS Berdasarkan Persamaan Debye-Scherrer .....	74
<b>Lampiran 2</b> Skema Ilustrasi Sintesis $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -CS .....	75
<b>Lampiran 3</b> Dokumentasi Penelitian .....	75



## ABSTRAK

# SINTESIS NANOMATERIAL MAGNETIT TERMODIFIKASI EKSTRAK LIMBAH KULIT JERUK MANIS (*Citrus Sinensis*) DAN APLIKASINYA SEBAGAI MEDIA FILTRASI ADSORPTIF AIR LIMBAH DENGAN KOMBINASI ZEOLIT

Oleh:

**Hanifah Ika Dian Pratiwi**  
**22106030005**

Pembimbing:

**Prof. Dr. Maya Rahmayanti, M. Si.**

Limbah cucian pakaian mengandung berbagai polutan seperti surfaktan, minyak, lemak, dan zat organik yang dapat meningkatkan kadar COD, TSS, TDS, Deterjen, dan pH sehingga dapat menjadi salah satu sumber pencemaran air. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis nanomaterial magnetit termodifikasi ekstrak kulit jeruk manis ( $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ ) yang selanjutnya diterapkan dalam teknologi tepat guna berupa media filtrasi adsorptif pada air limbah cucian pakaian dengan kombinasi zeolit. Sintesis  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$  dilakukan melalui metode kopresipitasi terbalik dengan reaksi pengendapan ion  $\text{Fe}^{3+}$  dan  $\text{Fe}^{2+}$  dalam kondisi basa menggunakan larutan NaOH serta digunakan ekstrak kulit jeruk sebagai reduktor dan capping agent. Hasil sintesis dilakukan karakterisasi menggunakan FTIR, XRD, dan SEM-EDX. Spektrum FTIR menunjukkan puncak serapan khas ikatan magnetit Fe-O dan gugus organik. Difraktogram XRD menunjukkan magnetit murni tanpa ada campuran besi oksida lain sesuai dengan JCPDS No. 19-0629 dengan rata-rata ukuran kristal  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$  sebesar 7,63 nm. SEM-EDX menunjukkan bentuk yang tidak beraturan dan permukaan kasar dengan ukuran partikel yang tidak teratur yaitu berada pada rentang 154,44 nm, serta EDX menunjukkan magnetit berhasil terlapisi ekstrak kulit jeruk manis dengan mengonfirmasi keberadaan unsur Fe, O, dan C. Performa  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$  dalam aplikasi media filter dengan bantuan zeolit menunjukkan kinerja lebih baik dibandingkan tanpa  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$  terbukti dengan nilai parameter COD, TSS, dan TDS yang lebih rendah apabila dibandingkan sebelum filtrasi meskipun masih terdapat dua parameter yaitu pH dan Deterjen yang tidak sepenuhnya sesuai. Dugaan penurunan keseluruhan parameter disebabkan adanya interaksi antara limbah cucian pakaian dengan  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$  melalui interaksi hidrogen, ikatan  $\pi\text{-}\pi$ , interaksi hidrofobik serta adanya gaya van der Waals. Studi regenerasi selama lima kali siklus menunjukkan penurunan performa. Namun penggunaan  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$  dan zeolit lebih stabil dibandingkan tanpa  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ .

**Kata Kunci:** nanomaterial magnetit; filtrasi; adsorpsi; air limbah cucian pakaian

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Air adalah salah satu sumber daya alam yang memiliki pengaruh besar bagi keberlangsungan semua makhluk hidup. Namun, ketersediaan air bersih semakin menurun dari waktu ke waktu akibat pencemaran air yang terus meningkat. Pencemaran tersebut disebabkan oleh peningkatan aktivitas manusia, baik dalam skala rumah tangga hingga industri. Limbah domestik menyumbang sebesar (40%), dan limbah industri menyumbang sebesar (30%) (Wulandari *et al.*, 2023). Semakin tinggi aktivitas manusia, maka limbah yang dihasilkan juga akan semakin meningkat. Aktivitas rumah tangga seperti mencuci pakaian menjadi salah satu sumber pencemaran air, karena penggunaan bahan pencuci akan menghasilkan limbah dengan kandungan surfaktan, minyak, lemak, dan zat organik. Salah satu jenis bahan pencuci yang sering digunakan dan dapat memunculkan limbah cair adalah detergen (Wulandari *et al.*, 2023).

Detergen sering digunakan karena memiliki sifat pembersih yang lebih efektif daripada sabun biasa (Yuliana *et al.*, 2020). Deterjen terdiri dari 3 komponen yaitu surfaktan, builder, dan additives (Dwi & Dalimin, 2022). Surfaktan berfungsi sebagai bahan aktif pada detergen yang dapat mengangkat kotoran pada pakaian. Jenis surfaktan yang sering digunakan dalam detergen adalah surfaktan anionik seperti *Alkyl Benzene Sulfonates* (ABS) dan *Linear Alkyl Benzene Sulfonates* (LAS). Bahan tersebut merupakan zat utama dalam

detergen yang memiliki sifat non biodegradable, toksik, dan dapat menimbulkan destabilisasi terhadap makhluk hidup (Amelia *et al.*, 2023). Builder berfungsi untuk meningkatkan efisiensi pencuci dari surfaktan dengan cara menonaktifkan mineral penyebab kesadahan air. Jenis builder yang sering digunakan dalam deterjen adalah Sodium Tripolifosfat (STPP). Meskipun fosfat tidak berbahaya, akumulasi yang berlebihan menyebabkan eutrofikasi yang ditandai ledakan pertumbuhan tanaman air sehingga air menjadi tercemar (Apriyani, 2017). Oleh karena itu, diperlukan penanganan khusus untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Beberapa metode pengolahan limbah cair sudah banyak diteliti mulai dari koagulasi, elektrokoagulasi, oksidasi, dan adsorpsi (Delforno *et al.*, 2020; Fasihah *et al.*, 2022). Metode koagulasi kurang cocok digunakan karena akan menimbulkan polutan lain seperti lumpur (Rahmayanti *et al.*, 2022). Metode elektrokoagulasi kurang cocok digunakan karena endapan lumpur yang terbentuk akan mudah menempel pada elektroda sehingga menyebabkan permukaan elektroda menjadi tertutup dan membuat pengolahannya tidak optimal. Selanjutnya metode oksidasi memiliki proses yang cepat dan efisien, akan tetapi membutuhkan bahan kimia yang mahal (El-taweel *et al.*, 2023).

Di samping itu, pengolahan limbah juga dapat dilakukan secara fisika. Metode fisika memiliki kelebihan yaitu lebih sederhana, dan fleksibel. Salah satu metode yang sering digunakan dalam pengembangan teknologi pengolahan limbah cair adalah filtrasi dengan media filter seperti zeolit. Zeolit merupakan salah satu media filter yang sering digunakan karena efektivitasnya dalam menyerap berbagai polutan, menghilangkan ion logam berat dari

industri dan pengolahan air limbah, karena struktur porinya yang unik dan kemampuan adsorpsinya yang tinggi (Sari *et al.*, 2024). Zeolit termasuk mineral kristal alumina silikat berpori terhidrat yang memiliki struktur kerangka tiga dimensi, terbentuk dari tetrahedral  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  dan  $[\text{AlO}_4]^{5-}$  yang dihubungkan oleh pembagian atom oksigen (Fitriyah & Krisnandi, 2023). Selain itu zeolit memiliki luas permukaan besar dan kapasitas tukar kation yang tinggi (Isharyanti *et al.*, 2024). Sifat tersebut membuat bahan ini sangat berguna untuk banyak aplikasi seperti adsorben, katalis, penukar ion dan media penyaring (Setiawan *et al.*, 2018). Kelebihan zeolit adalah biaya yang dibutuhkan rendah dan dapat menyerap beberapa polutan seperti logam berat, ammonium, material organik terlarut, kation serta zat radioaktif (Kotoulas *et al.*, 2019; Afifah *et al.*, 2019). Akan tetapi, zeolit memiliki kekurangan yaitu hanya dapat menyerap beberapa polutan tertentu saja sehingga perlu adsorben lain untuk meningkatkan performa filter air.

Di antara metode pengolahan limbah cair yang ada, metode adsorpsi dinilai lebih efektif karena keuntungan yang didapatkan yaitu prosesnya sederhana, mudah dilakukan dan lebih hemat (Pratama, 2017). Beberapa penelitian terkait dengan metode adsorpsi untuk pengolahan limbah cair sudah banyak dikembangkan. Salah satu adsorben yang sudah dikembangkan yaitu penggunaan nanomaterial magnetit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) memiliki struktur kristal yang unik karena adanya kation besi dengan dua keadaan valensi yaitu  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{Fe}^{3+}$  di situs tetrahedral dan oktahedral serta memiliki struktur spinel gugus terbalik (Schwertmann, 2008; Rahmayanti *et al.*, 2015; Rahmayanti, 2020). Adsorben nanomaterial

magnetit dipilih karena efektivitasnya untuk menghilangkan polutan organik dan anorganik sehingga dapat menurunkan COD, TSS, TDS, dan Deterjen (Deivasigamani *et al.*, 2025). Beberapa kelebihan nanomaterial magnetit yaitu memiliki sifat superparamagnetik, non-toksik, biokompatibel, dan stabilitas kimiawinya yang baik (Riyanto, 2019). Kelebihan lainnya yaitu dapat mengurangi penggunaan kertas saring dan waktu pemisahan dapat dilakukan dengan cepat karena penggunaan medan magnet eksternal (Rahmayanti *et al.*, 2022). Sintesis nanomaterial Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dapat dilakukan dengan berbagai metode. Kopresipitasi termasuk salah satu metode yang banyak digunakan untuk mendapatkan partikel magnetit dengan menggunakan temperatur kamar, peralatan sederhana, dan ekonomis (Wang *et al.*, 2010; Sari *et al.*, 2016). Selain itu, metode ini memiliki dampak lingkungan yang rendah karena sintesis dilakukan dalam larutan air tanpa menggunakan pelarut organik dan di bawah kondisi reaksi ringan dengan suhu relatif rendah (Iwasaki *et al.*, 2009; Sari *et al.*, 2016).

Namun, penggunaan adsorben magnetit membutuhkan bahan kimia sintesis untuk agen penstabil dan pereduksinya sehingga akan berdampak negatif bagi lingkungan. Sebagai solusi akan permasalahan tersebut, konsep green chemistry sudah mulai banyak diterapkan dalam pengembangan adsorben. Salah satu pendekatan inovatifnya adalah sintesis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dengan menggunakan ekstrak limbah tanaman (Situmorang *et al.*, 2025). Keuntungan penggunaan ekstrak limbah tanaman yaitu lebih ekonomis, ramah lingkungan, menghasilkan ukuran partikel yang lebih kecil dan homogen, serta tidak membutuhkan bahan kimia sintesis sebagai agen penstabil dan pereduksinya (Fitriany *et al.*, 2023). Penggunaan ekstrak limbah

tanaman juga memiliki nilai tambah karena dapat mengatasi permasalahan lingkungan saat ini. Salah satu limbah tanaman yang dapat digunakan adalah ekstrak yang diperoleh dari limbah kulit jeruk manis (*Citrus Sinensis*). Ekstrak limbah tanaman dipilih karena mengandung banyak senyawa aktif seperti fenolik, tanin, terpenoid, dan alkaloid (Octaviani *et al.*, 2023). Kandungan itulah yang dapat berperan sebagai reduktor dan capping agent (Oktavia & Sutoyo, 2021), sekaligus dapat berperan sebagai gugus aktif untuk mengikat polutan.

Berdasarkan uraian tersebut, dalam penelitian ini nanomaterial magnetit akan disintesis dengan metode kopresipitasi terbalik menggunakan ekstrak limbah kulit jeruk manis (*Citrus Sinensis*) yang disebut  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ , kemudian diaplikasikan sebagai media filtrasi adsorptif dengan kombinasi zeolit pada limbah pakaian. Selanjutnya performa dari penambahan nanomaterial  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$  akan dipelajari berdasarkan parameter pH, COD, TSS, TDS, dan Deterjen. Pada penelitian ini juga akan dilakukan studi regenerasi untuk mempelajari efektivitasnya dalam 5 kali siklus filtrasi. Dengan demikian, kombinasi antara zeolit dan nanomaterial  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$  tersebut diharapkan dapat meningkatkan efektivitas pengolahan limbah pakaian.

## B. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Limbah domestik yang digunakan dalam penelitian ini merupakan limbah cair dari cucian pakaian.
2. Kulit jeruk manis yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari jenis jeruk siam yang diperoleh dari limbah rumah tangga.
3. Ekstrak kulit jeruk manis yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh melalui metode ekstraksi dengan pelarut air.
4. Metode yang digunakan untuk sintesis  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$  dalam penelitian ini dilakukan dengan metode kopresipitasi terbalik.
5. Karakterisasi dan analisis gugus fungsi dari nanomaterial  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$  dilakukan dengan *Spektrofotometer Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), analisis kristalinitas dan ukuran kristal dengan *X-ray Diffractometry* (XRD), serta morfologi dan komposisi kimia dengan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX).
6. Parameter limbah yang akan diuji dalam penelitian ini antara lain pH, COD, TSS, TDS, dan Deterjen.

### C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik gugus fungsi  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$  berdasarkan FTIR (*Spektrofotometer Fourier Transform Infrared Spectroscopy*), kristalinitas dan ukuran kristal  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$  berdasarkan XRD (*X-ray Diffractometry*) serta morfologi dan komposisi kimia berdasarkan SEM-EDX (*Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray*)?
2. Bagaimana performa nanomaterial  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$  sebagai media filtrasi adsorptif air limbah dengan kombinasi zeolit berdasarkan parameter pH, COD, TSS, TDS, dan Deterjen pada air limbah sebelum dan sesudah filtrasi?
3. Bagaimana studi regenerasi teknologi filter air limbah domestik dengan inovasi nanomaterial  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$  dengan kombinasi zeolit sebagai media filtrasi adsorptif?

### D. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik gugus fungsi, kristalinitas dan ukuran kristal, serta morfologi dan komposisi kimia dari  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$  berdasarkan spektrofotometer FTIR, XRD, dan SEM-EDX.
2. Mengetahui performa nanomaterial  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$  sebagai media filtrasi adsorptif air limbah dengan kombinasi zeolit berdasarkan parameter pH, COD, TSS, TDS, dan Deterjen pada air limbah sebelum dan sesudah filtrasi.
3. Mengetahui regenerasi teknologi filter air limbah domestik dengan inovasi nanomaterial  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$  dengan kombinasi zeolit sebagai media filtrasi adsorptif.

## **E. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi kepada pembaca terkait penggunaan sintesis nanomaterial magnetit dari ekstrak limbah kulit jeruk manis (*Citrus Sinensis*) sebagai media filtrasi adsorptif dengan kombinasi zeolit yang lebih ramah lingkungan dan dapat dijadikan solusi terhadap pencemaran air akibat limbah domestik.
2. Meningkatkan pemanfaatan kulit jeruk manis dari limbah rumah tangga sebagai media filtrasi adsorptif air limbah cucian pakaian.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **A. Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa,

1. Sintesis nanomaterial  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  termodifikasi ekstrak kulit jeruk manis dengan metode kopresipitasi terbalik telah berhasil dilakukan. Hasil yang didapatkan berupa serbuk berwarna hitam dengan sifat magnet yang dibuktikan dengan adanya interaksi saling tarik-menarik ketika diuji dengan medan magnet eksternal.
2. Karakterisasi gugus fungsi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -CS menggunakan spektrofotometer FTIR menunjukkan puncak serapan khas ikatan magnetit Fe-O pada bilangan gelombang 583,37 dan 436,33  $\text{cm}^{-1}$ . Hasil XRD yang sesuai dengan JCPDS No. 19-0629 dengan rata-rata ukuran kristal  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -CS sebesar 7,63 nm. SEM-EDX yang menunjukkan bahwa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -CS memiliki permukaan yang kasar dengan ukuran partikel yang tidak teratur yaitu berada pada rentang 154,44 nm, serta analisis EDX yang menunjukkan bahwa komponen  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -CS terdiri dari unsur karbon (C) sebesar 23,91%, unsur besi (Fe) sebesar 15,57%, dan unsur oksigen (O) sebesar 59,28%.
3. Performa nanomaterial  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  termodifikasi ekstrak kulit jeruk manis berhasil diaplikasikan dalam media filtrasi adsorptif dengan bantuan zeolit yang dibuktikan dengan nilai parameter COD, TSS, dan TDS yang lebih rendah apabila dibandingkan sebelum filtrasi. Namun, masih terdapat dua parameter yaitu pH dan Deterjen yang tidak sepenuhnya sesuai dengan teori yang diharapkan sehingga diperlukan optimasi lebih lanjut untuk meningkatkan efektivitas pada parameter yang belum sesuai teori.

4. Studi regenerasi filter air dalam 5 kali siklus dengan kedua reaktor menunjukkan bahwa keduanya sama-sama mengalami penurunan performa. Namun, pada  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$  dan zeolit kemampuannya lebih stabil dibandingkan tanpa  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ .

## **B. Saran**

Saran yang dapat dilakukan untuk penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut.

1. Melakukan variasi massa adsorben untuk mengetahui komposisi adsorben yang tepat, sehingga dapat meningkatkan performa filter dan konsentrasi dalam setiap parameter serta dapat memenuhi standar baku mutu.
2. Melakukan variasi pH pada  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$  untuk mengetahui kemampuan adsorpsi yang lebih optimal di semua parameter.



## DAFTAR PUSTAKA

- Adiastuti, F. E., & Afany, M. R. (2018). Kajian pengolahan air limbah laundry dengan metode adsorpsi karbon aktif serta pengaruhnya terhadap pertumbuhan azolla. *Jurnal Tanah dan Air (Soil and Water Journal)*, 15(1), 38-46.
- Afifah, N., Yogafanny, E., & Sungkowo, A. (2019). Pengolahan Air Payau Dengan Filter Zeolit dan Bentonit. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 11(2), 122-131.
- Ali, A., Zhang, N., & Santos, R. M. (2023). Mineral characterization using scanning electron microscopy (SEM): a review of the fundamentals, advancements, and research directions. *Applied Sciences*, 13(23), 12600.
- Al Muttaqii, M., Birawidha, D. C., Isnugroho, K., Yamin, M., Hendronursito, Y., Istiqomah, A. D., & Dewangga, D. P. (2019). Pengaruh aktivasi secara kimia menggunakan larutan asam dan basa terhadap karakteristik zeolit alam. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 266-271.
- Alsuhybani, M., Alshehri, S., Alquwaizany, A., Alosime, E., Alaeq, R., & Alrehaili, A. (2026). Effective adsorption of methylene blue using natural Saudi zeolite as a low-cost sustainable adsorbent. *Scientific Reports*, 16(1), 211.
- Aly, S. T., Saed, A., Mahmoud, A., Badr, M., Garas, S. S., Yahya, S., & Hamad, K. H. (2024). Preparation of magnetite nanoparticles and their application in the removal of methylene blue dye from wastewater. *Scientific Reports*, 14(1), 20100.
- Amelia, S., Jamilatun, S., Shitopyta, L. M., Maryudi, M., Utami, M., & Sriyana, I. (2023). Degradasi Limbah Detergen dengan Metode Fotokatalis Menggunakan TiO<sub>2</sub>/Silica Gel. *Eksergi*, 20(3), 131-136.
- Amin, A. (2023). Identifikasi Organoleptik, dan Kelarutan Ekstrak Etanol Daun Pecut Kuda (*Stachytarpetta jamaicensis* Linn.) Pada Pelarut Dengan Kepolaran Berbeda. *Makassar Natural Product Journal (MNPJ)*, 203-211.
- Apriyani, N. (2017). Penurunan kadar surfaktan dan sulfat dalam limbah laundry. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan (MITL)*, 2(1), 37-44.
- Bassim, S., Mageed, A. K., AbdulRazak, A. A., & Majdi, H. S. (2022). *Green Synthesis of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles and Its Applications in Wastewater Treatment*. *Inorganics* 2022, 10, 260.
- Budiarto, K., & Sugiharto, N.A. (2021). *Teknologi inovatif jeruk sehat nusantara*. Bogor: IPB Press.
- Choerudin. (2016). *Peran nanomaterial dalam pengolahan air dan air limbah*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Daoush, W. M. (2017). Co-precipitation and magnetic properties of magnetite nanoparticles for potential biomedical applications. *J. Nanomed. Res*, 5(3), 00118.
- Dhar, P. K., Saha, P., Hasan, M. K., Amin, M. K., & Haque, M. R. (2021). Green synthesis of magnetite nanoparticles using *Lathyrus sativus* peel extract and evaluation of their catalytic activity. *Cleaner Engineering and Technology*, 3, 100117.

- Deivasigamani, P., Gajendiran, V., Chitra, B., Kumar, P. S., Balasubramanian, N., Sundararaman, S., & Rangasamy, G. (2025). Magnetic Nanoparticles: Synthesis, characterization and application based on environmental Perspective. *Results in Chemistry*, 102023.
- Dwi, A., & Dalimin, L. (2022). Pengaruh pencemaran limbah detergen terhadap ekosistem perairan Effect of detergent waste pollution on aquatic ecosystems. *Indonesian Journal of Science*, 3(1), 24-36.
- Dwiloka, B., Rahman, F. T., & Mulyani, S. (2022). Nilai pH, Viskositas dan Hedonik Sari Buah Jeruk Manis dengan Penambahan Gelatin Tulang Ikan Bandeng. *AgriHealth: Journal of Agri-food, Nutrition and Public Health*, 2(2), 107-113.
- El-taweel, R. M., Mohamed, N., Alrefaey, K. A., Husien, S., Abdel-Aziz, A. B., Salim, A. I., ... & Radwan, A. G. (2023). A review of coagulation explaining its definition, mechanism, coagulant types, and optimization models; RSM, and ANN. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 6, 100358.
- Fajrin, HR, Zakiyyah, U., & Supriyadi, K. (2020). Pengukur Ph Berbasis Arduino. *Medika Teknik: Jurnal Teknik Elektromedis Indonesia* , 1 (2), 35-43.
- Fasihah, N. S., Maryani, Y., & Heriyanto, H. (2022). Pengolahan Air Limbah Laundry Menggunakan Adsorpsi Cangkang Telur Ayam. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(20), 129-139.
- Faturachman, G. F., Ramanda, A. A., Maharani, S., Latif, L. A., Belo, G. A. G., & Al Ayubi, S. G. (2025). Application of Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) for Quantitative Analysis of Pharmaceutical Compounds. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Education*, 5(1).
- Faulina, M., Sari, R., & Nahar, N. (2023). Aplikasi Adsorben Nanopartikel Magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) untuk Penyisihan Metilen Biru dari Ferric Nitrate Nonahydrate dengan Metode Sol-Gel. *Jurnal Teknologi*, 23(2), 148-154.
- Fitriany, E. F., Priyoherianto, A., & Suci, P. R. (2023). Eco-friendly silver nanoparticles (AgNPs) fabricated by green synthesis using *Capsicum annum* L. extract: biosynthesis, characterization, and antibacterial activity. *ALOTROP*, 7(1), 106-114.
- Fitriyah, & Krisnandi, K.Y. (2023). Review : Sintesis Zeolit dari Bahan Alam dan Limbah Buangan. *Jurnal Serambi Engineering*. 8(3): 6200 – 6207.
- Ghoohestani, E., Samari, F., Homaei, A., & Yosuefinejad, S. (2024). A facile strategy for preparation of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> magnetic nanoparticles using *Cordia myxa* leaf extract and investigating its adsorption activity in dye removal. *Scientific reports*, 14(1), 84.
- Habib, A., & Gusti, D. R. (2019). Sintesis dan karakterisasi magnetit terlapis dimerkaptosilika. *Chempublish Journal*, 4(2), 81-88.
- Hakim, L., Dirgantara, M., & Nawir, M. (2019). Karakterisasi struktur material blok pasir mineral golongan c menggunakan Difraksi Sinar-X (X-RD) di kota Palangkaraya. *Jurnal Jaringan Matematika dan Sains*, 1 (1), 44-51.

- Harahap, M. R., Amanda, L. D., & Matondang, A. H. (2020). Analisis kadar COD (Chemical Oxygen Demand) dan TSS (Total Suspended Solid) pada limbah cair dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. *Amina*, 2(2), 79-83.
- Huang, H. H. (2016). The Eh-pH diagram and its advances. *Metals*, 6(1), 23.
- Isharyanti, I., Sriatun, S., & Azmiyawati, C. (2024). Adsorpsi Ion Cr (III) Menggunakan Zeolit Alam Termodifikasi Dietanolamin. *Greensphere: Journal of Environmental Chemistry*, 4(1), 8-13.
- Karim, M. A., Juniar, H., & Ambarsari, M. F. P. (2022). Adsorpsi Ion logam fe dalam limbah tekstil sintesis dengan menggunakan metode batch. *Jurnal Distilasi*, 2(2), 68-81.
- Kazemzadeh, H., Ataie, A., & Rashchi, F. (2012). Synthesis of magnetite nano-particles by reverse co-precipitation. In *International Journal of Modern Physics: Conference Series* (Vol. 5, pp. 160-167). World Scientific Publishing Company.
- Khofifah, K., & Utami, M. (2022). Analisis kadar Total Dissolved Solid (TDS) dan Total Suspended Solid (TSS) Pada Limbah Cair dari Industri Gula Tebu. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 43-49.
- Malesi, W. O. A. W., & Putra, D. J. (2024). Kandungan total dissolved solid (TDS) dan salinitas air tanah di Distrik Merauke. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik*, 8(2).
- Martini, S., Yuliwati, E., & Kharismadewi, D. (2020). Pembuatan teknologi pengolahan limbah cair industri. *Jurnal Distilasi*, 5(2), 26-33.
- Munir, H., Yaqoob, S., Awan, K. A., Imtiaz, A., Naveed, H., Ahmad, N., ... & Ma, Y. (2024). Unveiling the chemistry of citrus peel: insights into nutraceutical potential and therapeutic applications. *Foods*, 13(11), 1681.
- Muttaqin, R. (2023). Pengembangan Buku Panduan Teknik Karakterisasi Material: X-ray Diffractometer (XRD) Panalytical Xpert3 Powder. *Indonesian Journal of Laboratory*, 1(1), 9-16.
- Nasution, N., & Fitri, A. (2018). Sintesis Nanopartikel TiO<sub>2</sub> Fasa Rutile dengan Metode Koprinsipitasi. *Jurnal Ilmu Fisika Dan Teknologi*, 2(2), 18-25.
- Nasution, R. (2015). Applying SEM-EDX Techniques to Identifying the Types of Mineral of Jades (Giok) Takengon, Aceh. *Jurnal Natural*, 15(2).
- Nirwana, P., & Legasari, L. (2025). Analisis Kadar Total Dissolved Solid (TDS) pada Air Limbah Industri Menggunakan Metode Gravimetri. *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*. 13(2).
- Nisticò, R., Cesano, F., & Garello, F. (2020). Magnetic materials and systems: Domain structure visualization and other characterization techniques for the application in the materials science and biomedicine. *Inorganics*, 8(1), 6.
- Nguyen, M. D., Tran, H. V., Xu, S., & Lee, T. R. (2021). Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles: structures, synthesis, magnetic properties, surface functionalization, and emerging applications. *Applied Sciences*, 11(23), 11301.

- Nurhayati, S., Shofiyani, A., & Zaharah, T. A. (2021). Sintesis Magnetit Dari Limbah Tambang Bauksit Menggunakan Templat Cetyltrimethylammoniumbromide. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 43(2), 143-151.
- Oktavia, B., Nasra, E., & Putra, J. K. (2015). Aplikasi Zeolit Alam Sebagai Fasa Diam Pada Kromatografi Ion. *SEMIRATA 2015*.
- Oktavia, I. N., & Sutoyo, S. (2021). Article Review: Synthesis of Silver Nanoparticles Using Bioreductor From Plant Extract As an Antioxidant. *Unesa J. Chem*, 10(1).
- Octaviani, M., Masnun, L., Nasution, M. R., Susanti, E., Utami, R., & Furi, M. (2023). Aktivitas Antibakteri dan Antijamur Fraksi Etil Asetat Kulit Buah Jeruk Manis (*Citrus Sinensis (L.) Osbeck*). *JFIOOnline| Print ISSN 1412-1107| e-ISSN 2355-696X*, 15(2), 126-133.
- Perdana, R. (2024). Sintesis dan Karakterisasi Zeolit Terimobilisasi Dithizon (ZAA-D). *Jurnal SAINTEK Patompo*, 2(2), 111-119.
- Pratama, D. A. (2017). Efektivitas ampas teh sebagai adsorben alternatif logam Fe dan Cu pada air sungai Mahakam. *Jurnal Integrasi Proses*, 6(3), 131-138.
- Rachmawati, D. O., Risha, N., & Suswandi, I. (2023). Kelimpahan material magnetik di pasir hitam. *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, 12(1), 200-209.
- Rahmayanti, M. (2020). Sintesis dan karakterisasi magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>): studi komparasi metode konvensional dan metode sonokimia. *Al Ulum: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 6(1), 26-31.
- Rahmayanti, M. (2020). Synthesis of magnetite nanoparticles using the reverse coprecipitation method with NH<sub>4</sub>OH as precipitating agent and its stability test at various pH. *Nat. Sci. J. Sci. Technol*, 9(3), 54-58.
- Rahmayanti, M., Putra, M. D., Karmanto, & Sedyadi, E. (2023). Potential organic magnetic nanoparticles from peel extract of Archidendron pauciflorum for the effective removal of cationic and anionic dyes. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 40(11), 2759-2770.
- Rahmayanti, M., Santosa, S. J., & Sutarno, S. (2016). Comparative Study on the Adsorption of [AuCl<sub>4</sub>]-onto Salicylic Acid and Gallic Acid Modified Magnetite Particles. *Indonesian Journal of Chemistry*, 16(3), 329-337.
- Rahmayanti, M., Syakina, A. N., Fatimah, I., & Sulistyarningsih, T. (2022). Green synthesis of magnetite nanoparticles using peel extract of jengkol (*Archidendron pauciflorum*) for methylene blue adsorption from aqueous media. *Chemical Physics Letters*, 803, 139834.
- Rahmayanti, M., Yahdiyani, A., & Afifah, I. Q. (2022). Eco-friendly synthesis of magnetite based on tea dregs (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-TD) for methylene blue adsorbent from simulation waste. *Communications in Science and Technology*, 7(2), 119-126.
- Ramadani, R., Samsunar, S., & Utami, M. (2021). Analisis suhu, derajat keasaman (pH), chemical oxygen demand (COD), dan biological oxygen demand (BOD) dalam air

- limbah domestik di dinas lingkungan hidup Sukoharjo. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 12-22.
- Ramadhani, A., & Purnama, V. (2022). Analysis of BOD (Biological Oxygen Demand) and COD (Chemical Oxygen Demand) In the Batang Masumai River Water, Merangin Regency at the UPTD Laboratory of the Environmental Service Analisis Kadar BOD (Biological Oxygen Demand) dan COD (Chemical Oxygen Demand) Pada Air Sungai Batang Masumai Kabupaten Merangin Di UPTD Laboratorium Dinas Lingkungan Hidup. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 7(2), 36-43.
- Riyanto, A. (2019). Preparasi dan Karakteristik Fisis Nanopartikel Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 16(1), 35-41.
- Sahdiah, H., & Kurniawan, R. (2023). Optimasi Tegangan Akselerasi pada Scanning Electron Microscope–Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX) untuk Pengamatan Morfologi Sampel Biologi. *Jurnal Sains dan Edukasi Sains*, 6(2), 117-123.
- Sari, N., Tanti, & Jumira, F. (2024). Efektivitas Zeolit Alam dalam Menurunkan Kadar Pencemar pada Limbah Cair Tempe. *Jurnal Kolaborasi Sains dan Ilmu Terapan*. 2(2): 38-42.
- Sari, S. R., Sulistyaningsih, T., & Susilaningsih, E. (2016). Kajian adsorpsi linear alkilbenzena sulfonat (LAS) menggunakan Magnetit. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 5(1).
- Savira, S. A., & Zamrudly, W. (2023). Analisis TSS, BOD, COD, dan Minyak Lemak Limbah Cair Pada Industri Susu. *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, 9(3), 266-278.
- Setiawan, Y., Mahatmanti, F. W., & Hanis, H. (2018). Preparasi dan Karakterisasi Nanozeolit dari Zeolit Alam Gunungkidul dengan Metode Top-Down. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(1), 43-49.
- Setyaningrum, D., Anisa, Z., & Rasydta, H. P. (2022). Pengujian kadar chemical oxygen demand (COD) pada air limbah tinggi kalsium klorida menggunakan metode refluks terbuka. *Formosa Journal of Science and Technology*, 1(4), 353-362.
- Sinaga, Z., & Joniwarta, J. (2020). Analisis ukuran kristal dan sifat magnetik melalui proses pemesian milling menggunakan metode karakterisasi xrd, mechannical alloying, dan ultrasonik tekanan tinggi pada material barium hexaferrite ( $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ). *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 5(1), 9-14.
- Situmorang, D. A. B., Lubis, R. Y., & Husnah, M. (2025). Karakterisasi Dan Aktivitas Fotokatalitik Green Synthesized Nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$  Menggunakan Ekstrak Daun Kelor Untuk Degradasi Methylene Blue. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 8(1).
- Subamia, I. D. P., Widiasih, N. N., Wahyuni, I. G. A. N. S., & Kristiyanti, P. L. P. (2023). Optimasi Kinerja Alat Fourier Transform Infrared (FTIR) Melaui Studi Perbandingan Komposisi dan Ketebalan Sampel-KBr. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 5(2), 58-69.

- Sunardi, S. H., & Mukimin, A. (2014). Pengembangan metode analisis parameter minyak dan lemak pada contoh uji air. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri*, 5(1), 1-6.
- Syarif, T. (2021). Optimalisasi Penggunaan Zeolit Dalam Proses Penyerapan Sulfur Pada Limbah Sabun. *Journal of Chemical Process Engineering*, 6(2), 20-24.
- Triyanti, S. B., Lestari, F. P., Fitriana, P. A. N., Rostiana, H. R., Silalahi, D. D., Syalsabina, T. D., ... & Saputra, I. S. (2025). Pengaruh Metode Ekstraksi Maserasi, Sonikasi, dan Sokletasi Terhadap Nilai Rendemen Sampel Kulit Buah Naga (*Hylocereus polyrhizus*). *Jurnal Sains dan Edukasi Sains*, 8(1), 71-78.
- Victoria, S., Sitorus, S., & Panggabean, A. S. (2022). Verifikasi Parameter Pengujian Surfaktan Anionik dalam Air Limbah dengan Metode MBAS Menggunakan Spektrofotometer UV-VIS. *Jurnal Atomik*, 7(2), 15-19.
- Watuna, M. A., & Dwandaru, W. S. B. (2025). A Green Synthesis of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles with Moringa Oleifera Leaf Extract as Methylene Blue Absorbent. *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, 14(2), 244-253.
- Wulandari, R., Riyanto, C. A., & Martono, Y. (2023). Kinerja karbon aktif daun eceng gondok pada penurunan kadar fosfat artifisial dan surfaktan dalam limbah detergen. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 19(2), 149-161.
- Yolanda, Y. (2023). Analisa pengaruh suhu, salinitas dan pH terhadap kualitas air di muara perairan Belawan. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11(2), 329-337.
- Yuliana, Y., Langsa, M. H., & Sirampun, A. D. (2020). Air Limbah Laundry: Karakteristik Dan Pengaruhnya Terhadap Kualitas Air. *Jurnal Natural*, 16(1), 25-33.
- Yuliarni, F. F., Lestari, K. A. P., Arisawati, D. K., & Sari, R. D. W. (2022). Ekstraksi jamur auricularia dengan menggunakan pelarut etanol dan metanol. *Jurnal Teknologi Technoscintia*, 129-137.
- Yustika, D., Situmorang, H., Tambunan, M. O., Frastika, W., & Sihite, Y. (2023). Penentuan nilai cod sebagai parameter pencemaran air dan baku mutu air limbah fasilitas pelayanan kesehatan Rumah Sakit Putri Bidadari Langkat. *Jurnal pendidikan, sains dan teknologi*, 2(2), 346-348.