

**SINTESIS NANOMATERIAL MAGNETIT TERMODIFIKASI
EKSTRAK LIMBAH KULIT JERUK MANIS (*Citrus sinesis*)
DAN APLIKASINYA SEBAGAI MEDIA FILTER AIR LIMBAH
DENGAN KOMBINASI ARANG AKTIF**

Skripsi
Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana Kimia



Oleh:

Ida Laelatul Kasanah
22106030003

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. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-803/Un.02/DST/PP.00.9/05/2026

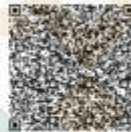
Tugas Akhir dengan judul : Sintesis Nanomaterial Magnetit Termodifikasi Ekstrak Limbah Kulit Jeruk Manis (Citrus sinensis) Dan Aplikasinya Sebagai Media Filter Air Limbah Dengan Kombinasi Arang Aktif

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : IDA LAELATUL KASANAH, S.Si
Nomor Induk Mahasiswa : 22106030003
Telah diujikan pada : Selasa, 28 April 2026
Nilai ujian Tugas Akhir : A

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

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Kerna Sidang

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

Valid ID: 696a96778e11



Penguji I

Khamiduln, S.Si., M.Si.
SIGNED

Valid ID: 195a6a8a27c



Penguji II

Didik Krisdiyanto, S.Si., M.Sc
SIGNED

Valid ID: 195a9f13442



Yogyakarta, 28 April 2026

UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khumil Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 696d2777146

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Ida Laelatul Kasanah
NIM : 22106030003
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **"SINTESIS NANOMATERIAL MAGNETIT TERMODIFIKASI LIMBAH EKSTRAK KULIT JERUK MANIS (*Citrus sinensis*) Dan APLIKASINYA SEBAGAI MEDIA FILTER AIR LIMBAH DENGAN KOMBINASI ARANG AKTIF"** 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, 27 Februari 2026



Ida Laelatul Kasanah
22106030003

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir
Lamp :

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 : Ida Laelatul Kasanah
NEM : 22106030003
Judul Skripsi : Sintesis Nanomaterial Magnetit Termodifikasi Ekstrak Limbah Kulit Jeruk Manis (*Citrus sinensis*) Dan Aplikasinya Sebagai Media Arang Aktif Air Limbah Dengan Kombinasi Arang Aktif

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 dimunafasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 8 Februari 2026
Pembimbing


Prof. Dr. Maya Rahmawanti, M.Si
NIP: 198106272006042003

HALAMAN MOTTO

“Jangan remehkan proses kecil, karena setiap tantangan membawa pelajaran”



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 tanggung jawab kepada diri sendiri, sayang dan cinta tidak terhingga kepada mamak, bapak dan kedua saudara kandung yang tercinta 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 kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan kasih dan karunia-Nya kepada kita semua. Shalawat serta salam kita haturkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita dari zaman kegelapan menuju zaman terang benderang. semoga kita mendapatkan syafaatnya di yaumul qiyamah, aamiin. Alhamdulillah, penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Sintesis Nanomaterial Magnetit (Fe_3O_4) Termodifikasi Ekstrak Kulit Jeruk Manis (*Citrus sinesis*) dan Aplikasinya Sebagai Media Filter Air Limbah Dengan Kombinasi Arang Aktif” dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Sains (S.Si) Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

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

1. Bapak Prof. Noorhaidi Hasan, S.Ag., M.A., M.Phil., Ph.D. selaku rektor UIN Sunan Kaijaga
2. Ibu Prof. Dr. Khurul Wardati, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga.
3. Ibu Prof. Dr Maya Ramayanti, M.Si. Selaku Ketua Program Kimia UIN Sunan Kalijaga sekaligus Dosen Pembimbing Skripsi yang sangat luar biasa. Senantiasa meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, memberikan nasihat kepada penulis, memberikan motivasi kepada penulis, memantau perkembangan selama penulisan tugas dan selalu memberikan arahan kepada penulis.

4. Segenap PLP Laboratorium Kimia Terpadu UIN Sunan Kalijaga yang telah membantu penulis selama melaksanakan penelitian, serta memberikan motivasi kepada penulis.
5. Seluruh Dosen Kimia UIN Sunan Kalijaga yang telah memberikan ilmunya selama bangku perkuliahan.
6. Penulis ucapkan terima kasih kepada orang tua tercinta yakni Bapak Sukadi dan Mamak Aryati atas setiap tetes keringat dalam setiap langkah pengorbanan dan kerja keras yang dilakukan untuk memberikan yang terbaik kepada penulis, mengusahakan segala kebutuhan, mendidik, membimbing, memberikan semangat, dukungan dan selalu memberikan kasih sayang yang tulus serta mendoakan penulis setiap keadaan apapun agar penulis mampu melangkah untuk sedikit demi sedikit meraih mimpi masa depan. Terima kasih sudah menjadi alasan dan motivasi utama penulis untuk selalu bertahan salah satunya menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Kedua saudara kandung tersayang, Lutfi Murtadho beserta istrinya dan Nadia Rafanda Khasanah yang selalu memberikan motivasi, dukungan, doa dan hiburan kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi.
8. Partner dekat yang selalu menemani skripsian di coffee shop, Naufal Aqilah Noor Amarullah yang selalu ada di kondisi apapun, memberikan dukungan, motivasi, dan waktu untuk membantu penulis untuk menyelesaikan skripsi.
9. Teman bimbingan Rini Maulida, Gishella Aulia Hardiana, Hanifah Ika Pratiwi, Masitha Wa Ode, dan Andhini Dwi Rahmayanti yang selalu memberikan motivasi, dukungan dan membantu penulis.
10. Kepada kakak tingkat, mba Isyfi yang bersedia memberikan dukungan dan arahan kepada penulis dalam penelitian ini.
11. Teman-teman xenon, kimia angkatan 2022 dan Pengurus HM-PS Kimia Periode 2024 terima kasih atas kenangan selama perkuliahan.
12. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi.
13. Terakhir, terima kasih kepada diri sendiri Ida Laelatul Kasanah yang sudah bekerja keras untuk menyakinkan dan menguatkan diri sendiri bahwa dapat

menyelesaikan studi ini sampai selesai. Walaupun dalam penyelesaian studi ini banyak cobaan didalamnya dan selalu mengeluh. Terima kasih, sudah sejauh ini, tetap buktikan bahwa ini awal perjalanan kesuksesan kamu untuk kemudian hari. Rayakan selalu kehadiranmu, jadilah rendah hati dimanapun kamu berada. Usaha dan doa yang selalu kamu langitkan. Semoga Allah selalu meridhoi setiap langkahmu dan selalu dalam lindungan-Nya. *Aamiin*

Wassalamu`alaikum Wr.Wb.

Penulis,

Ida Laelatul Kasanah



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------------|
| HALAMAN COVER | |
| HALAMAN PENGESAHAN | i |
| HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN | ii |
| SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR | iii |
| HALAMAN MOTTO | iv |
| KATA PENGANTAR | vi |
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR GAMBAR | xii |
| DAFTAR TABEL | xiii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xiv |
| ABSTRAK | xv |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| A. Latar Belakang..... | 1 |
| B. Batasan Masalah | 7 |
| C. Rumusan Masalah..... | 8 |
| D. Tujuan Penelitian | 9 |
| E. Manfaat Penelitian | 9 |
| BAB. II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI | 11 |
| A. Tinjauan Pustaka..... | 11 |
| B. Landasan Teori | 16 |
| A. Limbah Cair Domestik..... | 16 |
| B. Nanomaterial magnetit..... | 17 |
| C. Jeruk manis (<i>Citrus sinensis</i>)..... | 20 |
| D. Parameter air limbah | 21 |
| 1. COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>) | 21 |
| 2. pH | 22 |
| 3. <i>Total Suspended Solids</i> (TSS)..... | 22 |
| 4. <i>Total Dissolved Solid</i> (TDS) | 22 |
| 5. Deterjen..... | 23 |
| E. Arang aktif | 23 |
| F. Ekstraksi..... | 24 |
| G. Kopresipitasi | 25 |
| H. Diagram Pourbaix Fe | 27 |
| I. Adsorpsi | 28 |
| J. Spektrofotometer <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)..... | 29 |
| K. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)..... | 31 |
| L. <i>Scanning Elektron-Energy Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX) | 33 |

| | |
|---|-----------|
| M. Spektrofotometer <i>Ultraviolet Visible</i> (UV-Vis)..... | 34 |
| C. Kerangka Berfikir dan Hipotesis Penelitian | 36 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 39 |
| A. Waktu dan Tempat Penelitian..... | 39 |
| B. Alat-alat Penelitian. | 39 |
| C. Bahan-bahan Penelitian | 39 |
| D. Prosedur Kerja Penelitian | 39 |
| 1. Preparasi Serbuk dan Ekstrak Kulit Jeruk Manis (<i>Citrus Sinesis</i>)..... | 40 |
| 2. Sintesis Fe ₃ O ₄ -CS | 40 |
| 3. Karakterisasi Fe ₃ O ₄ -CS..... | 41 |
| 4. Aplikasi Fe ₃ O ₄ -CS sebagai media filter limbah cair domestik cucian pakaian | 41 |
| 5. Pengujian hasil filter air limbah cucian pakaian | 42 |
| 6. Studi Regenerasi Fe ₃ O ₄ -CS..... | 45 |
| BAB IV | 46 |
| PEMBAHASAN | 46 |
| A. Sintesis Fe ₃ O ₄ Termofikasi Ekstrak Kulit Jeruk Manis (<i>Citrus sinesis</i>) | 46 |
| B. Karakterisasi Nanomaterial Magnetit Fe ₃ O ₄ -CS | 50 |
| 1. Karakterisasi Gugus Fungsi Fe ₃ O ₄ -CS berdasarkan Spektrum FTIR.... | 50 |
| 2. Karakterisasi Kristalinitas dan Ukuran Kristal Fe ₃ O ₄ -CS berdasarkan Difaktogram XRD..... | 53 |
| 3. Karakterisasi Struktur Morfologi Kristal Fe ₃ O ₄ -CS berdasarkan Mikrogram SEM-EDX..... | 55 |
| C. Performa nanomaterial Fe ₃ O ₄ -CS sebagai media filter air limbah dengan kombinasi arang aktif. | 60 |
| 1. Analisis Pengujian Parameter COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>)..... | 61 |
| 2. Analisis Pengujian Parameter TSS (<i>Total Suspended Solids</i>)..... | 64 |
| 3. Analisis Pengujian Parameter TDS..... | 66 |
| 4. Analisis Pengujian Parameter Deterjen | 68 |
| 5. Analisis Pengujian Parameter pH | 70 |
| 6. Analisis Pengujian Parameter Suhu | 72 |
| D. Studi Regenerasi Air Limbah dengan Kombinasi Fe ₃ O ₄ -CS dan Arang aktif | 74 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | 79 |
| A. Kesimpulan..... | 79 |
| B. Saran | 80 |
| DAFTAR PUSTAKA | 81 |

| | |
|----------------------------|----|
| LAMPIRAN..... | 88 |
| DAFTAR RIWAYAT HIDUP | 91 |



DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Struktur Spin dan Orientasi Fe_3O_4 | 18 |
| Gambar 2.2 Jeruk Manis..... | 20 |
| Gambar 2.3 Arang Aktif..... | 23 |
| Gambar 2.4 Diagram Pourbaix Fe (El-Kharrag <i>et al.</i> , 2012) | 28 |
| Gambar 2.5 Skema Prinsip kerja Spektrum FTIR..... | 30 |
| Gambar 2.6 Skema prinsip kerja XRD..... | 32 |
| Gambar 2.7 Skema Prinsip Kerja SEM..... | 33 |
| Gambar 2.8 Skema Prinsip Kerja Spektrofotometer UV-Vis..... | 35 |
| Gambar 3.1 Desain Catridge Filter Air Limbah | 42 |
| Gambar 4.1 Ilustrasi interaksi permukaan antara Fe_3O_4 dan senyawa fenolik kulit jeruk manis | 48 |
| Gambar 4.2 Interaksi Fe_3O_4 -CS dengan Medan Magnet Eksternal..... | 49 |
| Gambar 4.3 Spektra FTIR Ekstrak Kulit Jeruk Manis dan Fe_3O_4 -CS..... | 50 |
| Gambar 4.4 XRD Fe_3O_4 -CS..... | 54 |
| Gambar 4.6 Distribusi Ukuran Partikel | 56 |
| Gambar 4.7 Analisis EDX pada Fe_3O_4 -CS..... | 58 |
| Gambar 4.8 Hasil Pengujian Parameter COD | 62 |
| Gambar 4.9 Hasil Pengujian Parameter TSS..... | 64 |
| Gambar 4.10 Hasil Pengujian Parameter TDS | 66 |
| Gambar 4.11 Hasil Pengujian Parameter Deterjen..... | 69 |
| Gambar 4.12 Spektrum FTIR Fe_3O_4 -CS Sebelum dan Sesudah Filtrasi..... | 75 |
| Gambar 4.13 Diagram Persentase Penurunan Kadar COD, TSS, | 77 |
| TDS, dan Deterjen..... | 77 |
| Gambar 4.14 Skema sintesis Fe_3O_4 -CS..... | 89 |

DAFTAR TABEL

| |
|--|
| Tabel 4.1 Perbandingan Ukuran dan Morfologi Kristal Nanomaterial Magnetit. 59 |
| Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Parameter pH sebelum dan sesudah filtrasi 71 |
| Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Parameter Suhu 72 |



DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|----|
| Lampiran 1. Perhitungan ukuran kristal Fe_3O_4 -CS dengan persamaan Debye-Scherre..... | 88 |
| Lampiran 2. Lampiran hasil foto..... | 89 |
| Lampiran.3 Dokumentasi Penelitian..... | 89 |



ABSTRAK
SINTESIS NANOMATERIAL MAGNETIT TERMODIFIKASI EKSTRAK
LIMBAH KULIT JERUK MANIS (*Citrus sinensis*) DAN APLIKASINYA
SEBAGAI MEDIA FILTER AIR LIMBAH DENGAN KOMBINASI
ARANG AKTIF
AKTIF

Oleh:

Ida Laelatul Kasanah
22106030003

Pembimbing:

Prof. Dr. Maya Rahmayanti, M.Si

Limbah cucian pakaian rumah tangga mengandung berbagai polutan organik dan anorganik yang berpotensi mencemari lingkungan, yang umumnya terukur melalui parameter COD, TSS, TDS, deterjen, pH dan suhu. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis nanomaterial magnetit termodifikasi ekstrak kulit jeruk manis (*Citrus sinensis*) Fe₃O₄-CS, melakukan karakterisasi material, serta mengkaji kinerjanya sebagai media filter air limbah cucian pakaian dengan kombinasi arang aktif. Sintesis Fe₃O₄-CS dilakukan menggunakan metode kopresipitasi terbalik dengan pereaksi FeCl₂.6H₂O dan FeSO₄.7H₂O dalam NaOH, serta penambahan ekstrak kulit jeruk sebagai *capping agent*. Karakterisasi material dilakukan menggunakan FTIR, XRD, dan SEM-EDX. Spektrum FTIR menunjukkan pita serapan khas ikatan Fe-O serta keberadaan gugus fungsi organik dari ekstrak kulit jeruk manis. Difaktogram XRD mengkonfirmasi terbentuknya fase magnetit yang sesuai dengan data JCPDS No.19-0629, dengan ukuran kristal rata-rata sebesar 1,34 nm berdasarkan perhitungan persamaan *Debye-Scherrer*. Hasil SEM memperlihatkan morfologi partikel yang tidak beraturan dengan permukaan relatif kasar, sedangkan analisis EDX mengkonfirmasi keberadaan unsur Fe, O, dan C yang menunjukkan keberhasilan modifikasi permukaan magnetit oleh senyawa organik ekstrak kulit jeruk. Aplikasi Fe₃O₄-CS sebagai media filter menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan filter tanpa Fe₃O₄-CS, terutama dalam menurunkan parameter COD, dan TSS, meskipun tidak signifikan pada TDS dan deterjen. Nilai pH dan suhu air limbah tetap berada dalam rentang aman sesuai baku mutu. Polutan dalam air limbah dan Fe₃O₄-CS berinteraksi melalui interaksi π - π , interaksi elektrostatik, dan ikatan hidrogen. Studi regenerasi hingga lima siklus menunjukkan bahwa efisiensi filtrasi mengalami fluktuasi namun tidak menurun secara signifikan, menandakan bahwa media Fe₃O₄-CS masih stabil digunakan berulang.

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

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan aktivitas manusia diberbagai sektor, mulai dari industri, pertanian, hingga domestik, saat ini berlangsung sangat pesat. Di samping memberikan manfaat, aktivitas tersebut memicu dampak negatif yang signifikan, salah satunya adalah pencemaran air. Pencemaran ini terjadi akibat masuknya berbagai polutan, baik berupa gas, bahan pelarut, maupun partikel padatan yang berasal dari limpasan lahan dan buangan perkotaan (Purba *et al.*, 2024). Akan tetapi, limbah cair dari aktivitas tersebut umumnya dibuang langsung ke badan air tanpa pengolahan terlebih dahulu, sehingga dapat membahayakan ekosistem perairan karena limbah cair biasanya terdapat bahan kimia beracun yang sulit diuraikan secara alami oleh mikroorganisme (Hidayat *et al.*, 2016).

Di Indonesia, permasalahan limbah cair merupakan permasalahan yang serius untuk diatasi. Dari berbagai sumber buangan yang ada, aktivitas rumah tangga tercatat sebagai penyumbang presentase limbah cair terbesar dibandingkan dengan sektor lainnya (Purba *et al.*, 2021). Tingginya presentase limbah cair rumah tangga atau limbah domestik diklasifikasikan menjadi dua jenis utama, yaitu *black water* (limbah kakus) dan *grey water* (limbah non-kakus dari cuci piring, mandi, dan pakaian). Fokus permasalahan pencemaran harian sering kali bersumber dari *grey water* khususnya air cucian pakaian. Secara fisik, limbah jenis ini berwarna keruh ke abu-abuan hingga coklat gelap akibat tingginya kandungan padatan

tersuspensi di dalamnya (Metcalf-Eddy, 2014). Sementara itu, dari aspek kimia, *grey water* mengandung polutan organik, deterjen yang mengandung nitrogen dan fosfor (Tchobanologous *et al.*, 2014). Tingginya kadar bahan kimia yang membuat air limbah cucian pakaian sangat resisten dan berbahaya bagi ekosistem perairan jika tidak diolah terlebih dahulu.

Secara visual, air limbah cucian pakaian umumnya berwarna putih keruh, berbau menyengat, dan memiliki busa yang melimpah akibat tingginya konsentrasi deterjen (Suasti, 2019). Permasalahan utama dari limbah deterjen saat ini adalah penggunaan *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) sebagai bahan aktif utamanya. LAS merupakan jenis surfaktan anionik yang memiliki struktur rantai karbon yang sangat resisten terhadap proses biodegradasi alami oleh mikroorganisme. Selain LAS, formulasi deterjen juga banyak mengandung senyawa turunan fosfat yang dapat memicu terjadinya eutrofikasi atau ledakan populasi alga pembawa racun. Tingginya tingkat toksisitas dan dampak destruktif tersebut, pengolahan air limbah cucian pakaian harus menggunakan metode yang tepat dan efisien.

Pengolahan air limbah domestik dapat dilakukan dengan beberapa metode antara lain metode pertukaran ion, presipitasi kimia, metode koagulasi dan metode flokulasi, ultrafiltrasi, reverse osmosis, elektrolisis dan adsorpsi (Rahim *et al.*, 2021). Metode pertukaran ion merupakan salah satu metode yang biasanya umum digunakan untuk mengolah limbah domestik khususnya dalam menghilangkan ion logam berat, ammonium, nitrat, dan fosfat. Kelebihan metode pertukaran ion berupa selektivitas tinggi terhadap ion tertentu dan memiliki kemampuan resin yang dapat digunakan kembali. Namun, metode ini kurang efektif jika terdapat banyak

bahan organik sehingga memerlukan pengendalian pH dan suhu yang ketat (Ali *et al.*, 2023). Metode presipitasi kimia merupakan metode pengolahan limbah yang dilakukan dengan cara menambahkan reagen kimia untuk membentuk endapan yang tidak larut sehingga dapat dipisahkan dari limbah. Kelebihan metode ini prosesnya yang lebih sederhana, cepat, dan efektif untuk limbah dengan konsentrasi tinggi. Namun, kelemahan metode ini memerlukan biaya yang relatif lebih mahal dan tidak efektif untuk polutan dengan konsentrasi rendah sehingga tidak mampu memenuhi standar kualitas air secara menyeluruh tanpa kombinasi dengan metode lain. (Muslim *et al.*, 2023). Metode koagulasi/flokulasi adalah metode yang melibatkan penambahan bahan kimia ke dalam air sehingga menyebabkan pemisahan partikel (Li *et al.*, 2020). Kelebihan metode ini adalah prosesnya relatif sederhana, cepat dan efektif dalam skala besar untuk menurunkan kadar *turbidity*, *total suspended solid (TSS)*, dan *chemical oxygen demand (COD)* dalam limbah cucian pakaian (Barzegar *et al.*, 2019). Namun, metode ini kurang efektif dalam menghilangkan kontaminan dalam air limbah seperti senyawa organik dan surfaktan yang merupakan komponen utama dalam limbah cucian pakaian, sehingga perlu dikombinasikan dengan metode lain seperti metode adsorpsi dan filtrasi (Sharma *et al.*, 2009).

Pengolahan air limbah domestik dapat dilakukan dengan metode filtrasi dengan menyaring air limbah menggunakan berbagai jenis material seperti pasir, arang aktif (karbon) dan zeolit. Metode filtrasi menggunakan pasir, semakin tebal pasir yang digunakan semakin jernih air yang dikeluarkan. Filtrasi memiliki kekurangan penyaringan yang relatif lebih lambat (Adywater, 2015). Metode

filtrasi menggunakan material zeolit memiliki kelemahan yaitu efektivitas yang rendah dalam menyerap senyawa organik kompleks. Terutama apabila digunakan tanpa proses aktivasi, zeolit dapat menyebabkan efektivitas penyaringan menurun, bahkan berpotensi meningkatkan kadar kontaminan seperti surfaktan dalam air limbah (Apriyani & Novrianti, 2020; Prasetyo, Susanto & Rachmania, 2016). Metode filtrasi juga dapat dilakukan menggunakan arang aktif, menurut Nisa (2010) karbon arang aktif memiliki luas permukaan yang besar sehingga dapat menyerap kotoran dalam air limbah domestik seperti polutan organik dan COD pada air limbah. Filtrasi menggunakan arang aktif efektif dalam mengurangi berbagai kontaminan seperti senyawa organik dan penurunan COD dari air limbah domestik (Sari *et al.*, 2018).

Metode filtrasi dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa material adsorben. Metode ini relatif mudah dilakukan, sederhana, biaya yang relatif murah dan limbah yang dihasilkan rendah (Veli *et al.*, 2021). Adsorben yang banyak dikembangkan yaitu adsorben nanomaterial magnetit (Fe_3O_4). Ukuran nanomaterial magnetit antara 1 hingga 100 nm. Menurut Rahmayanti, Syakina *et al.*, (2022) magnetit (Fe_3O_4) merupakan salah satu senyawa magnetik yang paling banyak diteliti dan dimanfaatkan karena memiliki sifat para magnetik serta kestabilan yang tinggi. Selain itu, nanopartikel magnetit Fe_3O_4 juga menunjukkan sifat toksisitas yang rendah, biokompatibilitas yang tinggi, dan sifat magnetiknya yang kuat sehingga cocok digunakan untuk adsorpsi air limbah domestik (Golthi & Kommu, 2023).

Salah satu kelebihan utama nanomaterial magnetit adalah sifat magnetiknya yang memungkinkan pemisahan cepat dari lingkungan menggunakan medan magnet eksternal, sehingga proses pemulihan dan daur ulang material menjadi lebih efisien dan ramah lingkungan (Ali *et al.*, 2021). Selain itu, ukurannya yang berada dalam skala nanometer memberikan luas permukaan spesifik yang tinggi, meningkatkan kapasitas adsorpsi terhadap berbagai kontaminan logam berat, zat warna, dan senyawa organik berbahaya (Atagana, 2023). Luas permukaan ini memungkinkan lebih banyak situs aktif tersedia untuk berinteraksi dengan berbagai kontaminan yang umum terdapat dalam limbah rumah tangga, seperti deterjen, sisa makanan, minyak, serta ion logam berat seperti Pb^{2+} , Cd^{2+} , dan Zn^{2+} , serta senyawa organik seperti fenol, surfaktan (*linear alkylbenzene sulfonate*), amonia (NH_3), dan fosfat (PO_4^{3-}) (Khan *et al.*, 2020).

Nanomaterial magnetit fleksibel karena permukaannya dapat dimodifikasi dengan berbagai senyawa, seperti silika atau kitosan, untuk meningkatkan stabilitas, selektivitas, dan daya adsorpsi di lingkungan yang kompleks (Nsar *et al.*, 2025). Struktur permukaan nanomaterial dapat dimodifikasi dengan gugus fungsional tertentu ($-COOH$, $-OH$, $-NH_2$), sehingga meningkatkan afinitas terhadap senyawa kimia tertentu di dalam air limbah (Ali *et al.*, 2022). Nanomaterial magnetit memiliki kemampuan regenerasi yang baik, sehingga bisa digunakan berulang kali tanpa penurunan kinerja yang signifikan (Sahoo & Kumar, 2024). Kelebihan tersebut, dapat menjadi solusi tepat guna dalam pengolahan air limbah salah satunya air limbah domestik (Kumar & Sharma, 2024).

Nanomaterial magnetit banyak disintesis menggunakan ekstrak tumbuhan karena menerapkan metode *green synthesis*. Salah satu metode yang paling umum digunakan adalah kopresipitasi, yaitu proses pengendapan ion logam seperti Fe^{2+} dan Fe^{3+} dalam larutan basa (biasanya NaOH atau NH_4OH) untuk membentuk nanomaterial magnetit.. Metode ini banyak digunakan karena sederhana, efisien, serta dapat dilakukan pada suhu kamar dengan hasil kemurnian yang tinggi (Wu *et al.*, 2008). Menurut Boulouz *et al.*, (2020) menunjukkan bahwa metode kopresipitasi dapat menghasilkan nanopartikel magnetit dengan distribusi ukuran yang sempit sehingga penting dalam aplikasi biomedis dan katalisis. Kelebihan dari metode kopresipitasi adalah kemampuannya dalam menghasilkan magnetit dengan kemurnian tinggi tanpa menggunakan pelarut berbahaya. Selain pendekatan kimia, pendekatan biogenik atau hijau (*Green synthesis*) menggunakan agen penstabil alami dari ekstrak tumbuhan juga mulai dikembangkan karena lebih ramah lingkungan dan mengurangi penggunaan bahan kimia berbahaya (Nasir *et al.*, 2019).

Salah satu ekstrak tanaman yang dapat dimanfaatkan untuk sintesis nanomaterial magnetit adalah kulit jeruk manis (*Citrus cinesis*). Ekstrak kulit jeruk manis (*Citrus sinensis*) efektif digunakan dalam sintesis nanopartikel magnetit seperti Fe_3O_4 karena mengandung senyawa fitokimia seperti flavonoid, limonene, asam askorbat, dan tanin. (Sundararajan *et al.*, 2016). Kandungan fitokimia pada ekstrak limbah tumbuhan dapat berperan sebagai reduktor dan *capping agent* yang mengontrol proses pertumbuhan partikel (Syakina *et al.*, 2023; Khalid *et al.*, 2021; Fakhari *et al.*, 2019). Kandungan gugus -OH pada metabolit sekunder dapat

berperan sebagai zat pereduksi Fe^{3+} dan Fe^{2+} menjadi Fe sehingga menghasilkan magnetit Fe_3O_4 dengan kemurnian yang lebih tinggi (Rahmayanti *et al.*, 2022). Selain sebagai pereduksi, senyawa tersebut juga dapat menstabilkan nanomaterial yang terbentuk melalui ikatan dengan gugus hidroksil (-OH) dan karbonil, sehingga mencegah aglomerasi partikel. Selain itu, gugus-gugus fungsi tersebut juga memiliki kemampuan untuk berikatan dengan berbagai jenis polutan limbah, seperti ion logam berat dan senyawa organik melalui mekanisme adsorpsi. Metode ini tidak hanya mengurangi penggunaan bahan kimia berbahaya, tetapi juga mengurangi dan memanfaatkan limbah rumah tangga sebagai pendekatan berkelanjutan dalam sintesis nanomaterial (Singh *et al.*, 2021).

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, pada penelitian ini nanomaterial magnetit (Fe_3O_4) akan disintesis menggunakan metode kopresipitasi dengan ekstrak kulit jeruk (*Citrus sinesis*) yang disebut Fe_3O_4 -CS. Sementara itu, nanomaterial magnetit (Fe_3O_4) diaplikasikan sebagai media adsorpsi pada media filter air limbah domestik berupa limbah cucian pakaian. Penelitian ini akan mempelajari karakteristik nanomaterial magnetit yang disintesis dari kulit jeruk manis (*Citrus sinesis*), pengujian parameter limbah cair (COD, TSS, TDS, Deterjen, pH dan suhu) dan studi regenerasi Fe_3O_4 -CS.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Limbah kulit jeruk manis yang digunakan pada penelitian ini berasal dari limbah rumah tangga.
2. Ekstrak kulit jeruk manis (*Citrus sinesis*) yang digunakan diperoleh dengan cara

ekstraksi menggunakan pelarut air.

3. Metode yang digunakan pada sintesis $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ pada penelitian ini adalah metode kopresipitasi terbalik.
4. Limbah domestik yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah cair cucian pakaian.
5. Karakterisasi dan analisis gugus fungsi nanomaterial $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ dilakukan dengan menggunakan *Spektrofotometer fourier infrared spectroscopy* (FTIR) dan analisis kristalinitas serta ukuran kristal menggunakan *x-ray Diffractometry* (XRD), serta morfologi dan komposisi kimia dengan *Scanning electron microscope-energy dispersive x-ray* (SEM-EDX).
6. Parameter kualitas air limbah yang akan diuji pada penelitian ini berupa COD, pH, TSS, TDS dan Deterjen.

C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik serapan gugus fungsi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$, berdasarkan spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR), kristalinitas dan ukuran partikel $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ berdasarkan *x-ray diffractometry* (XRD), morfologi dan komposisi kimia berdasarkan *scanning electron microscope-energy dispersive* (SEM-EDX)?
2. Bagaimana performa nanomaterial $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ dengan kombinasi arang aktif sebagai media filter air limbah dengan kombinasi arang aktif berdasarkan parameter COD, pH, TSS, Surfaktan serta kandungan minyak dan lemak air limbah sebelum dan setelah filtrasi?

3. Bagaimana studi regenerasi teknologi filter air limbah domestik dengan inovasi nanomaterial $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ dengan kombinasi arang aktif sebagai media filter air?

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mensintesis nanomaterial magnetit termodifikasi ekstrak kulit jeruk manis dengan metode kopresipitasi terbalik.
2. Mengkarakterisasi serapan gugus fungsi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$, berdasarkan spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR), kristalinitas dan ukuran partikel $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ berdasarkan *x-ray diffractometry* (XRD), morfologi dan komposisi kimia berdasarkan *scanning electron microscope-energy dispersive* (SEM-EDX)
3. Menganalisis performa nanomaterial $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ dengan kombinasi arang aktif sebagai media filter air limbah dengan kombinasi arang aktif berdasarkan parameter COD, pH, TSS, TDS, deterjen, pH dan suhu air limbah sebelum dan setelah filtrasi.
4. Menganalisis studi regenerasi teknologi filter air limbah domestik dengan nanomaterial magnetit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ dengan kombinasi arang aktif sebagai media filter air.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan informasi kepada pembaca mengenai potensi nanomaterial magnetit dari limbah kulit jeruk manis (*Citrus sinesis*) sebagai alternatif media adsorben ramah lingkungan yang dapat mengurangi polutan air khususnya pada limbah cair cucian pakaian.
2. Meningkatkan pemanfaatan kulit jeruk manis (*Citrus sinesis*) dari limbah rumah

tangga sebagai adsorben polutan pada limbah cair cucian pakaian.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa

1. Sintesis $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ berhasil dilakukan dengan pH sintesis berada pada pH 11. Selain itu, magnetit yang dihasilkan dapat berinteraksi dengan medan magnet eksternal yang membuktikan bahwa nanomaterial magnetit telah berhasil disintesis dengan metode kopresipitasi terbalik.
2. Karakterisasi gugus fungsi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ menggunakan instrumen FTIR menunjukkan puncak serapan pada bilangan gelombang 436,33; 583,37; 627,70; 853,46; 1074,70; 1332,30; 1618,89; 3407,09; dan 3727,37 cm^{-1} .
3. Karakterisasi XRD menunjukkan adanya beberapa puncak yang muncul pada difraksi (2θ) pada sudut $30,45^\circ$; $35,73^\circ$; $43,32^\circ$; $53,53^\circ$; $57,7^\circ$; $62,5^\circ$ dengan masing-masing indeks miller adalah (220), (311), (400), (422), (511), dan (440) yang telah sesuai dengan puncak Fe_3O_4 murni menurut *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDs No. 19-0629).
4. Karakterisasi dengan SEM-EDX menunjukkan bahwa $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ memiliki permukaan yang kasar dan ukuran distribusi tidak teratur dengan rata-rata ukuran partikel sebesar 1,34 nm. Hasil pengujian EDX menunjukkan bahwa magnetit yang dihasilkan memiliki komposisi utama unsur oksigen (O) sebesar 59,28% (atom), Besi (Fe) sebesar 15,57% (atom), karbon (C) sebesar 23,91% (atom).
5. Filter air limbah dengan media $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ menunjukkan performa yang lebih baik dibanding dengan filter tanpa media $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ untuk parameter COD dan TSS.

Akan tetapi hal ini tidak berlaku pada parameter TDS dan deterjen. Namun, pada parameter pH dan suhu kedua filter masih stabil setelah proses filtrasi.

6. Studi regenerasi media filter air pada kedua desain, menunjukkan adanya penurunan efektivitas seiring bertambahnya jumlah regenerasi.

B. Saran

Saran yang dapat disampaikan dalam penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pengembangan sistem filtrasi dengan desain reaktor dalam skala lebih besar, agar proses adsorpsi dapat berlangsung secara kontinu dan efisien.
2. Penelitian selanjutnya disarankan untuk meningkatkan jumlah media filtrasi, khususnya arang aktif dan magnetit, guna memperluas luas permukaan dan jumlah situs aktif adsorpsi sehingga diharapkan dapat meningkatkan kinerja penurunan parameter pencemar, terutama deterjen dan TDS.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, N. H., Shamel, K., Etesami, M., Chan Abdullah, E., & Abdullah, L. C. (2017). Facile and green preparation of magnetite/zeolite nanocomposites for energy application in a single-step procedure. *Journal of Alloys and Compounds*, 719, 218–226. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.05.028>.
- Ahmad, M. A., & Hameed, B. H. (2020). Adsorption of surfactants using activated carbon: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104012.
- Ajila, C. M., Naidu, K. A., Bhat, S. G., & Rao, U. P. (2007). Bioactive compounds and antioxidant potential of mango peel extract. *Food chemistry*, 105(3), 982-988.
- Ali, A., Shah, T., Ullah, R., Zhou, P., Guo, M., Ovais, M., ... & Rui, Y. (2021). Review on recent progress in magnetic nanoparticles: Synthesis, characterization, and diverse applications. *Frontiers in chemistry*, 9, 629054.
- Ali, I., et al. (2021). Environmental applications of magnetic nanoparticles. *Journal of Environmental Management*.
- Al-Maamary, A., Al-Hamdany, A. Y., Abdulmir, S. S., & Abdulkadir, S. A. (2023). Enhanced removal of suspended solids and dyes from textile wastewater using Fe₃O₄ nanoparticles under neutral pH conditions. *Journal of Cleaner Production*, 389, 138732. DOI:10.1016/j.jclepro.2023.138732.
- Alprol, A. E., et al. (2025). Optimized removal of methylene blue and surfactants using activated carbon-based composites. *Scientific Reports*, 15, 38834.
- Apriyani, E., & Novrianti, R. (2020). Pemanfaatan Zeolit Alami sebagai Filter Limbah Laundry untuk Menurunkan Kadar Surfaktan dan TDS. *Jurnal Ilmiah Kesehatan Lingkungan*, 2(1).
- Asbahani. (2013). Pemanfaatan Limbah Ampas Tebu Sebagai Karbon Aktif Untuk Menurunkan Kadar Besi Pada Air Sumur. *Jurnal Teknik Sipil Untan*, 13 (1), 105
- Bai, J., Chen, Y., & Wang, D. (2016). A comprehensive study on the corrosion behavior of iron and its oxides in aqueous solutions based on Pourbaix diagrams. *Corrosion Science*, 110, 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2016.04.011>
- Barzegar, G., Mahvi, A. H., Nasser, S., & Mesdaghinia, A. (2019). Efficiency of coagulation-flocculation process using alum and polyaluminum chloride for laundry greywater treatment. *Desalination and Water Treatment*, 147, 274–281.
- Bhatnagar, A., & Sillanpää, M. (2010). Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment – A review. *Chemical Engineering Journal*, 157(2–3), 277–296..
- Bitton, G. (2011). *Wastewater microbiology*. John Wiley & Sons.
- Boulouz, R., Ahmad, R. Z., & Sharma, S. (2020). Synthesis and Characterization of Magnetite Nanoparticles by Coprecipitation Method for Biomedical and Catalytic Applications. *Journal of Nanomaterials*, 15(4), 432-440.

- Brezo-Borjan, E., Knez, Ž., Škerget, M., & Knez Hrnčič, M. (2023). *Chemical and biological characterisation of orange (Citrus sinensis) peel extracts obtained by subcritical water*. *Processes*, 11(6), 1766.
- Browne, MA, Crump, P., Niven, SJ, Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (2011). Akumulasi mikroplastik di garis pantai di seluruh dunia: sumber dan penampung. *Ilmu dan teknologi lingkungan*, 45 (21), 9175-9179.
- Butler, B. A., Ford, R. G., & Hoover, L. L. (2018). Factors affecting dissolved solids in surface waters. *Science of the Total Environment*, 645, 110–121.
- Cheerawit, W., et al. (2012). Characteristics of domestic wastewater. *Water Science Journal*.
- CN, S., PL, M., & GF, P. (2003). *Chemistry for environmental engineering and science*. Mc Graw Hill.
- Crini, G., & Lichtfouse, E. (2019). Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment. *Environmental Chemistry Letters*, 17, 145–155. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0785-9>
- Day, R. A., Jr., & Underwood, A. L. (1991). *Quantitative analysis* (6th ed.). Prentice Hall.
- Depkes. (2000). Parameter Standar Umum Kualitas Ekstrak Tumbuhan Obat.
- Eldeeb, B. A., Abd El-Raheem, W. M., & Elbeltagi, S. (2023). *Green synthesis of biocompatible Fe₃O₄ magnetic nanoparticles using Citrus sinensis peels extract for their biological activities and magnetic-hyperthermia applications*. *Scientific Reports*, 13, 11509. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46287-6>.
- Ershadifat, N., et al. (2017). Surface charge properties and pH_{pzc} of Fe₃O₄ nanoparticles synthesized by different methods. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(6), 5688–5696.
- Ershadifat, N., Khorshidi, M., & Safari, A. (2017). Surface charge properties and pH_{pzc} of Fe₃O₄ nanoparticles synthesized by different methods. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(6), 5688–5696.
- Fakhari, M. Jamzad dan H. Kabiri Fard. Green synthesis of zinc oxide nanoparticles: a comparison. *Green Chemistry Letters and Reviews*. 12(2019), 19-24.
- Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2010). *Insights into the modeling of adsorption isotherm systems*. *Chemical Engineering Journal*, 156(1), 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.09.013>.
- Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W., Scott, J. H. J., & Joy, D.C. (2017). *Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis*. springer.
- Griffiths, PR (1980). Spektrometri inframeraj transformasi Fourier. *Sains*, 222 (4621), 297-302.
- Gupta, V. K. (2009). Application of low-cost adsorbents for dye removal—a review. *Journal of environmental management*, 90(8), 2313-2342.
- Hammed, B. H., Ahmad, A. L., & Aziz, N. (2007). Isotherms, kinetics and thermodynamics of methylene blue adsorption by activated carbon. *Journal of Hazardous Materials*, 141(3), 819–825.

- Han, Y., *et al.* (2015). *Synthesis and characterization of magnetic activated carbon for wastewater treatment*. *Applied Surface Science*, 333, 145–152
- Harmayani, K. D., & Konsukartha, I. G. M. (2013). *Pencemaran Air Tanah Akibat Limbah Domestik di Lingkungan Permukiman Kumuh*. Kupdf.
- Hayden, L.; Wood, J.; Hassell, S.; Jones, A.; Deese, A (2023) . Penilaian Kualitas Air Daerah Aliran Sungai Pasquotank; Analisis Oksigen Terlarut, pH, Garam, Total Padatan Terlarut, dan Konduktivitas.
- Hidayat, M. Y., Fauzi, R., & Suoth, A. (2019). Efektivitas Multimedia Dalam Biofilter Pada Pengolahan Air Limbah Rumah Tangga (The Effectiveness Of Multimedia In Biofilters On Grey Water Treatments). *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, 3(2), 111-126.
- Ho, Y.S. & McKay, G. (1999). *Pseudo-second order model for sorption processes*. *Process Biochemistry*, 34(5), 451–465.
<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.150390>.
- Jun, B. M., Kim, Y., Han, J., Yoon, Y., & Park, C. M. (2019). *Preparation of activated biochar-supported magnetite composite for adsorption of polychlorinated phenols from aqueous solutions*. *Water*, 11(9), 1899.
<https://doi.org/10.3390/w11091899>
- Jurado, E., Fernandez-Serrano, M., Nogueira, R., & Lechuga, M. (2011). *Degradation of linear alkylbenzene sulfonate in water systems: Kinetic and mechanistic insights*. *Journal of Hazardous Materials*, 192(1), 208–216.
- Khan, I., Saeed, K., & Khan, I. (2020). *Nanomaterials: Classification, properties, and environmental toxicities*. *Heliyon*, 6(9), e04540.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04540>
- Khan, M. S., *et al.* (2022). *Characterization and treatment of laundry wastewater: A review on physico-chemical parameters and treatment techniques*. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(5), 108000.
- Khan, S., *et al.* (2020). Adsorption mechanisms of heavy metals using magnetic nanomaterials. *Environmental Research*, 186, 109559.
- Kudr, J., Haddad, Y., Richtera, L., Heger, Z., Cernak, M., Adam, V., & Zitka, O. (2017). Magnetic nanoparticles: From design and synthesis to real world applications. *Nanomaterials*, 7(9), 243.
- Kumar, A., & Sharma, R. (2024). Green Nanotechnology in Wastewater Treatment. *Environmental Science Advances*.
- Kumar, V., *et al.* (2014). Utilization of citrus peel for the synthesis of nanomaterials. *Green Chemistry Letters and Reviews*. may
- Laurent, S., Forge, D., Port, M., Roch, A., Robic, C., Vander Elst, L., & Muller, R. N. (2008). Magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis, stabilization, vectorization, physicochemical characterizations, and biological applications. *Chemical reviews*, 108(6), 2064-2110.
- Leba, M. A. U. (2017). *Buku Ajar: Ekstraksi dan real kromatografi*. Deepublish
- Lestari, D., & Haris, A. (2020). Kandungan Surfaktan dalam Limbah Domestik. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(2).
- Lestari, I., Yohana, A. V., & Gusti, D. R. (2023). *Preparation and Characterisation of Composite Magnetite Fe₃O₄-Activated Carbon as Adsorben of Phenol*. *Jurnal Riset Kimia*, 13(1), 45–52. <https://doi.org/10.25077/jrk.v13i1.442>

- Li, H., Wu, S., Du, C., Zhong, Y., & Yang, C. (2020). Preparation, performances, and mechanisms of microbial flocculants for wastewater treatment. *International journal of environmental research and public health*, 17(4), 1360.
- Liu, C., Zhang, L., Wang, J., & Zhang, S. (2021). Fe₃O₄-based nanocomposites for wastewater treatment: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 106573. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106573>.
- Liu, C., Zhang, L., Wang, J., & Zhang, S. (2021). Fe₃O₄-based nanocomposites for wastewater treatment: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 106573. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106573>
- Liu, F., Wang, Z., & Zhang, L. (2021). Effect of surface charge on adsorption of anionic surfactants by metal oxides. *Applied Surface Science*, 536, 147820.
- Luruk, R. K., Sari, D. P., & Nugroho, A. (2019). Green synthesis of silver nanoparticles using *Ocimum sanctum* leaf extract. *Jurnal Kimia Terapan*, 21(2), 78–85. nuraini 2021
- Mayerhöfer, T. G., Pahlow, S., & Popp, J. (2020). The Bouguer–Beer–Lambert law: Shining light on the obscure. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 22(7), 3701–3711. <https://doi.org/10.1039/C9CP06619J>
- Maylani, R. (2015). Sintesis dan karakterisasi nanomaterial kopresipitasi. *Jurnal Kimia FMIPA*, 3(2), 27–33.
- McCleskey, RB; Cravotta, CA; Miller, MP; Tillman, F.; Stackelberg, P.; Knierim, KJ; Wise, DR (2023). Pengukuran Salinitas dan Total Padatan Terlarut untuk Perairan Alami: Tinjauan Umum dan Metode Salinitas Baru Berdasarkan Konduktansi Spesifik dan Jenis Air. *Appl. Geochem*, 154, 105684
- Metcalf & Eddy. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Mohammed, R. R., Chong, M. F., & Bhatia, S. (2015). Removal of dissolved solids from wastewater using activated carbon. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3(3), 1972–1981.
- Muslim, F., Sumarni, W., & Fitria, L. (2023). Studi Pengurangan Fosfat dan Amonium dalam Limbah Domestik dengan Metode Presipitasi. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 24(1), 33–41.
- Nisa, S. K., Lustiyati, E. D., & Fitriani, A. (2021). Sanitasi Penyediaan Air Bersih dengan Kejadian Stunting pada Balita. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Kesehatan Masyarakat Indonesia*, 2(1), 17-25
- Nsar, R., *et al.* (2025). Surface functionalization of magnetic nanoparticles for water treatment. *Future Materials*, 2(1).
- Öztürk, H., Duman, H., Karaca, M., & Yalçın, M. (2012). Removal of textile dyes from aqueous solutions by adsorption onto activated carbon. *Desalination*, 287, 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.05.013>
- Pan, Y., Wang, S., Zhang, L., & Wei, H. (2021). *Superparamagnetic Fe₃O₄ nanoparticles: Synthesis, properties, and applications in adsorption and catalysis*. *Applied Surface Science*, 563, 150390
- Prasetyo, B. A., Susanto, R. H., & Rachmania, I. (2016). *Penyaringan Air Tanah dengan Zeolit Alami untuk Menurunkan Kadar Besi dan Mangan*.

- Putra, R. A., Djajadiningrat, S. T., & Haris, A. (2021). Analisis Beban Pencemaran Limbah Domestik di Wilayah DKI Jakarta. *Jurnal Nasional Ilmu Kesehatan*, 5(1), 45–52.
- Qomarudin, M. N., Sari, D. P., & Nugroho, A. (2018). Pengaruh minyak dan lemak terhadap kualitas air limbah. *Jurnal Sanitasi Lingkungan*, 6(2), 45–52.
- Rahim, A. R. A., Iswarya, I., Johari, K., Shehzad, N., Saman, N., & Mat, H. (2021). Conversion of coconut waste into cost effective adsorbent for Cu(II) and Ni(II) removal from aqueous solutions. *Environmental Engineering Research*, 26(4), 200250.
- Rahmadani, N., Syafri, M., Mustari, S., & Nur, N.H. (2022) Efektifitas Penyaringan Sederhana dengan Media Cipping, Arang aktif, dan Zeolit dalam Menstabilkan Kadar BOD dan COD limbah cair Usaha Laundry Rumah Tangga; The Effectiveness of Simple Filtering with Cipping Media, Activated Charcoal, and Zeolite in Stabilizing BOD and COD Levels of Liquid Waste for Household Laundry Business . *Media Publikasi Promosi Kesehatan Indonesia (MPPKI)*, 5(4), 447-452. <https://doi.org/10.56338/mppki.v5i4.2209>
- Rahman, M. M. (2016). Synthesis of Magnetic Nanoparticles by Coprecipitation Method. *Journal of Materials Chemistry*.
- Rahmawati, R. (2024). Adsorpsi zat warna methylene blue menggunakan adsorben komposit Fe₃O₄-arang aktif kulit lai. *Prosiding Kimia FMIPA UNMUL*
- Rahmayanti, M., Syakina, A. N., Fatimah, I., & Sulistyaningsih, 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 (Fe₃O₄-TD) for methylene blue adsorbent from simulation waste. *Communications in Science and Technology*, 7(2), 119-126.
- Raut, A. V., Jadhav, S. R., & Tiwari, A. (2023). *FTIR and XRD analysis of magnetite nanoparticles synthesized using plant extracts*. *Materials Chemistry and Physics*, 305, 127883. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2023.127883>
- Rohman, A. (2014). Analisis Kimiawi dengan FTIR. UGM Press.
- Rohman, A., & Windarsih, A. (2020). Aplikasi FTIR untuk Identifikasi Senyawa. *Jurnal Ilmu Farmasi*, 6(1).
- Roonasi, H., & Holmgren, A. (2009). *A Fourier transform infrared (FTIR) study of iron oxide adsorption of organic matter*. *Applied Surface Science*, 255, 5891–5895.
- Roonasi, H., & Holmgren, A. (2009). A Fourier transform infrared (FTIR) study of iron oxide adsorption of organic matter. *Applied Surface Science*, 255(11), 5891–5895.
- Sahoo & Kumar *et al* 2024 Sahoo, D., & Kumar, P. (2024). Reusability of Magnetic Nanoadsorbents. *Journal of Environmental Nanotechnology*.
- Santos, J. M., *et al.* (2020). *Effect of pH and surfactant charge on adsorption performance of activated carbon for laundry effluents treatment*. *Journal of*

- Environmental Chemical Engineering, 8(4), 103971.
- Sari, D. A., Ekoputri, S. F., Rahmatunnissa, A., Nulfaidah, F., Ratnasari, Y., & Djaeni, M. (2024). *Pengolahan air limbah dengan metode koagulasi flokulasi pada industri kimia*. Jurnal Rekayasa Proses, 9(1), 7781–7787.
- Sato, N., & Cohen, M. (1961). *The anodic behavior of iron in acid solutions: The mechanism of passivation*. Journal of the Electrochemical Society, 108(11), 1021–1027.
- Schwarzenbach, R. P., Gschwend, P. M., & Imboden, D. M. (2006). *Environmental Organic Chemistry* (2nd ed.). Hoboken: John Wiley & Sons
- Setiabudi, A., Hardian, R., & Muzakir, A. (2012). *Karakterisasi Material : Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia*. Bandung : UPI Pressmasta.
- Sharma, Y. C., Srivastava, V., Singh, V. K., Kaul, S. N., & Weng, C. H. (2009). Nano-adsorbents for the removal of metallic pollutants from water and wastewater. *Environmental technology*, 30(6), 583-609.
- Sibera, D., et al. (2024). *Activated iron-porous carbon nanomaterials as efficient methylene blue adsorbents*. Molecules, 29(17), 4090.
- Singh, J., Dutta, T., Kim, K. H., Rawat, M., Samddar, P., & Kumar, P. (2018). ‘Green’ synthesis of metals and their oxide nanoparticles: applications for environmental remediation. *Journal of nanobiotechnology*, 16, 1-24.
- Siyal, A. A., Shamsuddin, M. R., Khan, M. I., et al. (2020). Adsorption of surfactants from aqueous solutions – A review. *Journal of Molecular Liquids*, 301, 112335. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.112335>
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2014). *Principles of instrumental analysis* (6th ed.). Cengage Learning.
- Siyal, A. A., Shamsuddin, M. R., Khan, M. I., et al. (2020). Adsorption of surfactants from aqueous solutions – A review. *Journal of Molecular Liquids*, 301, 112335.
- Suastuti, E. (2019). Dampak Limbah Deterjen terhadap Lingkungan. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*.
- Sukardjo. (1998). *Kimia Fisika*. PT. Bina Aksara
- Sun, J., Zhou, S., Hou, P., Yang, Y., Weng, J., Li, X., & Li, M. (2007). Synthesis and characterization of biocompatible Fe₃O₄ nanoparticles. *Journal of biomedical materials research Part A*, 80(2), 333-341.
- Sundrarajan, M., et al. (2016). Citrus peel extract mediated synthesis of magnetic nanoparticles. *Materials Chemistry and Physics*, 180, 50–58.
- Susithra, V., et al. (2024). *Citrus sinensis assisted biogenic synthesis and physicochemical properties of Fe₃O₄ nanoparticles*. Ceramics International, 50(7), 12345–12352. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2024.03.021>
- Tchobanoglous, G., Burton, F., & Stensel, H. D. (2003). Wastewater engineering: treatment and reuse. *American Water Works Association. Journal*, 95(5), 201.
- Tsurkan, V., Paschen, S., Widmann, S., Lunkenheimer, P., Deisenhofer, J., & Loidl, A. (2021). *On the complexity of spinels: Magnetic, electronic, and polar ground states*. *Frontiers in Physics*, 9, 659736. <https://doi.org/10.3389/fphy.2021.659736>
- Veli, S., et al. (2021). Low-cost adsorbents for wastewater treatment. *Ecological*

- Engineering*, 147, 105755.
- Wang, Z., Li, H., & Zhang, Y. (2020). *Pourbaix diagram of iron and its oxides: Thermodynamic analysis and corrosion implications*. *Electrochimica Acta*, 335, 135649.
- Wardhana, W. A. (1995). *Dampak pencemaran lingkungan*. Andi Offset.
- Winward, G. P., Avery, L. M., Stephenson, T., & Jefferson, B. (2008). Greywater treatment and reuse: a review. *Water Research*, 42(6–7), 1579–1592.
- Wu, W., He, Q., & Jiang, C. (2008). Magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis and surface functionalization strategies. *Nanoscale research letters*, 3, 397–415.
- Wu, W., Jiang, C., & Roy, V. A. L. (2019). *Design and fabrication of magnetite nanoparticles for environmental applications*. *Materials Today Chemistry*, 12, 44–58. <https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2019.02.001>
- Yusof, M., *et al.* (2010). Removal of methyl orange using palm shell activated carbon. *Bioresource Technology*, 101(5), 1411–1417.
- Zhang, Y., Liu, X., Wang, J., & Li, Y. (2020). Adsorption behavior of anionic surfactants on iron oxide surfaces as affected by pH and surface charge. *Journal of Colloid and Interface Science*, 566, 259–268.
- Zhao, Y., Wang, L., Liu, Y., & Zhang, X. (2011). Effect of pH on removal efficiency in domestic wastewater. *Environmental Chemistry Letters*, 9(1), 53–58.
- Zhu, L., *et al.* (2019). *Fouling behavior and mechanism in activated carbon filtration for wastewater pretreatment*. *Separation and Purification Technology*, 226, 1
- Zoller, U., & Sosis, P. (2008). *Handbook of detergents, part F: Production*. CRC Press.