

**SINTESIS NANOPARTIKEL MAGNETIT (Fe_3O_4)
TERMODIFIKASI EKSTRAK KULIT JERUK MANIS (*Citrus
sinensis*) DAN APLIKASINYA SEBAGAI ADSORBEN ZAT
WARNA METHYLENE BLUE DALAM SISTEM
MULTIKOMPONEN**

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



**Oleh:
Isyfi Asfiya
21106030053**

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2025**

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-440/Un.02/DST/PP.00.9/03/2025

Tugas Akhir dengan judul : Sintesis Nanopartikel Magnetit (Fe_3O_4) Termomodifikasi Ekstrak Kulit Jeruk Manis (*Citrus sinensis*) dan Aplikasinya Sebagai Adsorben Zat Warna Methylene Blue dalam Sistem Multikomponen

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : ISYFI ASFIYA
Nomor Induk Mahasiswa : 21106030053
Telah diujikan pada : Selasa, 04 Maret 2025
Nilai ujian Tugas Akhir : A

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

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

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

Valid ID: 67c7a930bc045



Penguji I

Dr. Imelda Fajriati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 67d2758287a24



Penguji II

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

Valid ID: 67c7da45265f9



Yogyakarta, 04 Maret 2025
UIN Sunan Kalijaga

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

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

Valid ID: 67d27c81ea59a

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Isyfi Asfiya
NIM : 21106030053
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“Sintesis Nanopartikel Magnetit (Fe_3O_4) Termodifikasi Ekstrak Kulit Jeruk Manis (*Citrus sinensis*) dan Aplikasinya Sebagai Adsorben Zat Warna *Methylene Blue* dalam Sistem Multikomponen”** merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan 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, 24 Februari 2025



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R1

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.

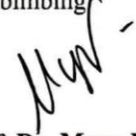
Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Isyfi Asfiya
NIM : 21106030053
Judul Skripsi : Sintesis Nanopartikel Magnetit (Fe_3O_4) Termodifikasi Ekstrak Kulit Jeruk Manis (*Citrus sinensis*) dan Aplikasinya Sebagai Adsorben Zat Warna *Methylene Blue* dalam Sistem Multikomponen

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

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

Yogyakarta, 25 Februari 2025
Pembimbing


Prof. Dr. Maya Rahmavanti, M.Si.
NIP. 198106272006042003

HALAMAN MOTTO

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

“Hidup bukan saling mendahului, bermimpilah sendiri-sendiri” (Baskara Putra –
Hindia)

“It will pass, everything you’ve gone through it will pass” (Rachel Vennya)



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, almh. ibu, dan kedua saudara tersayang yang selalu memberikan doa, motivasi, serta dukungan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.



KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Puji syukur kehadiran Allah SWT. yang senantiasa melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-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 seperti saat ini, semoga kita mendapat syafaatnya di yaumul qiyamah, *aamiin*. Alhamdulillah, penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Sintesis Nanopartikel Magnetit (Fe_3O_4) Termodifikasi Ekstrak Kulit Jeruk Manis (*Citrus sinensis*) dan Aplikasinya Sebagai Adsorben Zat Warna *Methylene Blue* dalam Sistem Multikomponen” 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 cobaan dan 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 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. Senantiasa meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, selalu memberikan arahan yang jelas, memberikan nasihat, memberi dukungan dan motivasi yang sangat berarti bagi penulis, dan memantau perkembangan selama 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 bangku perkuliahan.
6. Teristimewa penulis ucapkan terima kasih kepada kedua orang tua tercinta, yakni Bapak Agus Yasin Rohmat Fajar dan Almh. Ibu Mahmudah atas setiap tetes keringat dalam setiap langkah pengorbanan dan kerja keras yang dilakukan untuk memberikan yang terbaik kepada penulis, mengusahakan segala kebutuhan penulis, mendidik, membimbing, dan selalu memberikan kasih sayang yang tulus, motivasi, dukungan, serta mendoakan penulis dalam

keadaan apapun agar penulis mampu bertahan untuk melangkah sedikit demi sedikit dalam meraih mimpi di masa depan. Terima kasih sudah menjadi salah satu alasan terkuat penulis dalam menyelesaikan skripsi.

7. Kedua saudara tersayang, Muhammad Mufti Yasin dan Millatul Atqiyaa yang selalu memberikan hiburan, dukungan, doa, dan motivasi kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi.
8. Teman kost 24/7, Nurul Hikmah yang selalu ada dikondisi apapun, selalu menemani, menghibur, dan membantu penulis, serta selalu memberikan semangat kepada penulis.
9. Dewi Alifani, Nia Seftiana, dan Triani Afifatul yang juga selalu memberikan semangat, dukungan, dan hiburan kepada penulis.
10. Segenap teman-teman bocah prik (Maria, Nurul, Nia S, Dewi, Mei, Endah, Oyan, Rofiq, Ridwan, Rafdi) yang selalu memberi dukungan, doa, dan hiburan kepada penulis.
11. Katingku, mbak Dede dan mbak Addin yang selalu bersedia memberikan arahan kepada penulis dari awal penyusunan proposal, penelitian, hingga penyusunan skripsi, serta selalu memberikan semangat kepada penulis.
12. Teman-teman scandium, kimia 21 yang telah berjuang bersama-sama, terima kasih atas kenangan selama kuliahnya.
13. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan bantuan dalam bentuk apapun kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi.
14. Terakhir, terima kasih kepada wanita yang memiliki keinginan tinggi namun terkadang sulit dimengerti isi kepalanya, sang penulis, diriku sendiri Isyfi Asfiya. Terima kasih telah berusaha keras untuk meyakinkan dan menguatkan dirimu sendiri bahwa kamu dapat menyelesaikan studi ini sampai selesai walaupun dalam penyelesaian studi ini banyak ujian didalamnya. Berbahagialah dimanapun kamu berada, Isyfi. Rayakan selalu kehadiranmu, jadilah bersinar dimanapun kamu memijakkan kaki. Usaha dan doa yang selalu kamu langitkan, Allah sudah memberikan pilihan yang terbaik untukmu. Semoga Allah selalu meridhoi setiap langkahmu dan selalu dalam lindungan-Nya. *Aamiin*.

Besar harapan, dengan disusunnya skripsi ini semoga dapat memberikan manfaat dan menambah wawasan bagi banyak orang. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini dan masih jauh dari kata sempurna. Semoga Allah SWT. senantiasa memberikan kemudahan kepada kita semua, *Aamiin...*

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Penulis,

Isyfi Asfiya

DAFTAR ISI

HALAMAN COVER	
HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	ii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
ABSTRAK	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Batasan Masalah	6
C. Rumusan Masalah	7
D. Tujuan Penelitian	8
E. Manfaat Penelitian	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	10
A. Tinjauan Pustaka	10
B. Landasan Teori	15
1. Zat warna <i>Methylene Blue</i>	15
2. Nanopartikel Magnetik	16
3. Jeruk Manis (<i>Citrus sinensis</i>)	16
4. Ekstraksi	17
5. Kopresipitasi	18
6. Diagram Pourbaix Fe	19
7. Adsorpsi	20
8. Spektrofotometer <i>Ultraviolet-Visible</i> (UV-Vis)	24
9. Spektrofotometer <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR)	25
10. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	26
11. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) – <i>Energy Dispersive X-Ray</i> (EDX)	26
C. Kerangka Berfikir dan Hipotesis Penelitian	27
BAB III METODE PENELITIAN	33
A. Waktu dan Tempat Penelitian	33

B. Alat-alat Penelitian.....	33
C. Bahan-bahan Penelitian.....	33
D. Prosedur Kerja Penelitian.....	34
E. Teknik Analisis Data.....	38
BAB IV PEMBAHASAN.....	40
A. Sintesis MNPs-CS dari Ekstrak Kulit Jeruk Manis (<i>Citrus sinensis</i>)	40
B. Karakterisasi Kristal MNPs-CS	43
C. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum dan Penentuan Kurva Standar <i>Methylene Blue</i>	50
D. Pengaruh pH Larutan <i>Methylene Blue</i> terhadap Adsorpsi <i>Methylene Blue</i> pada MNPs-CS	51
E. Kinetika Adsorpsi MNPs-CS terhadap Zat Warna <i>Methylene Blue</i> dalam Sistem Tunggal.....	56
F. Isoterm Adsorpsi MNPs-CS terhadap Zat Warna <i>Methylene Blue</i> dalam Sistem Tunggal dan Sistem Multikomponen	60
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	68
A. Kesimpulan	68
B. Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA.....	70
LAMPIRAN.....	77
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	90

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Struktur <i>methylene blue</i>	16
Gambar 2. 2. Jeruk.....	17
Gambar 2. 3. Diagram Pourbaix Fe (El-Kharrag et al., 2012)	19
Gambar 4. 1. (a) Ilustrasi interaksi yang terjadi pada proses sintesis (b) Skema sintesis MNPs-CS	42
Gambar 4. 2. MNPs-CS yang ditarik dengan medan magnet eksternal	42
Gambar 4. 3. Spektrum FTIR ekstrak kulit jeruk manis dan MNPs-CS sebelum dan setelah adsorpsi	44
Gambar 4. 4. Difraktogram XRD MNPs-CS.....	45
Gambar 4. 5. Mikrograf SEM MNPs-CS	47
Gambar 4. 6. Analisis EDX pada MNPs-CS	48
Gambar 4. 7. Panjang gelombang maksimum <i>methylene blue</i>	51
Gambar 4. 8. Kurva standar <i>methylene blue</i>	51
Gambar 4. 9. Grafik pengaruh pH terhadap konsentrasi <i>methylene blue</i> yang teradsorpsi oleh MNPs-CS	53
Gambar 4. 10. (a) Penolakan ikatan elektrostatik, (b) Ikatan π - π , (c) Ikatan elektrostatik, (d) Ikatan hidrogen MNPs-CS dengan <i>methylene blue</i>	55
Gambar 4. 11. Grafik pengaruh waktu reaksi terhadap konsentrasi <i>methylene blue</i> yang teradsorpsi oleh MNPs-CS	56
Gambar 4. 12. (a) Kinetika adsorpsi model PFO Lagergen (b) Model PSO Ho .	57
Gambar 4. 13. Grafik pengaruh konsentrasi awal terhadap konsentrasi <i>methylene blue</i> dalam sistem tunggal yang diadsorpsi oleh MNPs-CS	60
Gambar 4. 14. Ilustrasi proses adsorpsi (a) <i>monolayer</i> , dan (b) <i>multilayer</i>	61
Gambar 4. 15. Diagram isoterm adsorpsi sistem tunggal (a) Model isoterm Langmuir, (b) Model isoterm Freundlich.....	62
Gambar 4. 16. Grafik pengaruh konsentrasi awal terhadap konsentrasi <i>methylene blue</i> dalam sistem multikomponen yang diadsorpsi oleh MNPs-CS	65
Gambar 4. 17. Diagram isoterm adsorpsi sistem multikomponen (a) Model isoterm Langmuir, (b) Model isoterm Freundlich.....	66

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1. Perbandingan karakterisasi kristal MNPs-CS dengan MNPs lainnya	49
Tabel 4. 2. Perbandingan perolehan pH optimum adsorpsi pada berbagai jenis zat warna dengan adsorben yang berbeda.....	54
Tabel 4. 3. Perhitungan dan perbandingan hasil kinetika adsorpsi model PFO Lagergen dan PSO Ho.....	59
Tabel 4. 4. Perhitungan dan perbandingan hasil isoterm adsorpsi <i>methylene blue</i> dalam sistem tunggal dengan model Langmuir dan Freundlich	63
Tabel 4. 5. Perhitungan isoterm adsorpsi <i>methylene blue</i> dalam sistem multikomponen dengan model Langmuir dan Freundlich	66



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan ukuran kristal MNPs-CS dengan persamaan Debye-Scherrer	77
Lampiran 2. Data larutan standar zat warna <i>methylene blue</i>	78
Lampiran 3. Data perhitungan pengaruh pH adsorpsi <i>methylene blue</i> oleh MNPs-CS	79
Lampiran 4. Data perhitungan pengaruh waktu adsorpsi <i>methylene blue</i> oleh MNPs-CS	80
Lampiran 5. Data isoterm adsorpsi zat warna <i>methylene blue</i> dalam sistem tunggal.....	83
Lampiran 6. Data isoterm adsorpsi zat warna <i>methylene blue</i> dalam sistem multikomponen	86
Lampiran 7. Dokumentasi penelitian	89

ABSTRAK
SINTESIS NANOPARTIKEL MAGNETIT (Fe_3O_4) TERMODIFIKASI
EKSTRAK KULIT JERUK MANIS (*Citrus sinensis*) DAN APLIKASINYA
SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA METHYLENE BLUE DALAM
SISTEM MULTIKOMPONEN

Oleh:

Isyfi Asfiya
21106030053

Pembimbing:

Prof. Dr. Maya Rahmayanti, M.Si.

Methylene blue adalah pewarna yang banyak digunakan dalam industri batik, hal ini berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan mengingat kandungan sisa *methylene blue* dalam limbah cair sulit terurai secara alami. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis nanopartikel magnetit yang dimodifikasi menggunakan ekstrak kulit jeruk manis (MNPs-CS) dari limbah rumah tangga dan penerapannya sebagai adsorben zat warna *methylene blue* dalam sistem multikomponen. Sintesis MNPs-CS dilakukan dengan metode kopresipitasi terbalik dengan pelarut air pada suhu 60°C . MNPs-CS dikarakterisasi menggunakan FTIR, XRD, dan SEM-EDX. Dalam penelitian ini, adsorpsi *methylene blue* oleh MNPs-CS dipelajari pada berbagai variasi pH, waktu reaksi, dan konsentrasi untuk menentukan model kinetika, isoterm adsorpsi, dan interaksi yang terjadi antara *methylene blue* pada MNPs-CS. Spektrum FTIR dan difraktogram XRD menunjukkan bahwa magnetit yang terbentuk dalam keadaan murni tidak bercampur dengan oksida besi lainnya. Gambar SEM menunjukkan morfologi yang tidak teratur dengan permukaan yang kasar. Spektrum EDX menunjukkan bahwa nanopartikel magnetit pada penelitian ini berhasil terlapisi oleh ekstrak kulit jeruk manis. Ukuran kristal dan partikel MNPs-CS adalah 7,09 nm dan 1-14,79 μm . Adsorpsi *methylene blue* pada MNPs-CS optimum terjadi pada pH 10 dan waktu 30 menit, serta mengikuti model kinetika pseudo orde dua H_0 . Adapun model isoterm yang cocok untuk adsorpsi *methylene blue* dalam sistem tunggal dan sistem multikomponen adalah model isoterm Freundlich. *Methylene blue* dan MNPs-CS diduga berinteraksi melalui interaksi π - π , interaksi elektrostatik, dan ikatan hidrogen.

Kata Kunci: nanopartikel magnetit; adsorpsi; *methylene blue*

ABSTRACT
SYNTHESIS OF MAGNETITE NANOPARTICLES (Fe_3O_4) MODIFIED
WITH SWEET ORANGE PEEL EXTRACT (*Citrus sinensis*) AND IT
APPLICATION AS ADSORBENT FOR METHYLENE BLUE DYE IN
MULTICOMPONENT SYSTEMS

By:
Isyfi Asfiya
21106030053

Adviser:
Prof. Dr. Maya Rahmayanti, M.Si.

Methylene blue is a dye that is widely used in the batik industry, this has the potential to cause environmental problems considering the residual methylene blue content in liquid waste is difficult to decompose naturally. This study aims to synthesize modified magnetite nanoparticles using sweet orange peel extract (MNPs-CS) from household waste and its application as an adsorbent of methylene blue dye in a multicomponent system. The synthesis of MNPs-CS was carried out by the reverse coprecipitation method with water solvent at a temperature of 60°C. MNPs-CS were characterized using FTIR, XRD, and SEM-EDX. In this study, the adsorption of methylene blue by MNPs-CS was studied at various pH, reaction time, and concentration to determine the kinetic model, adsorption isotherm, and interactions that occur between methylene blue on MNPs-CS. FTIR spectrum and XRD diffractogram showed that the magnetite formed in a pure state was not mixed with other iron oxides. SEM images showed irregular morphology with a rough surface. EDX spectrum showed that the magnetite nanoparticles in this study were successfully coated by sweet orange peel extract. The crystal and particle sizes of MNPs-CS was 7,09 nm and 1-14,79 μm . The optimum adsorption of methylene blue on MNPs-CS occurred at pH 10 and a time of 30 minutes, and followed the pseudo second-order H_0 kinetic model. The isotherm model that is suitable for the adsorption of methylene blue in single and multicomponent systems is the Freundlich isotherm model. Methylene blue and MNPs-CS are thought to interact through π - π interactions, electrostatic interactions, and hydrogen bonds.

Keywords: *magnetite nanoparticles; adsorption; methylene blue*

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Industri tekstil merupakan salah satu sektor industri terbesar di Indonesia. Berkembangnya industri tekstil di Indonesia menghasilkan produk tekstil semakin meningkat. Hal ini tentu akan meningkatkan jumlah limbah yang dihasilkan pada setiap prosesnya. Salah satu proses dalam industri tekstil batik yaitu proses *dyeing* (pewarnaan) (Martina et al., 2018). Sebagian besar dalam proses pewarnaan hanya 45% pewarna yang menempel pada kain, sedangkan sisanya terbuang pada proses pencucian (Rahmayanti et al., 2023). Kemajuan pesat dalam industri tekstil ini juga diiringi dengan masalah lingkungan yang signifikan, terutama terkait penggunaan pewarna sintetik karena menghasilkan limbah yang sulit terdegradasi secara alami serta bersifat karsinogenik yang dapat membahayakan kesehatan manusia (Syakina & Rahmayanti, 2023). Salah satu pewarna sintetik yang paling umum digunakan dalam industri tekstil batik adalah *methylene blue* (Rahmayanti et al., 2023).

Pewarna *methylene blue* (3,7-bis (dimetil amino) fenotiazin klorida tetra metiltionin klorida) merupakan senyawa kimia aromatik heterosiklik azo dengan struktur planar yang merupakan jenis pewarna kationik (Oladoye et al., 2022). Pewarna ini banyak digunakan dalam industri batik karena keunggulannya yang tidak mudah mengalami oksidasi, bersifat stabil, tahan lama, dan tidak terpengaruh oleh cahaya serta tahan terhadap proses penguraian aerobik (Riwayati et al., 2019). Limbah cair yang mengandung pewarna dari proses pencucian berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan karena pewarna sintetik bersifat non-

biodegradable, beracun, dan sangat mudah larut dalam air (Rahmayanti et al., 2022).

Pencemaran badan air oleh limbah pewarna tekstil menjadi isu lingkungan yang mendesak, terutama di negara-negara berkembang dimana sejumlah besar air limbah dibuang ke lingkungan tanpa pengelolaan yang efektif dan efisien (Oladoye et al., 2022). Oleh karena itu, diperlukan penanganan khusus untuk mengurangi dampak negatif dari limbah pewarna sintetik dalam industri tekstil. Berbagai penelitian mengenai metode pengolahan limbah zat warna telah banyak diupayakan. Beberapa metode pengolahan limbah pewarna secara konvensional seperti koagulasi, flokulasi, dan filtrasi dengan membran relatif mahal untuk dilakukan dan malah menimbulkan polutan sekunder seperti lumpur (N. S. Ali et al., 2024). Saat ini sedang banyak dikembangkan teknik pengolahan air limbah pada industri batik diantaranya fotokatalis, elektrolisis, nanofiltrasi, ultrafiltrasi, dan adsorpsi (Rahmayanti et al., 2020). Metode fotokatalis dan elektrolisis dianggap kurang efektif karena memerlukan biaya yang tinggi dan sulit untuk diterapkan, sedangkan nanofiltrasi dapat menimbulkan permasalahan baru karena zat warna yang teradsorpsi akan terakumulasi pada permukaan adsorben (Murniati et al., 2015; Debnath et al., 2015). Metode adsorpsi dilaporkan cukup efektif dalam menghilangkan zat warna dari limbah cair. Keuntungan dari metode adsorpsi adalah ekonomis dan mudah untuk dilakukan. Selain itu, pengolahan limbah zat warna dengan metode adsorpsi terbukti mampu menurunkan kadar zat warna dalam limbah cair secara efektif, dimana zat warna akan menempel pada permukaan adsorben yang digunakan (Rahmayanti et al., 2020).

Adsorpsi merupakan pilihan menarik yang telah banyak diteliti dan diterapkan untuk menghilangkan zat warna dari air limbah industri, Adsorpsi dipilih karena merupakan metode yang relatif sederhana dan dapat menggunakan adsorben bahan alam dari biomasa (Purwitasari et al., 2022). Proses ini menggunakan berbagai adsorben dan memiliki desain yang sederhana. Salah satu adsorben yang sedang banyak dikembangkan untuk adsorpsi limbah zat warna adalah nanopartikel magnetik Fe_3O_4 . Nanopartikel magnetik menawarkan potensi besar sebagai bahan adsorben yang efektif untuk menyerap pewarna batik dari air limbah. Nanopartikel magnetik Fe_3O_4 memiliki sifat superparamagnetik, keuntungannya yaitu proses adsorpsi dapat dilakukan dengan mudah dan cepat karena tidak memerlukan kertas saring saat proses pemisahan adsorben dengan filtrat, melainkan hanya menggunakan medan magnet eksternal (Rahmayanti et al., 2022). Selain itu, nanopartikel magnetik Fe_3O_4 juga menunjukkan sifat toksisitas yang rendah, biokompabilitas yang tinggi, dan sifat magnetik yang kuat sehingga sangat cocok digunakan untuk adsorpsi limbah pewarna (Golthi & Kommu, 2023).

Nanopartikel merupakan jenis material partikel dengan ukuran sekitar 1-100 nm. Tujuan utama dalam pembuatan partikel berukuran nano adalah untuk meningkatkan ketahanan senyawa aktif terhadap degradasi lingkungan seperti oksidasi, hidrolisis, dan penguraian enzimatis (Ilhami, 2016). Ukuran nanopartikel magnetik berskala nano cenderung untuk mengalami aglomerasi ketika sintesis. Peristiwa aglomerasi pada nanopartikel dapat mengurangi luas permukaan yang mengakibatkan hilangnya sifat magnet dan dispersi kimia. Aglomerasi dapat dicegah dengan memodifikasi nanopartikel magnetik dengan menggunakan zat

penstabil. Bahan alam dapat digunakan sebagai salah satu zat penstabil untuk meningkatkan dispersi kimia sehingga mencegah terjadinya aglomerasi pada nanopartikel (Syakina & Rahmayanti, 2023; Santos et al., 2016).

Nanopartikel Fe_3O_4 telah banyak disintesis menggunakan berbagai metode, seperti foto iradiasi, hidrotermal, sonokimia, sol gel, elektrokimia, dan kopresipitasi (Abbas et al., 2023; Ahmad et al., 2024; Hu et al., 2018; Sohoully et al., 2020; Rahmayanti et al., 2022). Metode kopresipitasi dianggap sebagai metode yang paling sederhana, ekonomis dan paling efisien. Kesederhanaan metode ini menjadi salah satu teknik yang lebih disukai untuk membuat partikel nano (Maylani et al., 2016). Selain itu, keunggulan lain dari metode kopresipitasi adalah menggunakan suhu ruang dan membutuhkan waktu sintesis yang relatif singkat (Hefdea & Rohmawati, 2020).

Penelitian terbaru telah menunjukkan bahwa nanopartikel magnetik yang disintesis dari ekstrak limbah tumbuhan memiliki potensi besar sebagai adsorben zat warna sintetik. Hal ini dikarenakan ekstrak tumbuhan banyak mengandung senyawa aktif seperti fenolik, tanin, terpenoid, dan alkaloid yang dapat berperan sebagai agen pereduksi, penstabil dalam sintesis nanopartikel, dan agen pembatas selama sintesis nanopartikel dari larutan prekursornya masing-masing sehingga mengurangi ketergantungan pada bahan kimia sintetik dan meminimalkan dampak lingkungan yang merugikan (Bhardwaj & Singh, 2023). Salah satu ekstrak tumbuhan yang dapat digunakan untuk sintesis nanopartikel adalah kulit jeruk manis, salah satunya yaitu dalam sintesis nanopartikel ZnO (Yashni et al., 2021).

Jeruk manis (*Citrus sinensis*) merupakan buah yang paling umum ditanam didunia dengan iklim tropis ataupun subtropic, dan merupakan salah satu komoditas buah-buahan yang memiliki peranan sangat penting dipasaran baik didalam negeri maupun dunia (Dari et al., 2020). Buah jeruk juga merupakan salah satu buah yang paling banyak digemari oleh penduduk Indonesia. Bagian dari jeruk yang dikonsumsi adalah daging buahnya saja, sedangkan kulit buah jeruk hanya dibuang dan tidak dimanfaatkan (Octaviani et al., 2023). Tingginya konsumsi buah jeruk menyebabkan banyaknya limbah kulit jeruk yang dihasilkan. Limbah kulit dari jeruk secara umum berkontribusi sebesar 40 – 50% dari total bobot buah jeruk (Muflih et al., 2023). Kulit buah jeruk manis mengandung beberapa metabolit sekunder yaitu alkaloid, flavonoid, tanin, fenol, saponin dan steroid (Octaviani et al., 2023). Dari et al., (2020) juga menyatakan bahwa kulit jeruk mengandung flavonoid, alkaloid, tanin, glikosida, steroid, karbohidrat, pektin, senyawa fenolik, kumarin, saponin, dan terpenoid (Dari et al., 2020). Ekstrak kulit jeruk mengandung senyawa fenolik sebesar $2656,48 \pm 55,46$ mg GAE/100g (Dewi, 2019).

Keuntungan menggunakan ekstrak tumbuhan adalah tidak memerlukan zat pereduksi. Senyawa aktif ekstrak tumbuhan dapat berperan sebagai agen pereduksi dan *capping agent* untuk menghasilkan nanopartikel berukuran kecil. Selain itu, senyawa organik dapat melapisi permukaan magnetik sehingga dapat mencegah terjadinya aglomerasi (Rahmayanti et al., 2023). Senyawa-senyawa tersebut mempunyai sifat hidrofobik dan efek hambatan sterik pada permukaan logam sehingga menyebabkan eksklusi sterik yang dapat mengontrol pertumbuhan partikel dan mencegah terjadinya aglomerasi selama proses sintesis. Kandungan

gugus –OH pada senyawa fenolik dapat berperan sebagai zat pereduksi yang menjaga keseimbangan komposisi Fe^{3+} dan Fe^{2+} dalam larutan sehingga menghasilkan magnetit (Fe_3O_4) dengan kemurnian lebih tinggi (Rahmayanti, Syakina, et al., 2022).

Pada penelitian ini, nanopartikel magnetik disintesis dengan metode kopresipitasi terbalik yang dimodifikasi ekstrak kulit jeruk manis (*Citrus sinensis*) yang disebut MNPs-CS, kemudian diaplikasikan sebagai adsorben untuk menghilangkan zat warna *methylene blue* dalam sistem multikomponen. Adsorpsi zat warna dalam sistem multikomponen penting dikaji karena pada dasarnya limbah cair yang dihasilkan oleh industri batik tidak hanya mengandung satu zat warna saja (Wijayanti, 2016), sehingga perlu dipelajari bagaimana kemampuan MNPs-CS dalam mengadsorpsi limbah simulasi yang mengandung lebih dari satu jenis zat warna. Penelitian ini mempelajari karakterisasi nanopartikel magnetik menggunakan ekstrak kulit jeruk manis (MNPs-CS) serta dipelajari pengaruh pH dan waktu adsorpsi *methylene blue* terhadap MNPs-CS. Selain itu, kinetika adsorpsi dan isoterm adsorpsi *methylene blue* pada MNPs-CS juga dipelajari.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Limbah kulit jeruk yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari limbah rumah tangga.
2. Ekstrak kulit jeruk manis (*Citrus sinensis*) yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh melalui metode ekstraksi menggunakan pelarut air.

3. Metode yang digunakan dalam sintesis MNPs-CS pada penelitian ini adalah metode kopresipitasi terbalik.
4. Zat warna yang digunakan dalam penelitian ini adalah *methylene blue* dan *congo red*.
5. Karakterisasi nanopartikel magnetik MNPs-CS dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer *fourier transform infrared spectroscopy* (FTIR), *x-ray diffractometry* (XRD), dan *scanning electron microscopy-energy dispersive x-ray* (SEM-EDX).
6. Studi mengenai pH optimum adsorpsi zat warna *methylene blue* pada nanopartikel magnetik dari kulit jeruk manis (*Citrus sinensis*) dipelajari pada pH 2, 4, 6, 8, 10, 12, dan 14.
7. Studi mengenai waktu optimum dengan model kinetika adsorpsi orde satu semu (PFO) Lagergen dan orde dua semu (PSO) Ho dilakukan pada variasi waktu reaksi 1, 5, 15, 30, 60, 90, 120, dan 150 menit.
8. Studi isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich dilakukan pada variasi konsentrasi *methylene blue* 3, 6, 9, 12, dan 15 mg/L.

C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana proses sintesis nanopartikel magnetit termodifikasi ekstrak kulit jeruk manis dengan metode kopresipitasi terbalik?
2. Bagaimana karakteristik serapan gugus fungsi, ukuran kristal, dan morfologi MNPs-CS berdasarkan spektrofotometer FTIR, XRD, dan SEM-EDX?

3. Bagaimana kondisi pH optimum adsorpsi zat warna *methylene blue* oleh MNPs-CS?
4. Bagaimana kondisi waktu optimum dan kinetika adsorpsi zat warna *methylene blue* oleh MNPs-CS dalam sistem tunggal?
5. Bagaimana model isoterm adsorpsi zat warna *methylene blue* oleh MNPs-CS dalam sistem tunggal dan sistem multikomponen?

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mensintesis nanopartikel magnetit termodifikasi ekstrak kulit jeruk dengan metode kopresipitasi terbalik.
2. Mengkarakterisasi gugus fungsi, kristalinitas, dan morfologi MNPs-CS berdasarkan instrumen spektrofotometer FTIR, XRD, dan SEM-EDX.
3. Menganalisis pH optimum dan pengaruh lingkungan elektronik terhadap interaksi adsorpsi zat warna *methylene blue* dengan MNPs-CS.
4. Menganalisis konstanta laju reaksi adsorpsi zat warna *methylene blue* menggunakan MNPs-CS dalam sistem tunggal melalui kinetika adsorpsi.
5. Menganalisis kesetimbangan adsorpsi zat warna *methylene blue* menggunakan MNPs-CS dalam sistem tunggal dan sistem multikomponen untuk memperoleh kapasitas adsorpsi dan energi adsorpsi melalui isoterm adsorpsi.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi kepada pembaca mengenai magnetik nanopartikel dari kulit jeruk sebagai alternatif adsorben ramah lingkungan yang dapat membantu mengurangi pencemaran air oleh zat warna sintetik.
2. Meningkatkan pemanfaatan kulit jeruk dari limbah rumah tangga sebagai adsorben untuk zat warna *methylene blue*.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Sintesis MNPs-CS dengan metode kopresipitasi terbalik berhasil dilakukan, menunjukkan sifat magnet yang dapat ditarik dengan medan magnet eksternal.
2. Karakterisasi gugus fungsi MNPs-CS menggunakan spektrofotometer FTIR menunjukkan puncak serapan khas magnetit dan senyawa ekstrak kulit jeruk manis pada bilangan gelombang 434,24; 550,95; 1075,71; 1340,42; 1591,48; dan 3225,97 cm^{-1} . Karakterisasi ukuran partikel MNPs-CS menggunakan XRD menunjukkan bidang indeks Fe_3O_4 yang sesuai dengan data JCPDS No. 19-0629, dengan rata-rata ukuran kristal MNPs-CS sebesar 7,09 nm. Karakterisasi morfologi dan komposisi unsur dalam MNPs-CS menggunakan SEM-EDX menunjukkan bahwa MNPs-CS memiliki permukaan yang kasar dengan ukuran partikel yang tidak seragam yaitu 1-14,79 μm . Analisis EDX menunjukkan bahwa komponen MNPs-CS terdiri dari unsur karbon (C) sebesar 23,91% (%atom), unsur Fe sebesar 15,57% (%atom), dan oksigen (O) sebesar 59,28% (%atom). Unsur-unsur tersebut berasal dari Fe_3O_4 dan senyawa dalam ekstrak kulit jeruk manis.
3. Pengaruh pH zat warna *methylene blue* pada MNPs-CS menunjukkan hasil pengaruh lingkungan elektrokimia terhadap interaksi adsorpsi pada pH 10 dengan persen teradsorpsi sebesar 93,58%.
4. Studi kinetika adsorpsi *methylene blue* dalam sistem tunggal oleh MNPs-CS berdasarkan variasi waktu reaksi mengikuti model kinetika adsorpsi orde dua

semu (PSO) H_0 dengan konstanta laju reaksi sebesar $0,0016 \text{ menit}^{-1}$, menggambarkan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kesetimbangan adsorpsi.

5. Studi isoterm adsorpsi *methylene blue* oleh MNPs-CS berdasarkan variasi konsentrasi tunggal dan sistem multikomponen mengikuti model isoterm Freundlich dengan kapasitas adsorpsi masing-masing sebesar $0,3656 \text{ mol/g}$ dan $0,683 \text{ mol/g}$.

B. Saran

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

1. Melakukan variasi massa adsorben terhadap adsorpsi zat warna *methylene blue* untuk mengetahui pengaruh massa adsorben terhadap proses adsorpsi, sehingga diperoleh massa adsorben yang optimum.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, R. F., Hassan, M. J. M., & Rheima, A. M. (2023). Magnetic solid-phase extraction of Fast Green dye based on magnetic nanoparticles (GO/Co₃O₄/Fe₃O₄) prepared by photo-irradiation method. *Green Analytical Chemistry*, 7, 100086. <https://doi.org/10.1016/j.greeac.2023.100086>
- Ahmad, N., Wijaya, A., Arsyad, F. S., Royani, I., & Lesbani, A. (2024). Layered double hydroxide-functionalized humic acid and magnetite by hydrothermal synthesis for optimized adsorption of malachite green. *Kuwait Journal of Science*, 51(2), 100206. <https://doi.org/10.1016/j.kjs.2024.100206>
- Ali, A., Tufali, S., Rehmat, U., Pingfan, Z., Manlin, G., Muhammad, O., Zhiqiang, T., & Yukui, R. (2021). Magnetic nanoparticles; synthesis, characterization, and diverse applications. *Frontiers in Chemistry*.
- Ali, N. S., Khader, E. H., Khudhur, R. H., Abdulrahman, M. A., Salih, I. K., & Albayati, T. M. (2024). Removal of anionic azo dye from wastewater using Fe₃O₄ magnetic nanoparticles adsorbents in a batch system. *Desalination and Water Treatment*, 317, 100033. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100033>
- Alizadeh, N., Shariati, S., & Besharati, N. (2017). Adsorption of Crystal Violet and Methylene Blue on Azolla and Fig Leaves Modified with Magnetite Iron Oxide Nanoparticles. *International Journal of Environmental Research*, 11(2), 197–206. <https://doi.org/10.1007/s41742-017-0019-1>
- Altaf, S., Zafar, R., Zaman, W. Q., Ahmad, S., Yaqoob, K., Syed, A., Khan, A. J., Bilal, M., & Arshad, M. (2021). Removal of levofloxacin from aqueous solution by green synthesized magnetite (Fe₃O₄) nanoparticles using Moringa olifera: Kinetics and reaction mechanism analysis. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 226. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112826>
- Atkins, P. W. (1999). *Kimia Fisika* (edisi 4). Jakarta: Erlangga.
- Ayawei, N., Ebelegi, A. N., & Wankasi, D. (2017). Modelling and Interpretation of Adsorption Isotherms. *Journal of Chemistry*, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2017/3039817>
- Bhardwaj, K., & Singh, A. K. (2023). Bio-waste and natural resource mediated eco-friendly synthesis of zinc oxide nanoparticles and their photocatalytic application against dyes contaminated water. *Chemical Engineering Journal Advances*, 16, 100536. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.100536>
- Bonardo, D., & Siburian, R. (2020). Analisis Struktur Nanopartikel Silika dari Abu Ampas Tebu menggunakan Metode XRD. *EINSTEIN*, 13–20.
- Callister, W. D. (2007). *Materials Science and Engineering*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1007/BF01184995>
- Cornell, R. M., & Schwertmann, U. (2003). *The Iron Oxides: Structure, Properties, Reactions, Occurrences and Uses*. Weinheim and New York. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/3527602097.ch7>
- Dari, A. W., Narsa, A. C., & Zamruddin, N. M. (2020). Literature Review: Aktivitas Kulit Jeruk dalam Bidang Farmasi. *Proceeding of Mulawarman Pharmaceuticals Conferences*, 12, 125–151. <https://doi.org/10.25026/mpc.v12i1.417>
- Debnath, S., Ballav, N., Nyoni, H., Maity, A., & Pillay, K. (2015). Optimization

- and mechanism elucidation of the catalytic photo-degradation of the dyes Eosin Yellow (EY) and Naphthol blue black (NBB) by a polyaniline-coated titanium dioxide nanocomposite. *Applied Catalysis B: Environmental*, 163, 330–342. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2014.08.011>
- Depkes, R. (2000). *Parameter Standar Umum Ekstrak Tumbuhan Obat* (1st ed.). Jakarta: Direktorat Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan.
- Desi, R., Wijaya, M., & Pratiwi, D. E. (2021). Effect Of NaOH Concentration In Synthesis Of Nanosilica by Corn Cob With Coprecipitation Method. *Jurnal Chemica*, 22(2), 56–63.
- Dewi, A. D. R. (2019). Aktivitas Antioksidan dan Antibakteri Ekstrak Kulit Jeruk Manis (*Citrus sinensis*) dan Aplikasinya Sebagai Pengawet Pangan. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, 30(1), 83–90. <https://doi.org/10.6066/jtip.2019.30.1.83>
- Dief, A. M. A., & Fatah, S. M. A. (2017). Development and functionalization of magnetic nanoparticles as powerful and green catalysts for organic synthesis. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(1). <https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2017.05.008>
- El-Kharrag, R., Amin, A., & Greish, Y. E. (2012). Low temperature synthesis of monolithic mesoporous magnetite nanoparticles. *Ceramics International*, 38(1), 627–634. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2011.07.052>
- Fadlelmoula, A., Pinho, D., Carvalho, V. H., Catarino, S. O., & Minas, G. (2022). Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy to Analyse Human Blood over the Last 20 Years: A Review towards Lab-on-a-Chip Devices. *Micromachines*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/mi13020187>
- Golthi, V., & Kommu, J. (2023). An eco-friendly and sustainable method for producing Fe₃O₄ nanoparticles using *Jatropha podagrica* leaf extract for efficient dye degradation and antibacterial uses. *Hybrid Advances*, 4, 100110. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2023.100110>
- Handayani, M., & Sulistiyono, E. (2009). Uji Persamaan Langmuir Dan Freundlich Pada Penyerapan Limbah Chrom (VI) Oleh Zeolit. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Nuklir*, 130–136.
- Hartati, J. (2019). *Analisis Struktur Kristal dan Sifat Kelistrikan Bahan La_{0.7}(Ba_{1-x}Sr_x)_{0.3}MnO₃ dengan Metode Sol-Gel*. UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Hefdea, A., & Rohmawati, L. (2020). Sintesis Fe₃O₄ dari Pasir Mineral Tulungagung Menggunakan Metode Kopresipitasi. *Inovasi Fisika Indonesia*, 9(2), 1–4. <https://doi.org/10.26740/ifi.v9n2.p1-4>
- Hu, P., Chang, T., Chen, W. J., Deng, J., Li, S. L., Zuo, Y. G., Kang, L., Yang, F., Hostetter, M., & Volinsky, A. A. (2018). Temperature Effects on Magnetic Properties of Fe₃O₄ Nanoparticles Synthesized by the Sol-gel Explosion-Assisted Method. *Journal of Alloys and Compounds*, 773, 605–611. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.09.238>
- Ilhami, F. B. (2016). Efektifitas Nanopartikel Magnetik (MnFe₂O₄) Berlapis HSA Tertarget Reseptor Folat Terhadap Sel Kanker. *Jurnal Biosains Pascasarjana*, 18(2), 140–152. <https://doi.org/10.20473/jbp.v18i2.2016.140-149>
- Indah, D. R. (2020). Adsorpsi Logam Tembaga (Cu) pada Karbon Baggase Teraktivasi Natrium Hidroksida (NaOH). *Jurnal Ilmiah IKIP Mataram*, 7(1),

20–28.

- Irawan, A. (2019). Kalibrasi Spektrofotometer Sebagai Penjaminan Mutu Hasil Pengukuran dalam Kegiatan Penelitian dan Pengujian. *Indonesian Journal of Laboratory*, 1(2). <https://doi.org/10.22146/ijl.v1i2.44750>
- Ismadji, S., Felycia, E. S., Shella, P. ., Jindrayani, N. ., Maria, Y., Wenny, I., Sandy, B. ., & Valentino, B. L. (2021). Adsorpsi Pada Fase Cair: Kesetimbangan, Kinetika, dan Termodinamika. In *Seri Buku Teknik Kimia (Seri Buku)*. Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya.
- Jaggi, N., & Vij, D. (2006). *Handbook of Applied Solid State Spectroscopy*. Springer. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/0-387-37590-2>
- Jayanti, D. N. (2014). Optimalisasi Parameter pH pada Sintesis Nanosilika dari Pasir Besi Merapi dengan Ekstraksi Magnet Permanen Menggunakan Metode Kopresipitasi. *SKRIPSI. Jurusan Fisika, Fakultas Sains Dan Teknologi, UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta*.
- Keller, R. R., & Geiss, R. H. (2011). Transmission EBSD from 10 nm domains in a scanning electron microscope. *Journal of Microscopy*, 245(3), 245–251. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2818.2011.03566.x>
- 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(243). <https://doi.org/10.3390/nano7090243>
- Kurniawan, T. W., Panjaitan, S. D., & Sitorus, B. (2016). Pemodelan Kinetika dan Isotherm Adsorpsi Ion Logam Merkuri Menggunakan Karbon Aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit. *ORBITAL*, 1(2), 59–79. <http://jurnal.untan.ac.id/index.php/jp>
- Kustomo. (2020). Uji karakterisasi dan mapping magnetit nanopartikel terlapisi asam humat dengan Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX). *Indonesian Journal of Chemical Science*, 9(3), 149–153.
- 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. <https://doi.org/10.1021/cr068445e>
- Luo, H., Zhang, S., Li, X., Liu, X., Xu, Q., Liu, J., & Wang, Z. (2017). Tannic acid modified Fe₃O₄ core-shell nanoparticles for adsorption of Pb²⁺ and Hg²⁺. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 72, 163–170. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2017.01.026>
- Makhwedzha, D. R., Mavhungu, A., Moropeng, M. L., & Mbaya, R. (2022). Activated carbon derived from waste orange and lemon peels for the adsorption of methyl orange and methylene blue dyes from wastewater. *Heliyon*, 8(8), e09930. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09930>
- Martina, A., Effendy, D. S., & Soetedjo, J. N. M. (2018). Aplikasi Koagulan Biji Asam Jawa dalam Penurunan Konsentrasi Zat Warna Drimaren Red pada Limbah Tekstil Sintetik pada Berbagai Variasi Operasi. *Jurnal Rekayasa Proses*, 12(2), 40. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.38948>
- Maylani, A. S., Sulistyaningsih, T., & Kusumastuti, E. (2016). Preparasi Nanopartikel Fe₃O₄ (Magnetit) serta Aplikasinya sebagai Adsorben Ion Logam Kadmium. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 5(2), 130–135.

<http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>

- Muflih, F., Febrina, L., & Mulyawati, I. (2023). Pemanfaatan Limbah Kulit Jeruk Mandarin Sebagai Adsorben Zat Warna Methylene Blue. *Sustainable Environmental and Optimizing Industry Journal*, 5(1), 46–55. <https://doi.org/https://doi.org/10.36441/seoi.v5i1.1799>
- Murniati, T., Inayati, & Budiastuti, S, Mt. (2015). Pengelolaan Limbah Cair Industri Batik dengan Metode Elektrolisis sebagai Upaya Penurunan Tingkat Konsentrasi Logam Berat di Sungai Jenes, Laweyan, Surakarta. In *Jurnal Ekosains* (Vol. 7, Issue 1, pp. 77–83).
- Nasser, A., & Kareem, S. (2023). Removal of methylene blue From Aqueous Solution Using Lemon Peel - Fe₃O₄ Nanocomposite Adsorbent. *Wasit Journal of Engineering Sciences*, 11(2), 94–105. <https://doi.org/10.31185/ejuow.vol11.iss2.466>
- Nasution, N., & Fitri, A. (2018). Sintesis Nanopartikel TiO₂ Fasa Rutile dengan Metode Kopresipitasi. *FISITEK: Jurnal Ilmu Fisika Dan Teknologi*, 2(2), 18–25.
- Nnadozie, E. C., & Ajibade, P. A. (2020). Green synthesis and characterization of magnetite (Fe₃O₄) nanoparticles using Chromolaena odorata root extract for smart nanocomposite. *Materials Letters*, 263, 127145. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.127145>
- Nurmalasari, D., Hastuti, R., & Widodo, D. S. (2015). Pengaruh Penambahan Polivinil Alkohol pada Biomassa Tongkol Jagung-Bulu Ayam sebagai Adsorben Campuran Ion Logam Tembaga dan Kromium. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 18(1), 18–23. <https://doi.org/10.14710/jksa.18.1.18-23>
- 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. <https://doi.org/10.35617/jfionline.v15i2.140>
- Oladoye, P. O., Ajiboye, T. O., Omotola, E. O., & Oyewola, O. J. (2022). Methylene blue dye: Toxicity and potential elimination technology from wastewater. *Results in Engineering*, 16, 100678. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100678>
- Oueslati, M. H., Ben Tahar, L., Alzahrani, A. K., & Basha, J. (2024). Natural chalcone dye-functionalized magnetite nanoparticles: Synthesis, characterizations and performance for the removal of methylene blue and the antibacterial activity. *Desalination and Water Treatment*, 317, 100256. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100256>
- Palupi, E. (2006). Degradasi Methylene Blue dengan Metode Fotokatalis dan Fotoelektrokatalisis Menggunakan TiO₂. *SKRIPSI, Departemen Fisika, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor*, 1–32.
- Purwitasari, D. G., Tussania, R., & Fathoni, R. (2022). Adsorpsi Logam Kadmium (Cd) pada Kadmium Sulfat (CdSO₄) Menggunakan Batang Pohon Pisang Sebagai Adsorben. *Jurnal Chemurgy*, 6(1), 131–136. <https://doi.org/10.30872/cmg.v6i1.7905>

- Ragadhita, R., & Nandiyanto, A. B. D. (2021). How to calculate adsorption isotherms of particles using two-parameter monolayer adsorption models and equations. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 6(1), 205–234. <https://doi.org/10.17509/ijost.v6i1.32354>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s11814-023-1499-7>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2022.139834>
- 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. <https://doi.org/10.21924/cst.7.2.2022.965>
- Rahmayanti, M., Yunita, E., & Putri, N. F. Y. (2020). Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 23(7), 244–248. <https://scholar.archive.org/work/forwjldoafbenilgbyc4sxum2m/access/wayback/http://ejournal.undip.ac.id:80/index.php/ksa/article/viewFile/15913/11854>
- Ramesh, A. V., Rama Devi, D., Mohan Botsa, S., & Basavaiah, K. (2018). Facile Green Synthesis of Fe₃O₄ Nanoparticles Using Aqueous Leaf Extract of *Zanthoxylum armatum* DC. for Efficient Adsorption of Methylene Blue. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 6(2), 145–155. <https://doi.org/10.1080/21870764.2018.1459335>
- Ridjal, J. . (2008). Analisis Faktor Determinan Keikutsertaan Petani Berkelompok, Pendapatan dan Pemasaran Jeruk Siam di Kabupaten Jember. *J-Sep*, 2(1), 1–9.
- Riwayati, I., Fikriyyah, N., & Suwardiyono, S. (2019). Adsorpsi Zat Warna Methylene Blue Emnggunakan Abu Alang-Alang (*Imperata cylindrica*) Teraktivasi Asam Sulfat. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 4(2), 6–11. <https://doi.org/10.31942/inteka.v4i2.3016>
- 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 SE-Articles), 117–123. <https://doi.org/10.24246/juses.v6i2p117-123>
- Sahumena, M. H., Ruslin, Asriyanti, & Djuwarno, E. N. (2020). Identifikasi Jamu Yang Beredar Di Kota Kendari Menggunakan Metode Spektrofotometri Uv-Vis. *Journal Syifa Sciences and Clinical Research*, 2(2), 65–72. <https://doi.org/10.37311/jsscr.v2i2.6977>
- Sanjiwani, N. M. S., Paramitha, D. A. I., Wibawa, A. A. C., Ariawan, I. M. D., Megawati, F., Dewi, N. W. T., Mariati, N. P. A. M., & Sudiarsa, I. W. (2020). Pembuatan Hair Tonic Berbahan Dasar Lidah Buaya dan Analisis dengan Fourier Transform Infrared. *Widyadari*, 21(1), 249–262.

- Santos, A. F. M., Macedo, L. J. A., Chaves, M. H., Espinoza-Castañeda, M., Merkoçi, A., Limac, F. D. C. A., & Cantanhêde, W. (2016). Hybrid Self-Assembled Materials Constituted by Ferromagnetic Nanoparticles and Tannic Acid: A Theoretical and Experimental Investigation. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 27(4), 727–734. <https://doi.org/10.5935/0103-5053.20150322>
- Sari, F. I. P. (2017). Sintesis, Karakterisasi Nanopartikel Magnetit, Mg/Al NO₃ – Hidrotalsit dan Komposit Magnetit-Hidrotalsit. *Jurnal Kimia VALENSI*, 3(1), 44–49. <https://doi.org/10.15408/jkv.v3i1.4526>
- Sari, N. W., Fajri, M. Y., & Anjas, W. (2018). Analisis Fitokimia dan Gugus Fungsi dari Ekstrak Etanol Pisang Goroho Merah (*Musa Acuminata* (L)). *IJOB (Indonesian Journal of Biotechnology and Biodiversity)*, 2(1), 30.
- Sebastian, A., Nangia, A., & Prasad, M. N. V. (2019). Cadmium and sodium adsorption properties of magnetite nanoparticles synthesized from *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. bark: Relevance in amelioration of metal stress in rice. *Journal of Hazardous Materials*, 371(March 2018), 261–272. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.03.021>
- Sims, R. A., Harmer, S. L., & Quinton, J. S. (2019). The Role of Physisorption and Chemisorption in the Oscillatory Adsorption of Organosilanes on Aluminium Oxide. *Polymers*, 11(410). <https://doi.org/10.3390/polym11030410>
- Skoog, D., West, D., Holler, F., & Crouch, S. (2007). *Fundamental of Analytical Chemistry* (9th ed.). Brooks/Cole Cengage Learning.
- Sohouli, E., Khosrowshahi, E. M., Radi, P., Naghian, E., Rahimi-Nasrabadi, M., & Ahmadi, F. (2020). Electrochemical Sensor Based on Modified Methylcellulose by Graphene Oxide and Fe₃O₄ Nanoparticles: Application in the Analysis of Uric Acid Content in Urine. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 877, 114503. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2020.114503>
- Subramanian, K. S., Janavi, G. J., Marimuthu, S., Kannan, M., Raja, K., Haripriya, S., Sharmila, D. J. S., & Moorthy, P. S. (2018). *Scanning Electron Microscopy: Principle, Components and Applications*. ASTRAL.
- Suciningtyas, S. A. (2015). Daur Ulang Minyak Jelantah Untuk Material Fotokatalis Carbon Nanodots Penjernih Air. *Skripsi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, UNNES*.
- Surani. (2024). Pengaruh Penggunaan Video Tutorial Merangkai Alat Praktikum Terhadap Pemahaman dan Pengetahuan Mahasiswa pada Praktikum Isolasi dan Sintesis Senyawa Organik. *Indonesian Journal of Laboratory*, 6(3), 205–210. <https://doi.org/10.22146/ijl.v1i3.90342>
- Syaifulah. (2020). *Karakterisasi Morfologi Organ Vegetatif Tanaman Jeruk Siam (Citrus Nobilis Lour.) di Dua Sentra Lokasi yang Berbeda*. UIN Suska Riau.
- Syakina, A. N. (2022). *Sintesis Nanopartikel Magnetik dari Ekstrak Kulit Petai (Parkia speciosa hassk) dan Aplikasinya Sebagai Adsorben Zat Warna Metil Violet*. UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
- Syakina, A. N., & Rahmayanti, M. (2023). Removal of methyl violet from aqueous solutions by green synthesized magnetite nanoparticles with *Parkia Speciosa* Hassk. peel extracts. *Chemical Data Collections*, 44, 101003. <https://doi.org/10.1016/j.cdc.2023.101003>

- Tanaka, K., & Maeda, K. (2014). Scanning Electron Microscopy. *Journal of Health & Medical Informatics*, 5(4), 4–5. <https://doi.org/10.4172/2157-7420.1000167>
- Tatinting, G. D., Arintonang, H. F., & Wintu, A. D. (2021). Sintesis Nanopartikel Fe₃O₄-Polietilen Glikol (PEG) 6000 dari Pasir Besi Pantai Hais sebagai Adsorben Logam Kadmium (Cd). *Chem. Prog*, 14(2), 131–137. <https://doi.org/https://doi.org/10.35799/cp.14.2.2021.37192>
- Tuhuloula, A., Budiarti, L., & Fitriana, E. N. (2013). Karakterisasi Pektin Dengan Memanfaatkan Limbah Kulit Pisang Menggunakan Metode Ekstraksi. *Konversi*, 2(1), 21–27. <https://doi.org/10.20527/k.v2i1.123>
- Verdiana, M., Widarta, I. W. R., & Permana, I. D. G. M. (2018). Pengaruh Jenis Pelarut pada Ekstraksi Menggunakan Gelombang Ultrasonik terhadap Aktivitas Antioksidan Ekstrak Kulit Buah Lemon (Citrus limon (Linn.) Burm F.). *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Pangan (ITEPA)*, 7(4), 213–222. <https://doi.org/10.24843/itepa.2018.v07.i04.p08>
- Vogel. (1989). *Kimia Analisis Kuantitatif Anorganik*. Jakarta: EGC.
- Wahyuni, A. M., Afthoni, M. H., & Rollando. (2022). Pengembangan dan Validasi Metode Analisis Spektrofotometri UV Vis Derivatif untuk Deteksi Kombinasi Hidrokortison Asetat dan Nipagin pada Sediaan Krim. *Sainsbertek Jurnal Ilmiah Sains & Teknologi*, 3(1), 239–247. <https://doi.org/10.33479/sb.v3i1.181>
- Walsh, F. C. (2016). *Electrochemical and Physical Techniques in Support of the Conservation of Historic Vessels in the Solent Electrochemical and Physical Techniques in Support of the Conservation of Historic Vessels in the Solent*.
- Wijayanti, A., Susatyo, E. B., Kurniawan, C., & Sukarjo. (2018). Adsorpsi Logam Cr(VI) dan Cu(II) Pada Tanah dan Pengaruh Penambahan Pupuk Organik. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(3), 242–248.
- Wijayanti, T. A. (2016). Adsorpsi Multikomponen (Ion Cu(II), Metilen Biru, dan Kristal Violet) pada Adsorben Hibrida Alga Nannochloropsis sp. Silika-Magnetit (Fe₃O₄). *SKRIPSI, Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Lampung*, 19(5), 4.
- Yashni, G., Al-Gheethi, A., Radin Mohamed, R. M. S., Dai-Viet, N. V., Al-Kahtani, A. A., Al-Sahari, M., Nor Hazhar, N. J., Noman, E., & Alkhadher, S. (2021). Bio-inspired ZnO NPs synthesized from Citrus sinensis peels extract for Congo red removal from textile wastewater via photocatalysis: Optimization, mechanisms, techno-economic analysis. *Chemosphere*, 281, 130661. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130661>
- Zonato, R. de O., Estevam, B. R., Perez, I. D., Aparecida dos Santos Ribeiro, V., & Boina, R. F. (2022). Eggshell as an adsorbent for removing dyes and metallic ions in aqueous solutions. *Cleaner Chemical Engineering*, 2(April), 100023. <https://doi.org/10.1016/j.clce.2022.100023>