

**SINTESIS NANOMATERIAL MAGNETIT (Fe_3O_4) TERMODIFIKASI
AMPAS TEH (*Camellia sinensis*) DAN APLIKASINYA DALAM
MENDEGRADASI ZAT WARNA METHYLENE BLUE PADA SISTEM
MULTIKOMPONEN**

Skripsi

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



Oleh:

SITI MARATUS SHOLIKHAH

21106030007

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

2026

LEMBAR 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-177/Un.02/DST/PP.00.9/01/2026

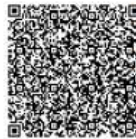
Tugas Akhir dengan judul : SINTESIS NANOMATERIAL MAGNETIT (Fe_3O_4) TERMODIFIKASI AMPAS TEH (*Camellia sinensis*) DAN APLIKASINYA DALAM MENDEGRADASI ZAT WARNA METHYLENE BLUE PADA SISTEM MULTIKOMPONEN

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : SITI MARATUS SHOLIKHAH
Nomor Induk Mahasiswa : 21106030007
Telah diujikan pada : Kamis, 15 Januari 2026
Nilai ujian Tugas Akhir : A

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

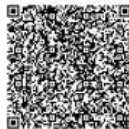
TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Valid ID: 6976f52276af5

Ketua Sidang

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



Valid ID: 6976c35b9cebc

Penguji I

Endaraji Sedyadi, M.Sc.
SIGNED



Valid ID: 6976c28ab18ca

Penguji II

Sudarlin, M.Si.
SIGNED



Valid ID: 697705dd16ce1

Yogyakarta, 15 Januari 2026
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

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

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Siti Maratus Sholikhah
NIM : 21106030007
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Sintesis Nanomaterial Magnetit (Fe_3O_4) Termodifikasi Ampas Teh (*Camellia sinensis*) dan Aplikasinya dalam Mendegradasi Zat Warna Methylene Blue Pada Sistem Multikomponen**" 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, 31 Desember 2025


Siti Maratus Sholikhah
NIM. 21106030007

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI



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 : Siti Maratus Sholikhah

NIM : 21106030007

Judul Skripsi : Sintesis Nanomaterial Magnetit (Fe_3O_4) Termodifikasi Ampas Teh (*Camellia sinensis*) dan Aplikasinya dalam Mendegradasi Zat Warna Methylene Blue Pada Sistem Multikomponen

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

Wassalamu 'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 30 Desember 2025

Pembimbing

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

NIP. 198106272006042003

HALAMAN MOTTO

Angin tak berhembus atas kehendakmu, namun ia akan membawa kapalmu ke pelabuhan yang dituju. Tugasmu hanyalah menguatkan layar kesabaran dan mengupayakan kapalmu terus berlayar. Sebab, kebaikan sejati selalu tiba pada waktu yang paling sempurna.

"Maka bersabarlah kamu, sesungguhnya janji Allah swt. itu benar. Janganlah sekali-kali orang-orang yang tidak meyakini (kebenaran itu) menggelisahkan kamu."

(QS. Ar-Rum [30]: 60)

YOU CAN DO IT, MARA!

HALAMAN PERSEMBAHAN

*Karya tulis ini penulis persembahkan kepada
Diri sendiri,
Orang tua dan keluarga tercinta,
Semua guru dan dosen penulis,
Semua sahabat dan teman seperjuangan
serta
Almamater tercinta,
Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi,
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.*

*Semoga karya ini menjadi sumbangsih kecil bagi pengembangan ilmu dan
pendidikan di kampus yang membentuk perjalanan akademik penulis.*

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Puji syukur senantiasa terpanjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW yang menjadi teladan dalam segala aspek kehidupan.

Skripsi yang berjudul “Sintesis Nanomaterial magnetit (Fe_3O_4) Termodifikasi Ampas Teh (*Camellia sinensis*) dan Aplikasinya dalam Mendegradasi Zat Warna *Methylene Blue* Pada Sistem Multikomponen” ini disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta. Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai tantangan dan proses pembelajaran, namun berkat dukungan, bimbingan, serta doa dari berbagai pihak, karya ilmiah ini akhirnya dapat terselesaikan. Pada kesempatan ini penulis dengan tulus menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Noorhaidi Hasan, S.Ag., M.A., M.Phil., Ph.D., selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Ibu Prof. Dr. Khurul Wardati, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga.
3. Ibu Prof. Dr. Maya Rahmayanti, S.Si. M.Si., selaku Kepala Program Studi Kimia sekaligus dosen pembimbing skripsi yang dengan penuh kesabaran memberikan arahan, bimbingan, dan masukan berharga selama proses penelitian hingga penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Khamidinal, S.Si. M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik.
5. Segenap sivitas akademika UIN Sunan Kalijaga, khususnya dosen Program Studi Kimia yang telah membekali penulis dengan ilmu serta pengalaman akademik selama masa perkuliahan.
6. Segenap PLP Laboratorium Kimia Terpadu UIN Sunan Kalijaga yang telah membantu penulis dalam penyelesaian tanggungjawab di laboratorium.
7. Segenap pengelola dan pengurus Laboratorium Farmasi FKIK UMY yang telah berkenan memberikan izin penggunaan fasilitas serta dukungan selama pelaksanaan penelitian di laboratorium FKIK UMY.
8. Teristimewa penulis ucapkan terima kasih kepada orang tua *jasad wa ruh* penulis; Ibu Nur Rohmah, Bapak Suropto, Alm. Bapak Umar Anshori, Bapak Ahmad Syaifudin, Ibu Masruroh, dan Ibu Winarni, yang menjadi panjang tangan anugerah Allah swt. kepada penulis, serta seluruh keluarga yang selalu memberikan doa dan dukungan dalam berbagai bentuk. Terima kasih atas semua dukungan dan pelajaran hidup yang diberikan. Kehangatan dan perhatian dari kalian menjadi kekuatan penulis hingga skripsi ini dapat terselesaikan.
9. Saudara yang selalu menjadi tempat hangat berbagi cerita dan penghibur di kala gundah gulana; Mba Millatuz Zahro', Dek Mukhlis Nugroho, Mas Muhammad Faiz Baidlowi. Terima kasih atas pengertian dan dukungannya.

10. Seluruh Guru penulis dari RA, MI, MTS, MA dan Pondok Pesantren yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Terima kasih telah memberikan bekal terbaik sampai penulis bisa masuk ke Perguruan Tinggi.
11. Saudara seperantauan di Jogja, Mba Zidni, Mas Yoga, Bintang, Dek Mila, Dek Fajri, Mba Arik, Mas Ali, Mba Nafis, Mba Nisa, terima kasih atas semua uluran telinga dan tangan yang diberikan.
12. Keluarga Besar Masjid Syuhada, yang senantiasa menjadi teman belajar, mengabdikan, bertukar pengalaman dan membuat Jogja terasa seperti 'Rumah'. Terima kasih Mba Laila, Mba Basya, Mba Madikha, Mba Azza, Mba Ima, Mba Binti, Faraz, Rana, Inay, CDMS, Yasra-Yasri dan semua pihak yang penulis kenali di Yasma Syuhada yang tidak dapat dituliskan satu per satu.
13. Teman dekat penulis, Dek Lutfi, Dek Tika, Dek Dini. Terima kasih atas motivasi, dukungan, dan kehangatan yang terus menguatkan perjalanan.
14. Teman-teman se-bimbingan, Galuh, Binti, Sarah, Maria, Isyfi, dan Sukron, yang selalu menemani, membantu dan memotivasi di kehidupan semester akhir ini.
15. Teman-teman Scandium yang telah berjuang bersama dan saling menguatkan, terima kasih atas kerja sama, motivasi, energi positif serta kenangan selama masa perkuliahan.
16. Teman-teman organisasi, yang telah membantu penulis tumbuh dan menemukan makna lain di dunia kampus. Khususnya HM-PS Kimia, terima kasih Endah, Sofi, Maria, Dewi, Nurul yang sudah bekerja sama, membantu dan mempercayai di tengah banyak keterbatasan. Serta FKIST Saintek, terima kasih Faraz, Rikma, Alfina, Dhea, Elvira, Bintang, Sidik, Humam, yang sudah bekerja sama, menjadi teman berdiskusi, dan bercengkrama.
17. Segenap beasiswa, program pendidikan Indonesia, Orbit Jogja dan LAZ Amal Syuhada. Terima kasih telah memberikan beasiswa selama perkuliahan yang cukup membantu kepada penulis, baik secara materiil maupun pengembangan diri.
18. Segenap keluarga KKN 82 Sumur, Afifah, Aisyah, Luthfia, Regina, Sofia, Ikhsan, Alam, Tijani, Rifai, Mas Wisnu, Mas Rifqi, Warlok Sumur, dan seluruh masyarakat Padukuhan Sumur. Terima kasih atas pelajaran dan pengalaman berharganya selama pengabdian.
19. Semua pihak yang memotivasi, menemani dan membantu penulis selama menjalani pendidikan hingga terselesaikannya penulisan skripsi ini.

Besar harapan penulis agar skripsi ini dapat memberikan manfaat, khususnya bagi mahasiswa Program Studi Kimia, serta bagi pembaca yang membutuhkan informasi terkait topik penelitian ini. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa mendatang.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Yogyakarta, 11 Desember 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI.....	iii
HALAMAN MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Batasan Masalah.....	4
C. Rumusan Masalah	6
D. Tujuan Penelitian.....	6
E. Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
A. Tinjauan Pustaka	8
B. Landasan Teori	12
1. Zat Warna <i>Methylene Blue</i>	12
2. Nanomaterial Magnetik	13
3. Ampas Teh (<i>Camellia sinensis</i>)	16
4. Ekstraksi	17
5. Kopresipitasi.....	18
6. Adsorpsi.....	19
7. Spektrofotometri <i>Ultraviolet-Visible</i> (UV-Vis)	23
8. Spektrofotometri <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	25
9. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	26
10 Diagram Pourbaix.....	28
C. Kerangka Berfikir dan Hipotesis Penelitian.....	29
BAB III METODE PENELITIAN.....	34
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	34
B. Alat dan Bahan Penelitian.....	34
C. Prosedur Kerja Penelitian.....	35
D. Teknik Analisis Data	39
BAB IV PEMBAHASAN.....	41
A. Sintesis Nanomaterial Magnetik Termodifikasi Ekstrak Ampas Teh (<i>Camellia sinensis</i>).....	41
B. Karakterisasi Kristal MNMs-CS	46
C. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum dan Kurva Standar <i>Methylene Blue</i>	53

D.	Pengaruh pH Larutan <i>Methylene Blue</i> Terhadap Adsorpsi <i>Methylene Blue</i> oleh MNMs-CS	55
E.	Kinetika Adsorpsi MNMs-CS terhadap Zat Warna <i>Methylene Blue</i> dalam Sistem Tunggal.....	61
F.	Isoterm Adsorpsi MNMs-CS terhadap Zat Warna <i>Methylene Blue</i> dalam Sistem Tunggal dan Sistem Multikomponen	66
BAB V KESIMPULAN		78
A.	Kesimpulan.....	78
B.	Saran	79
DAFTAR PUSTAKA		80
LAMPIRAN.....		86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Kimia <i>Methylene Blue</i>	13
Gambar 2.2	Struktur Kristal Magnetit (Fe_3O_4).	14
Gambar 2.3	Ampas Teh (<i>Camellia sinensis</i>).....	16
Gambar 2.4	Diagram Pourbaix.....	29
Gambar 4.1	Skema Proses Sintesis MNMs-CS.....	45
Gambar 4.2	MNMs-CS Tertarik Oleh Medan Magnet Luar.....	45
Gambar 4.3	Hasil Serapan FTIR Ekstrak Ampas Teh Dan MNMs-CS Sebelum dan Setelah Adsorpsi	46
Gambar 4.4	Difraktogram XRD MNMs-CS.....	49
Gambar 4.5	Panjang Gelombang Maksimum Larutan <i>Methylene Blue</i>	53
Gambar 4.6	Kurva Standar <i>Methylene Blue</i>	54
Gambar 4.7	Grafik Pengaruh pH Terhadap Konsentrasi <i>Methylene Blue</i> yang Teradsorpsi Oleh MNMs-CS.....	57
Gambar 4.8	Mekanisme Adsorpsi Zat Warna <i>Methylene Blue</i> Oleh MNMs-CS	58
Gambar 4.9	Grafik Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Konsentrasi <i>Methylene Blue</i> yang Teradsorpsi Oleh MNMs-CS.....	62
Gambar 4.10	Kinetika adsorpsi (a) PFO Lagergen (b) PSO Ho	63
Gambar 4.11	Grafik Pengaruh Konsentrasi Awal Terhadap Konsentrasi <i>Methylene Blue</i> Dalam Sistem Tunggal yang Diadsorpsi Oleh MNMs-CS	67
Gambar 4.12	Diagram Isoterm Adsorpsi Sistem Tunggal.....	69
Gambar 4.13	Grafik Pengaruh Konsentrasi Awal Terhadap Konsentrasi <i>Methylene Blue</i> Dalam Sistem Multikomponen yang Diadsorpsi Oleh MNMs-CS.....	72
Gambar 4.14	Diagram Isoterm Adsorpsi Sistem Multikomponen (a) Model Isoterm Langmuir (b) Model Isoterm Freundlich	74

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Data ukuran kristal pada beberapa nanomaterial magnetik termodifikasi ekstrak tanaman	51
Tabel 4.2	Perhitungan Kinetika Adsorpsi <i>Methylene Blue</i> Menggunakan Model PFO dan PSO.....	65
Tabel 4.3	Perhitungan Dan Perbandingan Hasil Isoterm Adsorpsi <i>Methylene Blue</i> Dalam Sistem Tunggal.....	70
Tabel 4.4	Parameter Langmuir Dan Freundlich Sistem Adsorpsi Tunggal dan Multikomponen	75

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Perhitungan ukuran kristal MNMs-CS dengan persamaan Debye-Scherrer.....	86
Lampiran 2.	Data Larutan Standar Zat Warna <i>Methylene Blue</i>	87
Lampiran 3.	Data Pengaruh pH Zat Warna <i>Methylene Blue</i> Terhadap Adsorpsi <i>Methylene Blue</i> oleh MNMs-CS	88
Lampiran 4.	Data Pengaruh Waktu Adsorpsi <i>Methylene Blue</i> oleh MNMs-CS..	89
Lampiran 5.	Data Isoterm Adsorpsi MNMs-CS Terhadap <i>Methylene Blue</i> dalam Sistem Tunggal	93
Lampiran 6.	Data Isoterm Adsorpsi MNMs-CS Terhadap <i>Methylene Blue</i> dalam Sistem Multikomponen	96
Lampiran 7.	Dokumentasi Penelitian.....	99

ABSTRAK

Sintesis Nanomaterial magnetit (Fe_3O_4) Termodifikasi Ampas Teh (*Camellia sinensis*) dan Aplikasinya Dalam Mendegradasi Zat Warna Methylene Blue Pada Sistem Multikomponen

Oleh:

Siti Maratus Sholikhah

21106030007

Pembimbing:

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

Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis Nanomaterial magnetit (Fe_3O_4) termodifikasi Ampas Teh (*Camellia sinensis*) dan mengevaluasi potensinya sebagai adsorben untuk mendegradasi zat warna *methylene blue* dalam sistem tunggal dan multikomponen. Sintesis MNMs-CS dilakukan dengan menggunakan metode kopresipitasi terbalik melalui reaksi $\text{Fe}^{3+}/\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{Fe}^{2+}/\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ yang memanfaatkan ekstrak ampas teh (*Camellia sinensis*) sebagai agen pereduksi dan penstabil serta NaOH sebagai agen pengendap.

Hasil karakterisasi menunjukkan MNMs-CS berhasil terbentuk, ditunjukkan dengan adanya ikatan inti magnetit Fe-O pada bilangan gelombang $439,77 \text{ cm}^{-1}$ dan $578,64 \text{ cm}^{-1}$ berdasarkan spektrofotometer FTIR dan ukuran kristal sebesar 19,8 nm berdasarkan instrument XRD. Kondisi optimal adsorpsi MB dalam sistem tunggal ditentukan pada pH 8 dan waktu kontak ekuilibrium 15 menit, menggunakan konsentrasi MB 15 mg/L.

Analisis kinetika menunjukkan bahwa proses adsorpsi MB pada MNMs-CS secara baik mengikuti model *Pseudo Second-Order* (PSO), menandakan bahwa laju adsorpsi dikontrol oleh mekanisme reaksi permukaan. Selanjutnya, model isoterm Freundlich terbukti paling sesuai untuk menggambarkan data ekuilibrium, baik pada sistem tunggal maupun multikomponen. Kesesuaian dengan model Freundlich menunjukkan bahwa adsorpsi terjadi secara *multilayer* pada permukaan MNMs-CS yang heterogen. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa MNMs-CS berpotensi tinggi sebagai adsorben yang stabil dan efektif untuk aplikasi pengolahan limbah cair, termasuk dalam kondisi sistem yang lebih kompleks.

Kata Kunci: ampas teh; nanomaterial magnetik; adsorpsi; dan methylene blue

ABSTRACT

Synthesis of Magnetite Nanomaterials (Fe_3O_4) Modified with Tea Waste (*Camellia sinensis*) and Their Application in Degrading Methylene Blue Dye in a Multicomponent System

Author:

Siti Maratus Sholikhah

21106030007

Supervisor:

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

*This research aims to synthesize magnetite nanomaterials (Fe_3O_4) based on Tea Waste (*Camellia sinensis*) and evaluate their potential as an adsorbent for the degradation of methylene blue (MB) dye in both single and multicomponent systems. The synthesis of MNMs-CS was performed using the inverse co-precipitation method through the reaction of $\text{Fe}^{3+}/\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and $\text{Fe}^{2+}/\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, utilizing the tea waste extract (*Camellia sinensis*) as a reducing and stabilizing agent, and NaOH as the precipitating agent.*

Characterization results confirmed the successful formation of MNMs-CS, indicated by the presence of characteristic Fe-O bonds of the magnetite core at wavenumbers $439,77\text{ cm}^{-1}$ dan $578,64\text{ cm}^{-1}$ based on FTIR spectrophotometry, and a crystallite size of 19.8 nm determined by XRD analysis. The optimal adsorption conditions for MB in the single component system were found to be at pH 8 and an equilibrium contact time of 15 minutes, using an MB concentration of 15 mg/L.

Kinetic analysis demonstrated that the MB adsorption process onto MNMs-CS followed the Pseudo Second-Order (PSO) model well, suggesting that the adsorption rate is controlled by a surface reaction mechanism. Furthermore, the Freundlich isotherm model proved to be the most suitable for describing the equilibrium data in both the single and multicomponent systems. This fit with the Freundlich model indicates that the adsorption occurs via a multilayer mechanism on the heterogeneous surface of the MNMs-CS. Overall, these findings affirm that MNMs-CS possess high potential as a stable and effective adsorbent for wastewater treatment applications, including in more complex system conditions.

Keywords: tea waste; magnetic nanomaterials; adsorption; and methylene blue

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Salah satu senyawa yang banyak digunakan dalam industri pewarnaan kain, kulit dan percetakan adalah *methylene blue* atau sering dikenal dengan singkatan MB. Zat warna sintetis ini banyak digunakan dalam industri karena mampu memberikan warna yang tahan lama, cerah, dan beragam (Asiah et al., 2022). MB merupakan senyawa aromatik heterosiklik yang sering digunakan dalam pengobatan, farmasi, industri pewarna, dan kimia analitik. Zat pewarna ini termasuk ke dalam senyawa aromatik heterosiklik kationik (Modi et al., 2022).

Sayangnya, Rahmayanti et al. (2023) menyebutkan bahwa hanya 45% dari pewarna yang berhasil menempel pada kain, sisanya dilepaskan sebagai limbah dalam proses pencucian. Namun, MB tergolong sulit terurai secara alami dan bersifat toksik (Aji et al., 2019). Limbah yang mengandung zat warna ini apabila tidak diolah dengan benar, sering kali dibuang langsung ke saluran air, dapat mencemari sumber air dan memberikan dampak buruk bagi ekosistem akuatik serta kesehatan manusia (Ait Brahim et al., 2018).

Limbah zat warna dari industri tekstil tidak hanya menyebabkan perubahan fisik pada badan air seperti perubahan warna, tetapi juga dapat mengganggu penetrasi cahaya dan merusak fotosintesis organisme air (Haryono et al., 2018). Selain itu, beberapa zat warna sintetis diketahui bersifat karsinogenik dan mutagenik, sehingga menimbulkan ancaman bagi kehidupan akuatik serta manusia yang terpapar (Liu et al., 2018; Setyawati et al., 2020). Misalnya, banyak pewarna

dapat menyebabkan dermatitis alergi, iritasi kulit, disfungsi ginjal, hati, otak, reproduksi, dan sistem saraf pusat (Khan, 2022).

Berbagai teknologi pengolahan limbah telah dikembangkan, termasuk klorinasi, ozonisasi, biodegradasi (Utubira et al., 2010), adsorpsi (Ramesh & Pavagada Sreenivasa, 2015), koagulasi, flokulasi (Harrelkas et al., 2009), filtrasi, dan fotokatalisis (Rahmayanti et al., 2020). Namun, teknologi yang ada tersebut terkadang tidak efisien dan mahal. Di antara metoda pengolahan limbah tersebut, penggunaan metoda adsorpsi merupakan metoda yang efisien dan unggul. Biaya yang diperlukan juga terjangkau dan metode ini terbukti efektif dalam menurunkan kadar zat warna dalam limbah cair. Zat warna tersebut akan menempel pada adsorben yang digunakan dalam proses adsorpsi (Rahmayanti et al., 2020)

Salah satu metode yang menjanjikan adalah metode adsorpsi dengan penggunaan nanomaterial magnetit (Fe_3O_4) sebagai adsorben. Metode ini dipilih karena dianggap unggul dalam mendegradasi limbah zat warna. Keunggulannya terletak pada kemampuan penyerapannya yang tinggi, kemampuan menangani variasi konsentrasi, kemampuan mengatasi berbagai jenis zat warna, serta keunggulan ekonomis dan lingkungan. Fitria et al., (2021), dalam penelitiannya melaporkan bahwa nanomaterial magnetit (Fe_3O_4) memiliki sifat magnetik yang memungkinkan pemisahannya dengan mudah dari lingkungan menggunakan magnet, sehingga memudahkan proses pemulihan dan mengurangi biaya operasional. Selain itu, luas permukaan yang besar dari nanomaterial magnetit membuatnya sangat efektif sebagai adsorben untuk berbagai jenis polutan, termasuk zat warna (Mahmuda, et. al., 2014). Nanomaterial magnetit mampu

mempercepat proses degradasi zat warna dengan bantuan sinar UV atau sumber cahaya lainnya, sehingga zat warna dapat dipecah menjadi senyawa yang lebih sederhana dan potensi bahayanya rendah (Mbuyazi & Ajibade, 2024). Tetapi, metode sintesis ini tidak terlalu banyak menghasilkan situs aktif dan tidak ramah lingkungan.

Peningkatan kesadaran akan pentingnya pengolahan limbah berkelanjutan dan ramah lingkungan mendorong penelitian untuk menemukan metode sintesis nanomaterial yang juga mendukung konsep *green chemistry* (Karim et al., 2023; Xu et al., 2023). Nanomaterial magnetit dapat disintesis dengan berbagai metode, seperti metode kopresipitasi, *sol-gel*, *solid state*, hidrotermal, sonokimia, *molten salts*, dan lain-lain (Oktaviani Elsafitri et al., 2020; Rahmayanti et al., 2023). Metode yang sering digunakan ialah metode kopresipitasi, karena dianggap cukup efektif dan sederhana bila dibandingkan dengan metode yang lain. Metode ini didasarkan pada pengendapan melalui senyawa organik yang digunakan, sehingga metode ini menjadi lebih sederhana, menghasilkan distribusi ukuran butir yang relatif sama dan dapat dilakukan pada kondisi lingkungan normal atau pada suhu ruang dan waktu sintesis yang lebih singkat (Oktaviani Elsafitri et al., 2020).

Penggunaan limbah tanaman untuk mensintesis nanomaterial magnetit (Fe_3O_4) merupakan pendekatan yang inovatif dalam bidang nanoteknologi dan pengolahan limbah. Salah satu limbah yang bisa digunakan yakni ampas teh. Sebagai limbah organik, ampas teh memiliki potensi yang signifikan karena kandungan senyawa aktif dan gugus fungsional yang dapat berfungsi sebagai agen reduktor dan stabilisator dalam proses sintesis nanomaterial (Islamiyah, 2018).

Ampas teh kaya akan senyawa polifenol dan senyawa organik lainnya yang memiliki sifat antioksidan. Senyawa-senyawa ini dapat berperan dalam proses reduksi ion besi (Fe^{2+}) menjadi nanomaterial magnetit. Selain itu, ampas teh juga mengandung gugus hidroksil yang dapat membantu dalam stabilisasi nanomaterial yang dihasilkan, sehingga mengurangi risiko aglomerasi dan meningkatkan distribusi ukuran partikel (Aulia, 2024).

Dalam penelitian ini, dilakukan sintesis nanomaterial magnetit (Fe_3O_4) menggunakan metode kopresipitasi dengan memanfaatkan limbah ampas teh (*Camellia sinensis*) sebagai bahan baku modifikasinya. Pendekatan ini tidak hanya bertujuan untuk mengolah limbah organik secara berkelanjutan, tetapi juga untuk menghasilkan nanomaterial magnetit yang memiliki potensi tinggi dalam aplikasi lingkungan. Nanomaterial yang dihasilkan (MNMs-CS) akan diuji kemampuannya dalam mendegradasi zat warna MB pada sistem multikomponen. Selain itu, penelitian ini juga mempelajari karakterisasi nanomaterial magnetik menggunakan limbah ampas teh (MNMs-CS), pengaruh pH dan waktu adsorpsi MB terhadap MNMs-CS serta kinetika adsorpsi dan isoterm adsorpsi MB pada MNMs-CS. Dengan memanfaatkan ampas teh (*Camellia sinensis*), penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi inovatif untuk masalah pencemaran yang disebabkan oleh zat pewarna sintetis, sekaligus mendukung prinsip keberlanjutan dalam industri dan pengelolaan limbah.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Limbah ampas teh yang digunakan merupakan ampas teh tubruk yang berasal dari limbah rumah tangga.
2. Ekstrak ampas teh (*Camellia sinensis*) yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh melalui metode ekstraksi dengan pelarut air.
3. Sintesis nanomaterial magnetit akan dilakukan dengan menggunakan metode kopresipitasi.
4. Penelitian ini akan fokus pada degradasi MB yang terdapat dalam sistem multikomponen (*methylene blue* dan *congo red*).
5. Karakterisasi dan analisis gugus fungsi nanomaterial magnetit MNMs termodifikasi ampas teh (*Camellia sinensis*) dilakukan dengan menggunakan *spektrofotometer fourier transform infrared spectroscopy* (FTIR) dan analisis kristalinitas serta ukuran kristal dilakukan dengan menggunakan *x-ray diffractometry* (XRD).
6. Studi mengenai pH optimum adsorpsi zat warna MB pada nanomaterial magnetik termodifikasi ampas teh (*Camellia sinensis*) dipelajari pada pH 2, 4, 6, 8, dan 10.
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 MB dengan variasi konsentrasi 5, 10, 15, 20 dan 25 mg/L.

C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik serapan gugus fungsi dan kristalinitas nanomaterial magnetik yang disintesis dan dimodifikasi dengan ekstrak ampas teh (*Camellia sinensis*) berdasarkan spektrofotometer FTIR dan XRD?
2. Bagaimana kondisi pH dan waktu optimum adsorpsi zat warna MB oleh nanomaterial magnetik yang disintesis dan dimodifikasi ampas teh (*Camellia sinensis*) dalam sistem tunggal?
3. Bagaimana kinetika adsorpsi zat warna MB oleh nanomaterial magnetik yang disintesis dan dimodifikasi ampas teh (*Camellia sinensis*) dalam sistem tunggal?
4. Bagaimana isoterm adsorpsi zat warna MB pada nanomaterial magnetik yang disintesis dan dimodifikasi ampas teh (*Camellia sinensis*) dalam sistem tunggal dan sistem multikomponen?

D. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengkarakterisasi serapan gugus fungsi dan kristalinitas nanomaterial magnetit yang disintesis dan dimodifikasi ekstrak ampas teh (*Camellia sinensis*) berdasarkan spektrofotometer FTIR dan XRD.
2. Menganalisis pH dan waktu optimum adsorpsi zat warna MB oleh nanomaterial magnetik yang disintesis dan dimodifikasi ampas teh (*Camellia sinensis*) dalam sistem tunggal.

3. Menganalisis kinetika adsorpsi zat warna MB oleh nanomaterial magnetik yang disintesis dan dimodifikasi ampas teh (*Camellia sinensis*) dalam sistem tunggal.
4. Menganalisis isoterm adsorpsi zat warna MB pada nanomaterial magnetik yang disintesis dan dimodifikasi ampas teh (*Camellia sinensis*) dalam sistem tunggal dan sistem multikomponen.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menjelaskan tentang nanomaterial magnetit yang disintesis dan dimodifikasi dengan ampas teh sebagai cara yang ramah lingkungan untuk mendegradasi zat warna sintetik pada air.
2. Meningkatkan pemanfaatan limbah ampas teh dari limbah rumah tangga sebagai adsorben untuk zat warna MB.

BAB V

KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. MNMs-CS berhasil disintesis menggunakan metode kopresipitasi terbalik dengan kondisi pH optimum pada pH 11. Keberhasilan sintesis dikonfirmasi melalui respons material terhadap medan magnet eksternal. Karakterisasi gugus fungsi pada MNMs-CS menggunakan spektrofotometer FTIR mengidentifikasi pita serapan khas pada bilangan gelombang 439,77; 578,64; 108,85; 1381,03; 1627,92; dan 3433,29 cm^{-1} , yang menunjukkan keberadaan inti magnet dan senyawa ekstrak ampas teh. Analisis XRD menunjukkan bahwa MNMs-CS memiliki struktur kristal magnetit (Fe_3O_4) dengan puncak-puncak difraksi yang teramati selaras dengan data JCPDS No. 19-0629 pada indeks Miller (220), (311), (400), (422), (511), dan (440). Rata-rata ukuran kristalit MNMs-CS yang berhasil disintesis adalah 19,8 nm.
2. Proses adsorpsi zat warna MB oleh MNMs-CS mencapai efisiensi tertinggi, yaitu 95,4 %, pada kondisi pH optimum 8 serta waktu optimum yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi kesetimbangan adsorpsi adalah 15 menit.
3. Kinetika adsorpsi *methylene blue* pada MNMs-CS mengikuti Model Kinetika Adsorpsi Orde Dua Semu (PSO) Ho dengan konstanta laju reaksi yang diperoleh yaitu 0,0012 menit^{-1}

4. Studi isotherm adsorpsi zat warna *methylene blue* oleh MNMs-CS berdasarkan variasi konsentrasi tunggal dalam sistem multikomponen mengikuti model isotherm adsorpsi Freundlich dengan kapasitas adsorpsi masing-masing sebesar 0,00022 mol/g dan 0,48 mol/g.

B. Saran

Saran yang dapat penulis berikan untuk penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Menguji variasi sumber limbah teh (seperti ampas teh tubruk dan ampas teh kantong/celup) untuk mengidentifikasi pengaruh perbedaan pra-perlakuan dan komponen residu terhadap kualitas sintesis dan efisiensi adsorpsi MNMs-CS.
2. Melakukan analisis SEM-EDX, VSM atau uji lainnya untuk memperkuat hasil karakterisasi dari hasil sintesis yang diperoleh.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, G. (2013). *Sintesis, karakterisasi dan uji stabilitas Fe₃O₄ - asam askorbat*. UIN Sunan Kalijaga.
- Acharya, A., Jeppu, G., Raju Girish, C., & Prabhu, B. (2023). Development of a Multicomponent Adsorption Isotherm Equation and Its Validation by Modeling. *Langmuir*, 39(49), 17862–17878. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.3c02496>
- Adamson, A. ., & Gast. A.P. (199 C.E.). *Physical Chemistry of Surfaces*.
- Ahmed, M. ., Mansour, S. F., & Gad, E. M. (2016). Chitosan coated magnetite nanoparticles for removal of heavy metals from aqueous solution. *Materials Chemistry and Physics*, 190, 76–86.
- Ait Brahim, Y., Wassenburg, J. A., Cruz, F. W., Sifeddine, A., Scholz, D., Bouchaou, L., Dassié, E. P., Jochum, K. P., Edwards, R. L., & Cheng, H. (2018). Multi-decadal to centennial hydro-climate variability and linkage to solar forcing in the Western Mediterranean during the last 1000 years. *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35498-x>
- Aji, M. P., Yulianto, A., & Bijaksana, S. (2019). *Sintesis Nanopartikel magnetit , maghemit dan hematit dari bahan lokal*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:197495944>
- Asfiya, I. (2025). *Sintesis Nanopartikel magnetit (Fe₃O₄) Termodifikasi Ekstrak Kulit Jeruk Manis (Citrus Sinensis) Dan Aplikasinya Sebagai Adsorben Zat Warna Methylene Blue Dalam Sistem Multikomponen* [UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta]. <http://digilib.uin-suka.ac.id/id/eprint/70736>
- Asiah, N., Sylvia, N., & Bahri, S. (2022). Adsorpsi zat warna methylene blue menggunakan adsorben dari ampas teh pada kolom. *Chemical Engineering Journal Storage*, 2(2), 75–86.
- Atkins, P. W. (1996). *Kimia Fisika*. Erlangga.
- Atkins, P. W. (1999). *Kimia Fisika Jilid II*. Erlangga.
- Aulia, M. (2024). *Pembuatan adsorben ampas teh termodifikasi material magnetit (Fe₃O₄) untuk pengolahan limbah metilen biru*. Universitas Negeri Jakarta.
- Azizian, S. (2004). Kinetic Models of Sorption: A Theoretical Analysis. *J. Colloid Interface Sci.*, 276, 47.
- Ben Gharbia, I., Haddou, M., Tran, Q. H., & Vu, D. T. S. (2021). An analysis of the unified formulation for the equilibrium problem of compositional multiphase mixtures. *ESAIM: Mathematical Modelling and Numerical Analysis*, 55(6), 2981–3016. <https://doi.org/10.1051/m2an/2021075>
- Bere, L. M., Sibarani, J., & Manurung, M. (2019). Sintesis Nanopartikel perak(NPAg) menggunakan ekstrak air daun kemangi(*Ocimum sanctum* Linn.) dan aplikasinya dalam fotodegradasi zat warna metilen biru. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*, 7(2).
- Bonardo, D., & Siburian, R. (2020). Analisis Struktur Nanopartikel Silika dari Abu Ampas Tebu menggunakan Metode XRD. *EINSTEIN*.
- Bukit, N., Nasution, F. H., Ginting, M., Sebayang, K., & Pasaribu, F. L. (2015). Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Magnetik dari Pasir Besi Alam dengan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Ilmu Fisika*, 7(2), 52–59.

- Byjus. (n.d.). *UV VIS Spectroscopy - Definition, Theory & Applications*.
- Callister, W. D. (2007). *Materials Science and Engineering*.
- Cornell, R. M., & Schwertmann, U. (2004). The Iron Oxides: Structure, Properties, Reactions, Occurences and Uses. *The Iron Oxides: Structure, Properties, Reactions, Occurences and Uses*, 1–664. <https://doi.org/10.1002/3527602097>
- Cullity, B. D., & Stock, S. R. (1979). Mechanism of calcium-independent phosphorylation of sarcoplasmic reticulum ATPase by orthophosphate. Evidence of magnesium-phosphoprotein formation. In *FEBS Letters* (Vol. 108, Issue 2). [https://doi.org/10.1016/0014-5793\(79\)80596-7](https://doi.org/10.1016/0014-5793(79)80596-7)
- Darmawan, M. Y., Suharyadi, E. S., & Nugraheni, A. D. (2025). *Green Synthesis Komposit Nanopartikel Berbasis Besi Oksida Dan Aplikasinya Untuk Hipertermia Magnetik Mahardika Yoga Darmawan, Prof. Dr. Eng. Edi Suharyadi, S.Si., M.Eng.; Dr.Sc. Ari Dwi Nugraheni, S.Si.,M.Si.* 5–6. <https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/255331>
- do Nascimento Moraes Calazans, T. R., Lima Barizão, A. C. de, de Andrade Silva, T., Campos, F. V., Cassini, S. T. A., Nardy Ribeiro, A. V. F., de Godoi Pereira, M., Cunegundes Guimarães, M. C., de Oliveira, J. P., & Ribeiro, J. N. (2024). Methylene blue removal using a nanomagnetic support: a response surface approach. *Nanoscale Advances*, 6(15), 3887–3894. <https://doi.org/10.1039/d4na00318g>
- Fitria, G., Patriati, A., Mujamilah, Prihatiningsih, M. C., Putra, E. G. R., & Soontaranon, S. (2021). Hierarchical structure of magnetic nanoparticles- Fe_3O_4 -ferrofluids revealed by small angle x-ray scattering. *Indonesian Journal of Chemistry*, 21(3), 635–643. <https://doi.org/10.22146/ijc.59114>
- 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>
- Harrelkas, F., Azizi, A., Yaacoubi, A., Benhammou, A., & Pons, M.-N. (2009). Treatment of Textile Dye Effluents Using Coagulation–Flocculation Coupled with Membrane Processes or Adsorption on Powdered Activated Carbon. *Desalination*, 235, 330–339. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.02.012>
- Haryono, H., Faizal D, M., Liamita N, C., & Rostika, A. (2018). Pengolahan Limbah Zat Warna Tekstil Terdispersi dengan Metode Elektroflotasi. *EduChemia (Jurnal Kimia Dan Pendidikan)*, 3(1), 94. <https://doi.org/10.30870/educhemia.v3i1.2625>
- Ho, Y. S., & McKay, G. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry*, 34(5), 451–456.
- Huda, T., & Yulitaningtyas, T. K. (2018). Kajian Adsorpsi Methylene Blue Menggunakan Selulosa dari Alang-Alang. *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*, 1(01). <https://doi.org/10.20885/ijca.vol1.iss1.art2>
- Islam, M. A. . et al. (2015). Adsorption kinetics: A review of pseudo-first order and pseudo-second order models. *Journal of Environmental Chemical Engineering*.
- Islam, M. A., Chowdhury, M. A., Mozumder, M. S. I., & Uddin, M. T. (2021). Langmuir Adsorption Kinetics in Liquid Media: Interface Reaction Model. *ACS Omega*, 6(22), 14481–14492. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c01449>

- Islamiyah, N. P. (2018). *Sintesis dan karakterisasi Nanopartikel magnetit (Fe_3O_4) tanpa dan dengan penambahan asam sitrat serta aplikasinya sebagai koagulan*. Universitas Negeri Malang.
- Khaira, M., Mulianda, Z., & Rahayu, R. (2020). Karakterisasi Nanopartikel magnetit (Fe_3O_4) Hasil Sintesis Menggunakan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 9(1), 1–6.
- Khan, M. . et al. (2022). Adsorpsi pewarna methylene blue pada adsorben berbasis biomassa: studi kinetika dan mekanisme. *Chemical Engineering Journal Storage*, 2(2), 75–86.
- Kittel C. (1996). Introduction to Solid State Physics, 8th edition, Berkeley. In *John Wiley & Sons, New York*.
- Kodarta, W., Sinaga, J. F., Pane, R. H. U., Pasaribu, M. U., Ichsan, A. F., & Bemis, R. (2024). Green Synthesis of Fe_3O_4 Nanoparticles Using Pineapple Peel Extract For Adsorption of Rhodamine B. *Akta Kimia Indonesia*, 9(2), 114. <https://doi.org/10.12962/j25493736.v9i2.21671>
- Koksharov, Y. A. (2009). Magnetism of Nanoparticles: Effects of Size, Shape, and Interactions. In *Magnetic Nanoparticles* (pp. 197–254). John Wiley and Sons. <https://doi.org/10.1002/9783527627561.ch6>
- Lagergren, S. (1898). About the Theory of So-Called Adsorption of Soluble Substances, Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens. *Handlingar*, 24, 1.
- Li, Q., Zhai, J., & Wei, M. (2018). Tea waste as a low-cost adsorbent for the removal of dye from aqueous solution. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(4), 5002–5009.
- Liu, J., Yu, Y., Zhu, S., Yang, J., Song, J., Fan, W., Yu, H., Bian, D., & Huo, M. (2018). Synthesis and characterization of a magnetic adsorbent from negatively-valued iron mud for methylene blue adsorption. *PLoS ONE*, 13(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191229>
- Lowell, S., & Joan E. Shields. (1984). *Powder Surface Area and Porosity* (1st ed.). Springer Dordrecht.
- Mahdavi, M., Namvar, F., Ahmad, M. B., & Mohamad, R. (2013). Green biosynthesis and characterization of magnetic iron oxide nanoparticles using seaweed (*Sargassum muticum*) aqueous extract. *Molecules*, 18(5), 5954–5964.
- Mbuyazi, T. B., & Ajibade, P. A. (2024). Photocatalytic Degradation of Organic Dyes by Magnetite Nanoparticles Prepared by Co-Precipitation. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(14). <https://doi.org/10.3390/ijms25147876>
- Mettler Toledo. (2023). *UV Vis Spectroscopy: Essential Knowledge*.
- Microbe Notes. (2023). *UV-Vis Spectroscopy: Principle, Parts, Uses, Limitations*.
- Modi, S., Yadav, V. K., Gacem, A., Ali, I. H., Dave, D., Khan, S. H., Yadav, K. K., Rather, S. U., Ahn, Y., Son, C. T., & Jeon, B. H. (2022). Recent and Emerging Trends in Remediation of Methylene Blue Dye from Wastewater by Using Zinc Oxide Nanoparticles. *Water (Switzerland)*, 14(11). <https://doi.org/10.3390/w14111749>
- Nnadozie, E. C., & Ajibade, P. A. (2020). Green synthesis and characterization of magnetite (Fe_3O_4) nanoparticles using *Chromolaena odorata* root extract for smart nanocomposite. *Materials Letters*, 263. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.127145>

- Nofianti, R., Mashuri, & Darminto. (2007). *Sintesis Nanopartikel Ni 1-x Zn x Fe 2 O 4 dengan Metode Kopresipitasi*.
- Oktaviani Elsafitri, Nasri MZ, & Frastica Deswardani. (2020). Sintesis Dan Karakterisasi *Nanopartikel* Fe₃O₄ (Magnetite) Dari Pasir Besi Sungai Batanghari Jambi Yang Dienkapsulasi Dengan Polyethylene Glycol (Peg-4000). In *Jurnal Pendidikan Fisika Tadulako Online (JPFT)* (Vol. 8). <https://repository.unja.ac.id/16942/1/17099-51598-1-PB.pdf>
- Pasaribu, M. U. (2025). *Pengaruh Variasi Massa Biochar Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Terhadap Karakteristik Nanokomposit Biochar Magnetit Sebagai Adsorpsi Rhodamin B* [Universitas Jambi]. <https://repository.unja.ac.id/repository.unja.ac.id/>
- Pramesti, B. H. (2025). *Sintesis Nanopartikel magnetit (Fe₃O₄) Termodifikasi Ekstrak Ampas Kopi (Coffea canephora P.) Dan Aplikasinya Sebagai Adsorben Zat Warna Methylene Blue Dalam Sistem Multikomponen* [UIN Sunan Kalijaga]. <http://digilib.uin-suka.ac.id/id/eprint/73658>
- Prasetyowati, D., Handayani, R., & Wardani, S. (2021). Sintesis *Nanopartikel* magnetit (Fe₃O₄) dari Besi Sulfat Menggunakan Ekstrak Daun Teh sebagai Bioreduktor. *Jurnal Penelitian Sains*, 18(2), 10–18.
- Rahmayanti, M., Nurul Syakina, A., 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. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2022.139834>
- 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., 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). Study of Adsorption-Desorption on Batik Industrial Dyes (Naphthol Blue Black) on Magnetite Modified Humic Acid (HA-Fe₃O₄). *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 23(7), 244–248. <https://doi.org/10.14710/jksa.23.7.244-248>
- Ramesh, T. N., & Pavagada Sreenivasa, V. (2015). Removal of Indigo Carmine Dye from Aqueous Solution Using Magnesium Hydroxide as an Adsorbent. *Journal of Materials*, 2015, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2015/753057>
- Ranjbar, S., Sumi, S., Tanabe, K., & Awano, H. (2022). Evaluation of multi-bit domain wall motion by low current density to obtain ultrafast data rate in a compensated ferrimagnetic wire. *APL Materials*, 10(9). <https://doi.org/10.1063/5.0086380>
- Rha Hayu, L. D., Nasra, E., Azhar, M., & Etika, S. B. (2021). Adsorpsi Zat Warna Methylene Blue Menggunakan Karbon Aktif dari Kulit Durian (Durio zibethinus Murr.). *Chemistry Journal*, 10. <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/kimia>

- Rosyidah, N. (2016). *Synthesis of Zn_{1-x}Al_xO using coprecipitation method and characterization of electrical properties*.
- Rustamsyah, A., Nuraeni, S., Fadhlillah, F. M., Kusmiyati, M., & Sujana, D. (2022). Review: Studi etnobotani farmakologi dan fitokimia pandanus tectorius di Indonesia. *Jurnal Insan Farmasi Indonesia*, 5(2), 192–202. <https://doi.org/10.36387/jifi.v5i2.1080>
- Sadegh Mazloom, M., Hemmati-Sarapardeh, A., Husein, M. M., Shokrollahzadeh Behbahani, H., & Zendehboudi, S. (2020). Application of nanoparticles for asphaltene adsorption and oxidation: A critical review of challenges and recent progress. *Fuel*, 279. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117763>
- Salleh, M. A. M., Mahmoud, D. K., Karim, W. A. W. A., & Idris, A. (2011). Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: A comprehensive review. *Desalination*, 280(1–3), 1–13.
- Saragi, T., Permana, B., Saputri, M., Safriani, L., Rahayu, I., & Risdiana. (2017). Sintesis Nanopartikel magnetik dengan metode kopresipitasi. *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, 7.
- Sari, P. I., Firdaus, M. L., & Elvia, R. (2017). Pembuatan Nanopartikel perak(NPP)dengan bioreduktor ekstrak buah Muntingia calabura L untuk analisis logam merkuri. *ALOTROP*, 1(1). <https://doi.org/10.33369/atp.v1i1.2708>
- Schiewer, S., & Balaria, A. (2009). Biosorption of Pb²⁺ by Original and Protonated Citrus Peels: Equilibrium, Kinetics, and Mechanism. *Chemical Engineering Journal*, 146, 211–219.
- Setyawati, H., Hadi, M. S., Darmokoesoemo, H., Murwani, I. K., Permana, A. J., & Rochman, F. (2020). Modification of Methyl Orange dye as a light harvester on solar cell. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 456(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/456/1/012010>
- Skoog, D. A., West, B. M., Holler, F. J., & Crouch, S. . (2014). *Fundamental of Analytical Chemistry* (Edisi Kedelapan). Thomson Higher Education.
- Slama, H. Ben, Bouket, A. C., Pourhassan, Z., Alenezi, F. N., Silini, A., Cherif-Silini, H., Oszako, T., Luptakova, L., Golińska, P., & Belbahri, L. (2021). Diversity of synthetic dyes from textile industries, discharge impacts and treatment methods. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(14). <https://doi.org/10.3390/app11146255>
- Smith, B. C. (2013). Second Edition: Fundamentals of Fourier Transform Infrared Spectroscopy. In *Taylor Fr. Group, LLC*.
- Soares, J. C., Soares, A. C., Augusto, P., Pereira, R., Da, V., Rodrigues, C., Shimizu, F. M., Melendez, M. E., Neto, C. S., Carvalho, A. L., Leite, F. L., Machado, S. A. S., & Oliveira, O. N. (n.d.). *Physical Chemistry Chemical Physics Physical Chemistry Chemical Physics Accepted Manuscript 2 Physical Chemistry Chemical Physics Physical Chemistry Chemical Physics Accepted Manuscript*.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.cdc.2023.101003>

- Tran, T. N., Bayer, I. S., Heredia-Guerrero, J. A., Frugone, M., Lagomarsino, M., Maggio, F., & Athanassiou, A. (2017). Cocoa Shell Waste Biofilaments for 3D Printing Applications. *Macromolecular Materials and Engineering*, 302(11). <https://doi.org/10.1002/mame.201700219>
- Utomo, S. B. . dkk. (2012). Kinetics and Equilibrium Model of Pb(II) and Cd(II) Adsorption. *Indonesian Journal of Chemistry*, 12(1), 49–56.
- Utubira, Y., Wijaya, K., Triyono, T., & Sugiharto, E. (2010). Preparation and characterization of TiO₂-zeolite and its application to degrade textile wastewater by photocatalytic method. *Indonesian Journal of Chemistry*, 6, 231–237. <https://doi.org/10.22146/ijc.21724>
- Vafakhah, S., Bahrololoom, M. E., & Saeedikhani, M. (2016). Adsorption Kinetics of Cupric Ions on Mixture of Modified Corn Stalk and Modified Tomato Waste. *Journal of Water Resource and Protection*, 8(13), 1238–1250.
- Virgina Mira, P., & Mahmudin, L. (2018). *Sintesis dan analisis sifat magnetik Nanopartikel magnetit (Fe₃O₄) berbasis pasir besi*. 17(2).
- Wahid, R. (2016). *Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Besi Oksida (Fe₃O₄) Dilapisi dengan Polivinil Alkohol dan Polivinil Alkohol-Glutaraldehyd*. Universitas Brawijaya.
- Widhyastuti, N. (2009). Analisis Struktur Kristal Menggunakan X-Ray Diffraction. *Jurnal Sains Material Indonesia*.
- Youssif, M. M., El-Attar, H. G., Hessel, V., & Wojnicki, M. (2024). Recent Developments in the Adsorption of Heavy Metal Ions from Aqueous Solutions Using Various Nanomaterials. *Materials*, 17(21). <https://doi.org/10.3390/ma17215141>
- Yuliani, H., A., A., Z., I., I., I., & Setiawati, H. (2023). *Equilibrium Model and Adsorption Kinetics of Methylene Blue with Kluwak Shell Carbon*. 800–805. <https://doi.org/10.5220/0010953900003260>
- Yulianti, W., Ayuningtiyas, G., Martini, R., & Resmeiliana, I. (2020). Pengaruh metode ekstraksi dan polaritas pelarut terhadap kadar fenolik total daun kersen (Muntingia calabura L)(Effect of extraction method and solvent polarity on total phenolic content of cherry leaves(Muntingia calabura L)). *Jurnal Sains Terapan*, 10(2), 41–49. <https://doi.org/10.29244/jstsv.10.2.41>
- Zhang, S., Malik, S., Ali, N., Khan, A., Bilal, M., & Rasool, K. (2022). Covalent and Non-covalent Functionalized Nanomaterials for Environmental Restoration. *Topics in Current Chemistry*, 380(5). <https://doi.org/10.1007/s41061-022-00397-3>
- Zilda, M. (2022). *Pemanfaatan arang aktif dari ampas teh dan kulit pisang sebagai adsorben logam berat timbal(Pb)*. UIN Ar-Raniry Aceh.