

**SINTESIS NANOPARTIKEL MAGNETIT (Fe_3O_4)
TERMODIFIKASI EKSTRAK AMPAS KOPI
(*Coffea canephora* P.) DAN APLIKASINYA SEBAGAI
ADSORBEN ZAT WARNA *METYLENE BLUE* DALAM
SISTEM MULTIKOMPONEN**

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



**Oleh:
Binti Handewi Pramesti
21106030062**

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



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-1805/Un.02/DST/PP.00.9/08/2025

Tugas Akhir dengan judul : Sintesis Nanopartikel Magnetit (Fe_3O_4) Termodifikasi Ekstrak Ampas Kopi (*Coffea canephora* P.) dan Aplikasinya sebagai Adsorben Zat Warna Methylene Blue dalam Sistem Multikomponen

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : BINTI HANDEWI PRAMESTI
Nomor Induk Mahasiswa : 21106030062
Telah diujikan pada : Jumat, 01 Agustus 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: 66a3f3a3e9920



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

Valid ID: 66b3c3a3e9920



Penguji II
Endaraji Sedjadi, M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 66b3c3a3e9920



Yogyakarta, 01 Agustus 2025
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Prof. Dr. Dra. Hj. Kharul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 66a3f3a3e9920

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Binti Handewi Pramesti
NIM : 21106030062
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “Sintesis Nanopartikel Magnetit (Fe_3O_4) Termodifikasi Ekstrak Ampas Kopi (*Coffea canephora* P.) 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 sarjana 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, 29 Juli 2025



Binti Handewi Pramesti
21106030062

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA



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 : Binti Handewi Pramesti
NIM : 21106030062
Judul Skripsi : Sintesis Nanopartikel Magnetit (Fe_3O_4) Termodifikasi Ekstrak Ampas Kopi (*Coffea canephora* P.) dan aplikasinya sebagai Adsorben Zat Warna *Methylene Blue* dalam 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, 28 Juli 2025
Pembimbing

Prof. Dr. Maya Rahmayanti, S.Si., M.Si.
NIP: 19810627 200604 2 003

HALAMAN MOTTO

“Jadilah dirimu sendiri, jangan canggung di hadapan dunia.”

- Muhammad Iqbal

مَنْ جَدَّ وَجَدَ

(Barang siapa bersungguh-sungguh, maka ia akan berhasil)

مَنْ صَبَرَ ظَفَرَ

(Barang siapa bersabar, maka ia beruntung)

فَبِأَيِّ آلَاءِ رَبِّ كُفِّرْ بَانَ

(Maka nikmat Tuhanmu yang manakah yang kamu dustakan)

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۖ
إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا

“*Ad Maiora Natus Sum*”

(Kita dilahirkan untuk hal-hal yang besar)

- St. Aloysius Gonzaga

“*Fatum Brutum Amor Fati*”

- Nietzsche

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

*Tugas akhir ini penulis persembahkan untuk diri sendiri, orang tua,
kakak, adik, dan almamater Program Studi Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga
Yogyakarta*



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah swt karena atas rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi tugas akhir yang berjudul “Sintesis Nanopartikel Magnetit (Fe_3O_4) Termodifikasi Ekstrak Ampas Kopi (*Coffea canephora* P.) dan Aplikasinya sebagai Adsorben Zat Warna *Methylene Blue* dalam Sistem Multikomponen” sesuai dengan ketentuan yang disyaratkan.

Skripsi tugas akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan pengambilan mata kuliah tugas akhir guna mencapai Strata-1 Sarjana Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga.
2. Ibu Prof. Dr. Maya Rahmayanti, S.Si., M.Si. selaku Ketua Program Studi Kimia sekaligus Fakultas Sains dan Teknologi sekaligus dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan bimbingan, saran, pengarahan, dan motivasi kepada penulis dalam penulisan skripsi ini.
3. Bapak Karmanto, S.Si., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Akademik.
4. Segenap PLP Laboratorium Kimia Terpadu UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah membantu dalam penyelesaian tanggungan laboratorium.
5. Segenap Pengelola Laboratorium FKIK UMY dan staff laboratorium yang telah berkenan memberikan izin dan membantu selama melakukan praktik penelitian di Lab. Penelitian FKIK UMY.
6. Kedua orang tua (Bapak Sardi dan Ibu Sofiyatun) yang selalu memberikan dukungan, do'a, dan kasih sayang.
7. Kakak-kakak (Binthoif Fathurrohman, Binti Tsulsiyah) dan adik tercinta (Liza Mega Pratiwi) yang selalu memberikan dukungan, do'a, dan kasih sayang.
8. Teman satu bimbingan atas dukungan dan bantuan kepada penulis.
9. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dalam penulisan Laporan Skripsi ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun dari pembaca sangat penulis harapkan.

Yogyakarta, 29 Juli 2025

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGESAHAN.....	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	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
ABSTRACT.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Batasan Masalah.....	5
C. Rumusan Masalah.....	6
D. Tujuan penelitian	7
E. Manfaat Penelitian.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	9
A. Tinjauan Pustaka	9
B. Landasan Teori	14
C. Kerangka Berpikir dan Hipotesis Penelitian.....	33
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	40
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	40
B. Alat dan Bahan Penelitian	40
C. Prosedur Kerja Penelitian	41
D. Teknik Analisis Data	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	48
A. Sintesis MNPs-AK dari Ekstrak Ampas Kopi (<i>Coffea canephora</i> P.).....	49
B. Karakterisasi MNPs-AK.....	52
C. Penentuan Panjang Gelombang dan Kurva Kalibrasi <i>Methylene Blue</i>	59
D. Pengaruh pH <i>Methylene Blue</i> terhadap Adsorpsi Zat Warna <i>Methylene Blue</i> oleh MNPs-AK	60

E. Kinetika Adsorpsi MNPs-AK terhadap Zat Warna <i>Methylene Blue</i>	63
F. Isoterm Adsorpsi MNPs-AK terhadap Zat Warna <i>Methylene Blue</i> Sistem Tunggal	68
G. Isoterm Adsorpsi MNPs-AK terhadap Zat Warna <i>Methylene Blue</i> Sistem Multikomponen.....	74
BAB V PENUTUP	79
A. Kesimpulan	79
B. Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN	93



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Kristal Fe_3O_4	16
Gambar 2.2 Ilustrasi reaksi dan persamaan reaksi berlangsung pada metode kopresipitasi terbalik.....	17
Gambar 2.3 Kandungan dan struktur senyawa metabolit sekunder dalam ampas kopi.....	19
Gambar 2.4 Struktur <i>Methylene Blue</i>	21
Gambar 2.5 Diagram Pourbaix Fe	27
Gambar 4.1 Ilustrasi mekanisme proses sintesis MNPs-AK.....	51
Gambar 4.2 Ilustrasi proses sintesis nanopartikel magnetik dari ekstrak ampas kopi	51
Gambar 4.3 Spektrum FTIR Fe_3O_4 murni, ekstrak ampas kopi, dan MNPs-AK	53
Gambar 4.4 Spektra FTIR MNPs-AK sebelum dan sesudah adsorpsi	55
Gambar 4.5 Difraktogram XRD MNPs-AK.....	57
Gambar 4.6 Grafik kurva standar <i>methylene blue</i>	59
Gambar 4.7 Grafik pengaruh pH terhadap % teradsorpsi zat warna <i>methylene blue</i> oleh MNPs-AK	61
Gambar 4.8 Dugaan mekanisme interaksi yang terjadi antara MNPs-AK dan <i>methylene blue</i>	62
Gambar 4.9 Grafik pengaruh waktu reaksi terhadap konsentrasi <i>methylene blue</i> yang teradsorpsi oleh MNPs-AK.....	65
Gambar 4.10 Kinetika adsorpsi (a) model PFO Lagergen, dan (b) model PSO Ho	66
Gambar 4.11 Grafik pengaruh konsentrasi awal methylene blue terhadap % teradsorpsi zat warna oleh MNPs-AK	69
Gambar 4.12 Model isoterm adsorpsi sistem tunggal (a) model isoterm adsorpsi Langmuir, dan (b) model isoterm adsorpsi Freundlich	71
Gambar 4.13 Grafik pengaruh variasi konsentrasi awal methylene blue terhadap kemampuan adsorpsi MNPs-AK dalam sistem multikomponen	74
Gambar 4.14 Grafik diagram isoterm adsorpsi sistem multikomponen (a) model isoterm adsorpsi Langmuir, dan (b) model isoterm adsorpsi Freundlich.....	76

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data daerah serapan pada spektra FTIR	31
Tabel 4.1 Data ukuran kristal pada beberapa nanopartikel magnetik termodifikasi ekstrak tanaman	58
Tabel 4.2 Perhitungan hasil kinetika adsorpsi model PFO Lagergen dan PSO Ho.....	68
Tabel 4.3 Perhitungan dan perbandingan hasil isoterm adsorpsi <i>methylene blue</i> dalam sistem tunggal dengan model Langmuir dan Freundlich.....	73
Tabel 4.4 Perhitungan isoterm adsorpsi <i>methylene blue</i> dalam sistem multikomponen dengan model Langmuir dan Freundlich..	77

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan ukuran kristal MNPs-AK dengan persamaan <i>Debye-Scherrer</i>	93
Lampiran 2. Penentuan panjang gelombang maksimum dan kurva standar zat warna <i>methylene blue</i>	94
Lampiran 3. Pengaruh pH <i>methylene blue</i> terhadap proses adsorpsi oleh MNPs-AK	96
Lampiran 4. Data perhitungan pengaruh waktu adsorpsi <i>methylene blue</i> oleh MNPs-AK	97
Lampiran 5. Data Isoterm adsorpsi zat warna <i>methylene blue</i> oleh MNPs-AK sistem tunggal	100
Lampiran 6. Data Isoterm adsorpsi zat warna <i>methylene blue</i> oleh MNPs-AK sistem multikomponen	103
Lampiran 7. Dokumentasi Penelitian	107

ABSTRAK

Sintesis Nanopartikel Magnetit (Fe_3O_4) Termodifikasi Ekstrak Ampas Kopi (*Coffea canephora* P.) dan Aplikasinya sebagai Adsorben Zat Warna *Methylene Blue* dalam Sistem Multikomponen

Oleh:

Binti Handewi Pramesti

21106030062

Pembimbing:

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

Studi sintesis nanopartikel magnetit (Fe_3O_4) termodifikasi ekstrak ampas kopi (*coffea canephora* P.) sebagai adsorben zat warna *methylene blue* dalam sistem multikomponen telah dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari karakteristik gugus fungsi dan kristalinitas MNPs-AK berdasarkan spektrofotometri FTIR dan XRD, menganalisis pengaruh pH dan waktu optimum adsorpsi zat warna *methylene blue* oleh nanopartikel magnetik dari ampas kopi (*Coffea canephora* P.) pada proses adsorpsi sistem tunggal, studi kinetika adsorpsi dan isoterm adsorpsi MNPs-AK terhadap zat warna *methylene blue* dalam sistem tunggal dan sistem multikomponen. Nanopartikel magnetik dari ekstrak ampas kopi disintesis menggunakan metode kopresipitasi terbalik melalui reaksi $\text{Fe}^{3+}/\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{Fe}^{2+}/\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dengan penambahan ekstrak ampas kopi (*Coffea canephora* P.) dan NaOH.

Karakteristik MNPs-AK dipelajari dengan menggunakan instrument FTIR dan XRD. Kondisi adsorpsi optimum diperoleh berdasarkan interaksi antara MNPs-AK dengan beberapa variasi pH, waktu, dan konsentrasi. Proses adsorpsi dipelajari melalui model kinetika orde satu (PFO), model kinetika orde dua satu (PSO), model isoterm adsorpsi Langmuir, dan model isotherm adsorpsi Freundlich.

Nanopartikel magnetik MNPs-AK pada penelitian ini berhasil disintesis, 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 3,32 nm berdasarkan instrument XRD. Kondisi pH dan waktu optimum adsorpsi *methylene blue* oleh MNPs-AK berturut-turut, yaitu berada pada pH 6 dan waktu interaksi 30 menit. Sementara itu, konsentrasi zat warna *methylene blue*

dilakukan pada 15 mg/L. Adsorpsi *methylene blue* oleh MNPs-AK mengikuti model kinetika adsorpsi orde dua semu (PSO) dan model isotherm adsorpsi Freundlich, baik sistem tunggal maupun sistem multikomponen. Hasil penelitian menunjukkan potensi MNPs-AK sebagai adsorben zat warna *methylene blue*.

Kata kunci: *nanopartikel magnetik; adsorpsi; dan methylene blue*



ABSTRACT

Synthesis of Magnetite nanoparticles (Fe_3O_4) Modified by Coffee Grounds Extract (*coffea canephora* P.) and its Application as an Adsorbent for Methylene Blue Dye in Multicomponent Systems

By:

Binti Handewi Pramesti

21106030062

Adviser:

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

The study of synthesized magnetite nanoparticles (Fe_3O_4) modified with coffee grounds extract (*coffea canephora* P.) as an adsorbent for methylene blue dye in a multi-component system has been conducted. The purpose of this research is to study the characteristics of functional groups and crystallinity of MNPs-AK based on FTIR and XRD spectrophotometry, analyze the effect of pH and optimum adsorption time of methylene blue dye by magnetic nanoparticles from coffee grounds (*coffea canephora* P.) in a single system adsorption process, study the adsorption kinetics and adsorption isotherms of MNPs-AK towards methylene blue dye in single and multi-component systems. The magnetic nanoparticles from coffee grounds extract were synthesized using a reverse coprecipitation method through the reaction of $\text{Fe}^{3+}/\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{Fe}^{2+}/\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ with the addition of coffee grounds extract (*coffea canephora* P.) and NaOH.

The characteristics of MNPs-AK were studied using FTIR and XRD instruments. Optimum adsorption conditions were obtained based on the interaction between MNPs-AK with several variations of pH, time, and concentration. The adsorption process was studied through pseudo-first-order (PFO) kinetics model, pseudo-second-order (PSO) kinetics model, Langmuir adsorption isotherm model, and Freundlich adsorption isotherm model.

The magnetic nanoparticles MNPs-AK in this study were successfully synthesized, as indicated by the presence of magnetite Fe_3O_4 core bonds at wavenumber $439,77 \text{ cm}^{-1}$ dan $578,64 \text{ cm}^{-1}$ based on FTIR spectrophotometer and a crystal size of $3,32 \text{ nm}$ based on XRD instrument. The optimum pH and time for methylene blue adsorption by MNPs-AK were pH 6 and interaction time 30 minutes, respectively. Meanwhile, the concentration of methylene blue dye was conducted at

15 mg/L. The adsorption of methylene blue by MNPs-AK follows the pseudo-second-order (PSO) kinetics model and the isotherm Freundlich adsorption model, both in single system and multi-component system. The results of the research show the potential of MNPs-AK as an adsorbent for methylene blue dye.

Keywords: magnetic nanoparticles; adsorption; and methylene blue.



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pencemaran air di Indonesia telah menjadi permasalahan lingkungan yang sangat krusial. Industri tekstil termasuk salah satu industri yang menyumbang kontribusi signifikan terhadap pencemaran air. Pencemaran air akibat aktivitas industri tekstil disebabkan oleh penggunaan bahan kimia, seperti zat warna sintesis selama proses produksinya. Seiring peningkatan kebutuhan masyarakat akan fashion, zat warna sintesis yang dibuang ke badan air sebagai air limbah mengalami peningkatan (Chakraborty et al., 2005). Penggunaan zat warna sintesis yang berlebihan akan berbanding lurus dengan limbah zat warna yang dihasilkan (Syakina & Rahmayanti, 2023). Padahal, zat warna sintesis termasuk bahan kimia yang mengandung senyawa kompleks dengan gugus heterosiklik aromatik kation (Khan et al., 2022). Struktur kompleks senyawa menyebabkan zat warna sintesis sulit untuk dapat terdegradasi (Rehman et al., 2024). Selain itu, air limbah yang mengandung zat warna sintesis akan bersifat karsinogenik dan beracun, sehingga air akan tercemar dan tidak layak untuk dikonsumsi manusia (Khan et al., 2022).

Salah satu zat warna yang paling banyak digunakan dalam industri tekstil adalah *methylene blue* (Allouche & Yassaa, 2018). *Methylene blue* adalah pewarna tiazin dengan rumus molekul $C_{16}H_{18}ClN_3S$ dan berat molekul $319,85 \text{ g mol}^{-1}$. Zat warna dasar heterosiklik aromatik kation dengan struktur molekul bermuatan positif (Khan et al., 2022). *Methylene blue* berperan penting dalam proses

pewarnaan pada proses produksi sutra, kapas, dan wol (Malarvizhi et al., 2024). *Methylene blue* sendiri banyak digunakan untuk pewarnaan karena keunggulan warnanya yang lebih tajam, cerah, dan tahan lama (Rahmayanti, et al., 2022). Namun, pada proses pewarnaannya, hanya sekitar 45% zat warna yang menempel pada kain. Sisa pewarna dan pigmen hasil pembuatan zat warna dan proses pencelupan tekstil di buang ke lingkungan (Nitayaphat et al., 2015). Air limbah yang mengandung *methylene blue* akan sulit terbiodegradasi dan sangat mudah larut dalam air (Syakina & Rahmayanti, 2023). Oleh karena itu, diperlukan pengolahan lebih lanjut air limbah yang tercemar zat warna *methylene blue* sebelum dibuang ke badan air.

Penelitian dan metode pengolahan zat warna untuk mengatasi pencemaran akibat zat warna sintesis telah banyak dilakukan, seperti metode ozonisasi, koagulasi, fotokatalisis, oksidasi, dan adsorpsi (Karthikeyan et al., 2012). Namun, metode-metode tersebut masih terdapat kekurangan. Metode ozonisasi kurang cocok diterapkan dalam industri tekstil karena membutuhkan biaya yang tinggi. Metode koagulasi juga mampu menghasilkan polutan sekunder, sehingga menimbulkan masalah baru berupa lumpur dalam jumlah yang relatif banyak (Rahmayanti, et al., 2022). Sementara itu, metode adsorpsi termasuk salah satu metode efektif yang telah berhasil digunakan untuk menghilangkan pewarna dari air limbah (Nitayaphat et al., 2015). Metode adsorpsi lebih sesuai untuk mengolah limbah zat warna karena prosesnya cepat dan dapat diterapkan dengan peralatan sederhana di industri tekstil (Rahmayanti et al., 2022).

Beberapa penelitian mengenai metode adsorpsi telah banyak dilakukan, salah satunya metode adsorpsi dengan adsorben magnetik. Keunggulan adsorben magnetik adalah mampu memisahkan antara adsorben pasca-adsorpsi dan filtrat menggunakan medan magnet eksternal. Pemisahan dengan medan magnet eksternal mampu meminimalkan penggunaan kertas saring dan menghemat waktu pemisahan (Rahmayanti et al., 2020). Salah satu adsorben magnetik yang biasa digunakan adalah karbon aktif. Akan tetapi, penggunaan karbon aktif sebagai adsorben membutuhkan biaya pengoperasian yang tinggi dan terdapat masalah regenerasi yang menghambat proses aplikasinya dalam skala besar. Oleh karena itu, dibutuhkan alternatif baru adsorben magnetik yang lebih stabil, murah, dan mudah disintesis.

Magnetit (Fe_3O_4) merupakan salah satu material magnetik yang lebih stabil dibandingkan magnetit yang lain, serta memiliki sifat paramagnetik yang baik (Akbarzadeh et al., 2012). Hal itu menjadikan keunggulan bagi magnetit (Fe_3O_4) sebagai adsorben untuk dapat mudah diregenerasi. Pada penerapannya, magnetit (Fe_3O_4) banyak diteliti dalam ukuran nanopartikel. Nanopartikel merupakan submikron berukuran 1-100 nm yang terbentuk dari bahan anorganik atau organik (Majidi et al., 2016). Nanopartikel sebagai adsorben biasanya mampu bekerja optimal pada kisaran ukuran 10-20 nm, tetapi bergantung pada ukuran batas kritis bahan material yang digunakan untuk dapat membentuk domain magnetik tunggal yang bersifat superparamagnetik (Lu et al., 2007). Nanopartikel dengan momen magnetik konstan yang besar dapat mengendalikan penggumpalan partikel selama sintesis pada suhu kamar (Lu et al., 2007). Keuntungan lain proses adsorpsi dengan

adsorben magnetit nanopartikel adalah lebih mudah dan cepat dilakukan dengan bantuan medan magnet eksternal. Biaya operasional yang dibutuhkan lebih rendah karena tidak memerlukan kertas saring untuk memisahkan adsorben dan filtrat (Rahmayanti, et al., 2022). Penelitian terbaru telah menunjukkan keberhasilan sintesis nanopartikel dengan magnetit (Fe_3O_4) menggunakan ekstrak tanaman. Ekstrak tanaman mengandung senyawa metabolit sekunder dan bersifat hidrofobik, sehingga mampu mengontrol pertumbuhan dan mencegah penggumpalan partikel selama proses sintesis (Syakina & Rahmayanti, 2023). Selain ekstrak tanaman, biomassa dari limbah pertanian seperti ampas kopi dapat dijadikan alternatif sebagai adsorben limbah zat warna.

Kopi termasuk salah satu jenis minuman yang paling populer di seluruh kalangan. Seiring dengan permintaan yang besar, maka jumlah residu/ampas kopi yang dibuang dari produksi minuman juga meningkat. Sebagian besar residu kopi tersebut hanya dibakar sebagai limbah, sehingga menghasilkan produksi karbon dioksida berlebihan dan menimbulkan gas rumah kaca (Benincá et al., 2023). Adapun ampas kopi mengandung pula senyawa metabolit sekunder yaitu senyawa fenolik, seperti flavonoid, flavanol, dan tannin (Mostafa, 2024). Senyawa metabolit sekunder dalam ampas kopi dan air berperan sebagai agen pereduksi dan *capping agent* untuk mensintesis magnetit Fe_3O_4 . Senyawa fenolik tersebut juga bersifat hidrofobik, sehingga mampu menghalangi gugus sterik yang memungkinkan untuk mengontrol pertumbuhan partikel dan mencegah aglomerasi selama sintesis Fe_3O_4 (Rahmayanti, et al., 2022). Penelitian dari Abdurahman et al., (2023)

telah menunjukkan keberhasilan ampas kopi pada dosis tertentu adsorben magnetit Fe_3O_4 dapat menghilangkan xenobiotik zat warna sintesis hingga mencapai maksimal 100%. Namun, pada penelitian tersebut hanya melaporkan studi kinetika dan model isoterm adsorpsi melalui sistem tunggal. Sementara itu, penerapannya dalam dunia industri, limbah zat warna tidak hanya mengandung satu jenis zat warna saja. Maka dari itu, perlu dikaji lebih lanjut performa adsorben Fe_3O_4 -AK (ampas kopi) dalam sistem multikomponen, yang melibatkan dua jenis zat warna. Penelitian ini dilakukan dalam sistem multikomponen dengan simulasi limbah yang mengandung *methylene blue* dan *congo red*. Penelitian ini juga akan mempelajari lebih lanjut mengenai model kinetika dan isoterm adsorpsi zat warna *methylene blue* menggunakan ampas kopi (*Coffea canephora* P.) dalam sistem tunggal dan sistem multikomponen, serta kondisi pH dan waktu optimum adsorpsi zat warna *methylene blue* tersebut.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Limbah atau ampas kopi yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari ampas kopi rumah tangga.
2. Metode yang digunakan dalam sintesis MNPs-AK pada penelitian ini adalah metode kopresipitasi terbalik.
3. Zat warna yang digunakan dalam penelitian ini berfokus pada zat warna *methylene blue*, dan penerapan dalam sistem multikomponen menggunakan zat warna *methylene blue* dan *congo red*.

4. Dilakukan karakterisasi terlebih dahulu dan analisis gugus fungsi nanopartikel dari ampas kopi menggunakan spektrofotometer *fourier transform infrared spectroscopy* (FTIR) dan analisis kristalinitas serta ukuran kristal dilakukan dengan menggunakan *x-ray diffractometry* (XRD).
5. Studi mengenai pH optimum adsorpsi zat warna *methylene blue* pada MNPs-AK dipelajari pada pH 2, 4, 6, 8, dan 10.
6. Studi mengenai waktu optimum dengan model kinetika adsorpsi *pseudo first-order* (PFO) Lagergen dan *pseudo second-order* (PSO) Ho dilakukan variasi waktu 1, 5, 15, 30, 60, 90, 120, dan 150 menit
7. Studi isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich dilakukan pada variasi konsentrasi 5, 10, 15, 20, dan 25 mg/L *methylene blue*.

C. Rumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana proses terjadinya sintesis nanopartikel magnetit menggunakan ekstrak ampas kopi dengan metode kopresipitasi terbalik?
2. Bagaimana karakteristik gugus fungsi dan ukuran kristal nanopartikel magnetik yang disintesis dari ampas kopi (*Coffea canephora* P.) berdasarkan instrumen spektrofotometer FTIR dan XRD?
3. Bagaimana kondisi pH optimum adsorpsi zat warna *methylene blue* pada nanopartikel magnetik dari ampas kopi (*Coffea canephora* P.) dalam sistem tunggal?

4. Bagaimana kondisi waktu optimum dan kinetika adsorpsi zat warna *methylene blue* oleh nanopartikel magnetik dari ampas kopi (*Coffea canephora* P.) dalam sistem tunggal?
5. Bagaimana model isoterm adsorpsi zat warna *methylene blue* pada nanopartikel magnetik dari ampas kopi (*Coffea canephora* P.) dalam sistem tunggal dan sistem multikomponen?

D. Tujuan penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mensintesis nanopartikel magnetit termodifikasi ekstrak ampas kopi dengan metode kopresipitasi terbalik.
2. Menganalisis karakteristik gugus fungsi dan ukuran kristal nanopartikel magnetik yang disintesis dari ekstrak ampas kopi (*Coffea canephora* P.) berdasarkan instrument spektrofotometer FTIR dan XRD.
3. Menganalisis kondisi pH dan waktu optimum adsorpsi zat warna *methylene blue* pada nanopartikel magnetik dari ampas kopi (*Coffea canephora* P.) dalam sistem tunggal.
4. Menganalisis konstanta laju reaksi adsorpsi zat warna *methylene blue* oleh nanopartikel magnetik dari ampas kopi (*Coffea canephora* P.) dalam sistem tunggal melalui model kinetika adsorpsi PFO Lagergen dan PSO Ho.
5. Menganalisis keseimbangan adsorpsi zat warna *methylene blue* oleh nanopartikel magnetik dari ampas kopi (*Coffea canephora* P.) dalam sistem tunggal dan sistem multikomponen untuk memperoleh kapasitas adsorpsi dan energi adsorpsi melalui model isoterm adsorpsi.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi kepada pembaca mengenai sintesis magnetik nanopartikel dari ampas kopi (*Coffea canephora* P.) sebagai alternatif adsorben ramah lingkungan, serta dapat membantu mengatasi pencemaran air yang disebabkan oleh zat warna sintetis.
2. Memberikan edukasi terkait pemanfaatan ampas kopi sebagai adsorben untuk zat warna sintesis, khususnya *methylene blue*.

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sintesis MNPs-AK dengan metode kopresipitasi terbalik telah berhasil dilakukan yang ditunjukkan dengan MNPs-AK yang dapat ditarik oleh medan magnet eksternal dan pH kondisi sintesis adalah pH 11.
2. Karakterisasi gugus fungsi pada MNPs-AK menggunakan spektrofotometer FTIR menunjukkan adanya pita serapan khas inti magnet dan senyawa ekstrak ampas kopi pada bilangan gelombang 439,77 ; 578,64; 1071,78; 1380,63; 1638,42; dan 3316,94 cm^{-1} . Karakterisasi ukuran kristal pada MNPs-AK hasil sintesis menggunakan spektrofotometer XRD menunjukkan bidang indeks Fe_3O_4 sesuai JCPDS No. 19-0629 pada indeks miller (220), (311), (400), (511), dan (440) secara berurutan dengan rata-rata ukuran kristal MNPs-AK yakni 3,32 nm.
3. Pengaruh parameter pH zat warna *methylene blue* terhadap kemampuan adsorpsi oleh MNPs-AK diperoleh hasil optimum pada pH 6 dengan % teradsorpsi 87,92%.
4. Kinetika adsorpsi *methylene blue* dalam sistem tunggal oleh MNPs-AK berdasarkan variasi waktu reaksi mengikuti model kinetika adsorpsi orde dua semu (PSO) Ho dengan konstanta laju reaksi adsorpsi yaitu 0,0025 menit^{-1} yang menggambarkan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kesetimbangan adsorpsi.

5. Studi isoterm adsorpsi zat warna *methylene blue* oleh MNPs-AK berdasarkan variasi konsentrasi tunggal dalam sistem multikomponen mengikuti model isoterm adsorpsi Freundlich dengan kapasitas adsorpsi masing-masing sebesar 0,3654 mol/g dan 0,3283 mol/g.

B. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Melakukan variasi perhitungan seduhan kopi sebelum ampas kopi akan disintesis untuk mengetahui pengaruh kandungan metabolit sekunder terhadap % teradsorpsi zat warna oleh nanopartikel magnetik yang terbentuk.
2. Melakukan optimasi massa atau dosis adsorben terhadap adsorpsi zat warna *methylene blue* untuk mengetahui pengaruh massa adsorben terhadap proses adsorpsi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulwahab, Y., Ahmad, A., Wahid, I., Taba, P., & Karim, H. (2023). GREEN SYNTHESIS OF COPPER NANOPARTICLES MEDIATED FROM Coffee arabica SEEDS EXTRACT. *Rasayan Journal of Chemistry*, 16(3), 1217–1228. <https://doi.org/10.31788/RJC.2023.1638417>
- Khan, I., Saeed, K., Zekker, I., Zhang, B., Hendi, A. H., Ahmad, A., Ahmad, S., Zada, N., Ahmad, H., Shah, L. A., Shah, T., & Khan, I. (2022). Review on Methylene Blue: Its Properties, Uses, Toxicity and Photodegradation. In *Water (Switzerland)* (Vol. 14, Issue 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/w14020242>
- Krishna Murthy, T. P., Gowrishankar, B. S., Krishna, R. H., Chandraprabha, M. N., & Mathew, B. B. (2020). Magnetic modification of coffee husk hydrochar for adsorptive removal of methylene blue: Isotherms, kinetics and thermodynamic studies. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 2, 205–212. <https://doi.org/10.1016/j.enceco.2020.10.002>
- Mahdi, K. (2025). Study of adsorption of methylene blue onto coffee ground. May, 0–11. <https://doi.org/10.23649/jae.201>
- Pedefferri (Deceased), P. (2018). Pourbaix Diagrams. *Engineering Materials*, 57–72. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97625-9_4
- 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>
- 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>
- Reknosari, E., Wirawan, T., & Koesnarpadi, S. (2021). AMPAS KOPI PHENOL ADSORPTION USING COMPOSITE ADSORBENT Fe₃O₄ -ACTIVATED. 82–89.
- 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>
- Talbot, D., Queiros Campos, J., Checa-Fernandez, B. L., Marins, J. A., Lomenech, C., Hurel, C., Godeau, G. D., Raboisson-Michel, M., Verger-Dubois, G., Obeid, L., Kuzhir, P., & Bee, A. (2021). Adsorption of Organic Dyes on Magnetic Iron Oxide

- Nanoparticles. Part I: Mechanisms and Adsorption-Induced Nanoparticle Agglomeration. *ACS Omega*, 6(29), 19086–19098. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c02401>
- Abdulwahab, Y., Ahmad, A., Wahid, I., Taba, P., & Karim, H. (2023). GREEN SYNTHESIS OF COPPER NANOPARTICLES MEDIATED FROM Coffee arabica SEEDS EXTRACT. *Rasayan Journal of Chemistry*, 16(3), 1217–1228. <https://doi.org/10.31788/RJC.2023.1638417>
- Khan, I., Saeed, K., Zekker, I., Zhang, B., Hendi, A. H., Ahmad, A., Ahmad, S., Zada, N., Ahmad, H., Shah, L. A., Shah, T., & Khan, I. (2022). Review on Methylene Blue: Its Properties, Uses, Toxicity and Photodegradation. In *Water (Switzerland)* (Vol. 14, Issue 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/w14020242>
- Krishna Murthy, T. P., Gowrishankar, B. S., Krishna, R. H., Chandrababha, M. N., & Mathew, B. B. (2020). Magnetic modification of coffee husk hydrochar for adsorptive removal of methylene blue: Isotherms, kinetics and thermodynamic studies. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 2, 205–212. <https://doi.org/10.1016/j.enceco.2020.10.002>
- Mahdi, K. (2025). Study of adsorption of methylene blue onto coffee ground. May, 0–11. <https://doi.org/10.23649/jae.201>
- Pedferri (Deceased), P. (2018). Pourbaix Diagrams. *Engineering Materials*, 57–72. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97625-9_4
- 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>
- 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>
- Reknosari, E., Wirawan, T., & Koesnarpadi, S. (2021). AMPAS KOPI PHENOL ADSORPTION USING COMPOSITE ADSORBENT Fe₃O₄-ACTIVATED. 82–89.
- 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>
- Talbot, D., Queiros Campos, J., Checa-Fernandez, B. L., Marins, J. A., Lomenech, C., Hurel, C., Godeau, G. D., Raboisson-Michel, M.,

- Verger-Dubois, G., Obeid, L., Kuzhir, P., & Bee, A. (2021). Adsorption of Organic Dyes on Magnetic Iron Oxide Nanoparticles. Part I: Mechanisms and Adsorption-Induced Nanoparticle Agglomeration. *ACS Omega*, 6(29), 19086–19098. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c02401>
- Abdurahman, Y., Bekana, D., Temesgen, A., Bussa, N., Aschale, M., Teju, E., & Amde, M. (2023). MAGNETIC COFFEE RESIDUE BIOSORBENT FOR SELECTIVE EXTRACTION OF ZINC OXIDE NANOPARTICLES IN WATER SAMPLES. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, 37(4), 859–873. <https://doi.org/10.4314/bcse.v37i4.5>
- Akbarzadeh, A., Samiei, M., & Davaran, S. (2012). Magnetic nanoparticles: Preparation, physical properties, and applications in biomedicine. *Nanoscale Research Letters*, 7. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-7-144>
- Alfarisa, S., Rifai, D. A., & Toruan, P. L. (2018). Studi Difraksi Sinar-X Struktur Nano Seng Oksida (ZnO). *Risalah Fisika*, 2(2), 53–57. <https://doi.org/10.35895/rf.v2i2.114>
- Allouche, F. N., & Yassaa, N. (2018). Potential adsorption of methylene blue from aqueous solution using green macroalgae *Posidonia oceanica*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 323(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/323/1/012006>
- Benincá, D. B., do Carmo, L. B., Grancieri, M., Aguiar, L. L., Lima Filho, T., Costa, A. G. V., Oliveira, D. da S., Saraiva, S. H., & Silva, P. I. (2023). Incorporation of spent coffee grounds in

- muffins: A promising industrial application. *Food Chemistry Advances*, 3. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100329>
- Berthomieu, C., & Hienerwadel, R. (2009). Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. In *Photosynthesis Research* (Vol. 101, Issues 2–3, pp. 157–170). <https://doi.org/10.1007/s11120-009-9439-x>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ceja.2023.100536>
- Chakraborty, S., De, S., DasGupta, S., & Basu, J. K. (2005). Adsorption study for the removal of a basic dye: Experimental and modeling. *Chemosphere*, 58(8), 1079–1086. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.09.066>
- Gawande, S. M., Belwalkar, N. S., & Mane, A. A. (2017). Adsorption and its Isoterm – Theory. *International Journal of Engineering Research*, 6(6), 312. <https://doi.org/10.5958/2319-6890.2017.00026.5>
- Gómez, V., Larrechi, M. S., & Callao, M. P. (2007). Kinetic and adsorption study of acid dye removal using activated carbon. *Chemosphere*, 69(7), 1151–1158. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.03.076>
- Hu, Q. H., Qiao, S. Z., Haghseresht, F., Wilson, M. A., & Lu, G. Q. (2006). Adsorption study for removal of basic red dye using bentonite. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 45(2), 733–738. <https://doi.org/10.1021/ie050889y>

- Karthikeyan, S., Gupta, V. K., Boopathy, R., Titus, A., & Sekaran, G. (2012). A new approach for the degradation of high concentration of aromatic amine by heterocatalytic Fenton oxidation: Kinetic and spectroscopic studies. *Journal of Molecular Liquids*, 173, 153–163. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2012.06.022>
- Khan, I., Saeed, K., Zekker, I., Zhang, B., Hendi, A. H., Ahmad, A., Ahmad, S., Zada, N., Ahmad, H., Shah, L. A., Shah, T., & Khan, I. (2022). Review on Methylene Blue: Its Properties, Uses, Toxicity and Photodegradation. In *Water (Switzerland)* (Vol. 14, Issue 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/w14020242>
- Kumar, N. S., & Min, K. (2011). Phenolic compounds biosorption onto *Schizophyllum commune* fungus: FTIR analysis, kinetics and adsorption isotherms modeling. *Chemical Engineering Journal*, 168(2), 562–571. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.01.023>
- Lu, A. H., Salabas, E. L., & Schüth, F. (2007). Magnetic nanoparticles: Synthesis, protection, functionalization, and application. In *Angewandte Chemie - International Edition* (Vol. 46, Issue 8, pp. 1222–1244). <https://doi.org/10.1002/anie.200602866>
- López, L., Ramirez, A. P., Giraldo, S., Flórez, E., & Acelas, N. Y. (2019). Removal of dyes from aqueous solutions by adsorbent prepared from coffee residues. *Journal of Physics: Conference Series*, 1386(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1386/1/012035>
- Mahdi, K. (2025). *Study of adsorption of methylene blue onto coffee ground*. May, 0–11. <https://doi.org/10.23649/jae.201>

- Majidi, S., Sehrig, F. Z., Farkhani, S. M., Goloujeh, M. S., & Akbarzadeh, A. (2016). Current methods for synthesis of magnetic nanoparticles. In *Artificial Cells, Nanomedicine and Biotechnology* (Vol. 44, Issue 2, pp. 722–734). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.3109/21691401.2014.982802>
- Malarvizhi, T., Muthukumaran, K., & Thamarai, P. (2024). A green solution for eliminating methylene blue and crystal violet dyes using eco-friendly zinc oxide nanoparticles synthesized from *Dracaena trifasciata*. *Desalination and Water Treatment*, 320. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100699>
- Mostafa, H. S. (2024). Valorization of faba bean peels for fungal tannase production and its application in coffee tannin removal. *Food Chemistry: X*, 23. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101678>
- Mussatto, S. I., Machado, E. M. S., Martins, S., & Teixeira, J. A. (2011). Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues. In *Food and Bioprocess Technology* (Vol. 4, Issue 5, pp. 661–672). <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0565-z>
- Nascimento, N. N. R. do, Silva, A. L. M. da T., Silva, W. L., & Rodrigues, M. G. F. (2024). Valorization of coffee agro-industrial residue for biochar production: use as adsorbent for methylene blue removal. *Desalination and Water Treatment*, 100767. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100767>
- Nasution, N., Aida Fitri, dan, & Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sumatera Utara Medan, P. (2018). *SINTESIS NANOPARTIKEL TiO₂ FASA RUTILE DENGAN METODE KOPRESIPITASI*. 2(2), 18–25.

- Nitayaphat, W., Jintakosol, T., Engkaseth, K., & Wanrakakit, Y. (2015). Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution by Coffee Residues. In *Chiang Mai J. Sci* (Vol. 42, Issue 2). <https://epg.science.cmu.ac.th/ejournal/>
- Petcharoen, K., & Sirivat, A. (2012). Synthesis and characterization of magnetite nanoparticles via the chemical co-precipitation method. *Materials Science and Engineering: B*, 177(5), 421–427. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2012.01.003>
- Prabawati, S. Y., Widiakongko, P. D., & Taqwim, M. A. (2023). Activated Charcoal from Coffea canephora P. Waste as an Alternative Biosorbent of Cu(II) and Ag(I). *Indonesian Journal of Chemistry*, 23(4), 1120–1128. <https://doi.org/10.22146/ijc.83269>
- 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., 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., 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, 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>
- Reknosari, E., Wirawan, T., & Koesnarpadi, S. (2021). AMPAS KOPI PHENOL ADSORPTION USING COMPOSITE ADSORBENT Fe₃O₄-ACTIVATED. 82–89.

- Sagadevan, S., Chowdhury, Z. Z., & Rafique, R. F. (2018). Preparation and characterization of nickel ferrite nanoparticles via co-precipitation method. *Materials Research*, 21(2). <https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2016-0533>
- Schmitt, J., & Flemming, H.-C. (1998). FTIR-spectroscopy in microbial and material analysis. In *INTERNATIONAL BIODETERIORATION & BIODEGRADATION* (Vol. 41).
- Shard, A. G., Schofield, R. C., & Minelli, C. (2019). Ultraviolet-visible spectrophotometry. In *Characterization of Nanoparticles: Measurement Processes for Nanoparticles* (pp. 185–196). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814182-3.00012-2>
- Sharma, H. (2020). A Detail Chemistry of Coffee and Its Analysis. In *Coffee - Production and Research*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.91725>
- Skorupa, A., Worwąg, M., & Kowalczyk, M. (2023). Coffee Industry and Ways of Using By-Products as Bioadsorbents for Removal of Pollutants. In *Water (Switzerland)* (Vol. 15, Issue 1). MDPI. <https://doi.org/10.3390/w15010112>
- 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>
- 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>

Talbot, D., Queiros Campos, J., Checa-Fernandez, B. L., Marins, J. A., Lomenech, C., Hurel, C., Godeau, G. D., Raboisson-Michel, M., Verger-Dubois, G., Obeid, L., Kuzhir, P., & Bee, A. (2021). Adsorption of Organic Dyes on Magnetic Iron Oxide Nanoparticles. Part I: Mechanisms and Adsorption-Induced Nanoparticle Agglomeration. *ACS Omega*, 6(29), 19086–19098. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c02401>

Umh, H. N., & Kim, Y. (2014). Sensitivity of nanoparticles' stability at the point of zero charge (PZC). *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(5), 3175–3178. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.11.062>

