

**SINTESIS NANOPARTIKEL MAGNETIK
DARI EKSTRAK KULIT PETAI (*Parkia speciosa Hassk.*)
DAN APLIKASINYA SEBAGAI ADSORBEN
ZAT WARNA METIL VIOLET**

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



Oleh:

Annisa Nurul Syakina

18106030017

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

**PRODI STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2022**



PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1733/Un.02/DST/PP.00.9/08/2022

Tugas Akhir dengan judul : SINTESIS NANOPARTIKEL MAGNETIK DARI EKSTRAK
KULIT PETAI (*Parkia speciosa* Hassk.) DAN APLIKASINYA
SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA METIL VIOLET

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : ANNISA NURUL SYAKINA
Nomor Induk Mahasiswa : 18106030017
Telah diujikan pada : Selasa, 19 Juli 2022
Nilai ujian Tugas Akhir : A

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

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

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

Valid ID: 62f5f19fea127



Penguji I

Dr. Susy Yunita Prabawati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 62ecbfae81775



Penguji II

Endaruji Sedyadi, M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 62f082f0bb4d7



Yogyakarta, 19 Juli 2022
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 62f62c56b131c

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Annisa Nurul Syakina

NIM : 18106030017

Jurusan : Kimia

Fakultas : Sains dan Teknologi

menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 10 Agustus 2022



Annisa Nurul Syakina
18106030017

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal :
Lamp :

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga
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 : Annisa Nurul Syakina
NIM : 18106030017
Judul Skripsi : SINTESIS NANOPARTIKEL MAGNETIK DARI EKSTRAK KULIT PETAI (*Parkia speciosa Hassk.*) DAN APLIKASINYA SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA METIL VIOLET

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

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

Wassalamu 'alaikum wr.wb.

Yogyakarta, 30 Juni 2022

Pembimbing

Dr. Maya Rahmayanti, M. Si.

NIP. 19810627 200604 2 003



HALAMAN NOTA DINAS KONSULTAN

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 : Annisa Nurul Syakina
NIM : 18106030017
Judul Skripsi : SINTESIS NANOPARTIKEL MAGNETIK DARI EKSTRAK KULIT PETAI (*Parkia speciosa Hassk.*) DAN APLIKASINYA SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA METIL VIOLET

sudah benar dan sesuai ketentuan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Kimia.

Demikian kami sampaikan. Atas perhatiannya, kami ucapkan terimakasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 30 Juli 2022

Konsultan

Dr. Susy Yunita Prabawati, M. Si.
NIP. 19760621 199903 2 005



HALAMAN NOTA DINAS KONSULTAN

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 : Annisa Nurul Syakina
NIM : 18106030017
Judul Skripsi : SINTESIS NANOPARTIKEL MAGNETIK DARI EKSTRAK KULIT PETAI (*Parkia speciosa Hassk.*) DAN APLIKASINYA SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA METIL VIOLET

sudah benar dan sesuai ketentuan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Kimia.

Demikian kami sampaikan. Atas perhatiannya, kami ucapkan terimakasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 10 Agustus 2022
Konsultan



Endaruji Sedyadi, M. Sc.
NIP. 19820205 201503 1 003

ABSTRAK
SINTESIS NANOPARTIKEL MAGNETIK
DARI EKSTRAK KULIT PETAI (*Parkia speciosa Hassk.*)
DAN APLIKASINYA SEBAGAI ADSORBEN
ZAT WARNA METIL VIOLET

Oleh:

Annisa Nurul Syakina
18106030017

Pembimbing:

Dr. Maya Rahmayanti, M.Si.

Studi sintesis nanopartikel magnetik dari ekstrak kulit petai (MNPs-PT) dan aplikasinya terhadap adsorpsi zat warna telah dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengkarakterisasi MNPs-PT berdasarkan instrumen FTIR dan XRD, menganalisis pengaruh pH zat warna metil violet terhadap ikatan yang terjadi antara metil violet dengan MNPs-PT pada proses adsorpsi, studi kinetika dan isoterm adsorpsi MNPs-PT terhadap zat warna metil violet. Nanopartikel magnetik dari ekstrak kulit petai disintesis melalui metode kopresipitasi dari 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 kulit petai (*Parkia speciosa Hassk.*) dan NaOH.

Kondisi adsorpsi optimum didapatkan dengan melakukan interaksi antara MNPs-PT dengan pH pada berbagai variasi pH, waktu, dan konsentrasi. Karakteristik MNPs-PT dipelajari menggunakan instrumen FTIR dan XRD. Proses adsorpsi dipelajari melalui kinetika orde satu semu (PFO), kinetika orde dua semu (PSO), isoterm adsorpsi Langmuir dan isoterm adsorpsi Freundlich.

Nanopartikel magnetik MNPs-PT penelitian berhasil disintesis yang ditunjukkan oleh adanya ikatan inti magnetik Fe-O pada panjang gelombang $562,08 \text{ cm}^{-1}$ berdasarkan instrumen FTIR dan ukuran kristal antara 8,58-17,18 nm berdasarkan instrumen XRD. Kondisi optimum adsorpsi metil violet oleh MNPs-PT berada pada pH 4, waktu interaksi 120 menit, dan konsentrasi 12 mg/L dengan persen teradsorpsi 90,10%. Adsorpsi metil violet oleh MNPs-PT mengikuti model kinetika adsorpsi PSO dan model isoterm adsorpsi Freundlich. Hasil penelitian menunjukkan potensi MNPs-PT sebagai adsorben zat warna metil violet.

Kata Kunci: nanopartikel magnetik; adsorpsi; dan metil violet

ABSTRACT

MAGNETIC NANOPARTICLES SYNTHESIS FROM PETAI EXTRACT AND IT APPLICATION AS ADSORBENT FOR METHYL VIOLET DYE

By:

Annisa Nurul Syakina

18106030017

Adviser:

Dr. Maya Rahmayanti, M.Si.

Magnetic nanoparticles synthesis from petai peel extract and their application for dye adsorption has been studied. This study aimed to characterize MNPs-PT based on FTIR (Fourier Transform Infra-Red) and XRD (X-Ray Diffraction) instruments, analyze the effect of pH on the bond between methyl violet dye and MNPs-PT, and examine the kinetics adsorption and isotherms adsorption of MNPs-PT on methyl violet dye. Magnetic nanoparticles from petai peel extract were formed by the coprecipitation method between the reaction $\text{Fe}^{3+}/\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and $\text{Fe}^{2+}/\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ with petai peel extract (*Parkia speciosa Hassk.*) and NaOH.

Optimum adsorption conditions were obtained by interacting between MNPs-PT and pH at various pH, time, and concentration variations. Characterizations of MNPs-PT crystalline were studied by FTIR and XRD instruments. The adsorption process of MNPs-PT was studied using pseudo-first-order kinetic (PFO), pseudo-second-order kinetic (PSO), Langmuir adsorption isotherm, and Freundlich adsorption isotherm.

Magnetic nanoparticles were successfully synthesized, indicating a Fe-O magnetic core bond on 562.08 cm^{-1} based on the FTIR and 8.58-17.18 nm crystal size based on XRD. The optimum conditions for methyl violet adsorption by MNPs-PT were obtained at pH 4, 120 minutes, and 12 mg/L with 90,10% adsorbed percentage. Adsorption processes of MNPs-PT follow PSO and Freundlich. The result showed the potential of MNPs-PT as an adsorbent for methyl violet dye.

Keywords: *magnetic nanoparticles; adsorption; and methyl violet*

HALAMAN MOTTO

“Percayalah pada mimpi yang akan kamu wujudkan dan usaha yang kamu upayakan”
(anonim)



HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk
orang tua dan almamater
Program Studi Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Rabbul ‘alamin yang telah memberi kekuatan selain tugas akhir yang berjudul “Sintesis Nanopartikel Magnetik dari Ekstrak Kulit Petai (*Parkia speciosa Hassk.*) dan Aplikasinya sebagai Adsorben Zat Warna Metil Violet” dapat selesai sebagai sebagian persyaratan untuk mencapai derajat Sarjana Kimia.

Penulisan tugas akhir sebagai bentuk pertanggungjawaban atas kesempatan belajar dan menuntut ilmu di UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta. Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dorongan, semangat, dan ide-ide kreatif sehingga penulisan tugas akhir dapat selesai dengan baik. Ucapan terima kasih secara khusus penulis sampaikan kepada:

1. Ibu Dr. Khurul Wardati, M. Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Ibu Dr. Imelda Fajriyati, M. Si. selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga.
3. Ibu Dr. Maya Rahmayanti, M. Si. selaku Dosen Pembimbing skripsi yang telah memberikan arahan, bimbingan, nasihat, dukungan, dan motivasi kepada penulis dalam penulisan tugas akhir.
4. Segenap PLP Laboratorium Kimia Terpadu UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian.
5. Orang tua dan keluarga yang memberikan dukungan dalam proses menuntut ilmu dan penulisan tugas akhir.
6. Segenap teman-teman Bravo dan Kimia Caffeine 2018 yang telah memberikan semangat dan motivasi dalam penulisan tugas akhir.
7. Seluruh pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu atas bantuannya dalam penyelesaian penulisan tugas akhir.

Penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir tidak sepenuhnya sempurna. Demi kesempurnaan tugas akhir ini, kritik dan saran penulis harapkan. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan perkembangan untuk mengatasi masalah lingkungan secara umum maupun kimia secara khusus.

Yogyakarta, 10 Agustus 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING	iv
HALAMAN NOTA DINAS KONSULTAN.....	v
HALAMAN MOTTO	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Batasan Masalah.....	7
C. Rumusan Masalah	8
D. Tujuan Penelitian.....	8
E. Manfaat Penelitian.....	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	10
A. Tinjauan Pustaka	10
B. Landasan Teori.....	16
1. Zat Warna Metil Violet.....	16
2. Nanopartikel Magnetik	17
3. Muatan Titik Nol	18
4. Kopresipitasi	19
5. Petai (<i>Parkia speciosa Hassk.</i>)	20
6. Ekstraksi Dekok.....	21
7. Adsorpsi.....	22
8. Spektrofotometri Sinar Ultraviolet dan Sinar Tampak (UV-Vis).....	25
9. Spektrofotometri <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR)	27
10. Difraksi Sinar-X (XRD)	28
C. Kerangka Berfikir dan Hipotesis Penelitian.....	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	33
A. Waktu dan Tempat Penelitian	33
B. Alat dan Bahan Penelitian	33
C. Prosedur Kerja Penelitian.....	34
D. Teknik Analisis Data.....	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	38
A. Sintesis MNPs-PT dari Ekstrak Kulit Petai (<i>Parkia speciosa Hassk.</i>).....	38
B. Karakterisasi Kristal MNPs-PT.....	39
1. Karakterisasi Gugus Fungsi MNPs-PT berdasarkan Spektrofotometri FTIR	39

2.	Karakterisasi Kristalinitas dan Ukuran Kristal MNPs-PT berdasarkan Difraktogram XRD.....	42
C.	Pengaruh pH Metil Violet terhadap Adsorpsi Metil Violet pada MNPs-PT.....	43
1.	Penentuan Panjang Gelombang dan Kurva Kalibrasi Metil Violet	43
2.	Pengaruh pH Metil Violet terhadap Adsorpsi Metil Violet pada MNPs-PT	44
D.	Kinetika Adsorpsi dan Isoterm Adsorpsi MNPs-PT terhadap Zat Warna Metil Violet.....	50
1.	Kinetika Adsorpsi MNPs-PT terhadap Zat Warna Metil Violet.....	50
2.	Isoterm Adsorpsi MNPs-PT terhadap Zat Warna Metil Violet.....	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		57
A.	Kesimpulan.....	57
B.	Saran.....	58
DAFTAR PUSTAKA		59
LAMPIRAN.....		67
CURRICULUM VITAE.....		77

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Parameter terhitung model kinetika adsorpsi PFO dan PSO MNPs-PT,	52
Tabel 4. 2. Parameter terhitung model isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich,	56



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur kimia zat warna metil violet (Hunger, 2007).....	16
Gambar 2.2 Daerah serapan spektrum FTIR (Sastrohamidjojo, 2019)	28
Gambar 4.1. Spektra FTIR nanopartikel magnetik dari ekstrak kulit petai..	40
Gambar 4.2. Ilustrasi sintesis nanopartikel magnetik dari ekstrak kulit petai (<i>Parkia speciosa Hassk.</i>) (Rahmayanti, dkk., 2016; Fatimah, dkk., 2020).....	41
Gambar 4.3. Difraktogram XRD senyawa hasil sintesis (a) dan JCPDS No. 19-0629 (b).....	42
Gambar 4.4. Kurva kalibrasi zat warna metil violet.....	44
Gambar 4.5. Grafik pengaruh pH asam-basa terhadap % konsentrasi teradsorpsi zat warna metil violet oleh MNPs-PT	45
Gambar 4.6. Ikatan π - π (a), ikatan elektrostatik (b), dan ikatan hidrogen (c) MNPs-PT dengan metil violet.....	47
Gambar 4.7. Grafik pengaruh waktu reaksi adsorben terhadap adsorbat sebagai % konsentrasi teradsorpsi (10 mg MNPs-PT, pH 5, 10 mg/L MV).....	50
Gambar 4.8. Model kinetika adsorpsi PFO (a) dan PSO (b) (10 mg MNPS-PT, pH 5, 10 mg/L MV).....	51
Gambar 4.9. Grafik pengaruh konsentrasi adsorben terhadap adsorbat sebagai % konsentrasi teradsorpsi (10 mg MNPs-PT, pH 5, 120 menit)	53
Gambar 4.10. Model isoterm adsorpsi Langmuir (a) dan Freundlich (b) (10 mg MNPs-PT, pH 5, 120 menit)	54

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Industri tekstil merupakan salah satu bidang industri yang mendorong kemajuan pembangunan ekonomi di Indonesia (Riyardi, dkk., 2015). Peningkatan dan pertumbuhan industri tekstil selaras dengan penggunaan pewarna sintetis yang berkelanjutan. Sebagian pewarna sintetis yang digunakan akan terbuang dalam bentuk limbah cair yang memiliki dampak lingkungan berbahaya bagi lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik.

Penggunaan pewarna sintetis pada proses industri tekstil lebih disukai karena menghasilkan warna yang pekat dan tidak mudah luntur. Salah satu zat warna yang digunakan dalam industri tekstil adalah jenis metil. Zat warna metil violet berdasarkan struktur kimia termasuk dalam golongan trifenilmetana (Nietzki, 1892). Zat warna golongan trifenilmetana memiliki dampak karsinogenik, iritasi kulit dan saluran pencernaan serta gagal pernapasan dan ginjal (Lellis, dkk., 2019). Metil violet termasuk dalam golongan zat warna basa (kationik) karena memiliki ion positif pada tiap molekulnya. Zat warna dalam golongan ini memiliki kekuatan warna yang tinggi (Hunger, 2007). Metil violet banyak digunakan sebagai zat warna dalam industri tekstil nilon, wol, sutera, kapas, plastik, kertas, dan kosmetik. Akan tetapi, molekul zat warna sukar mengalami biodegradasi yang dapat membahayakan lingkungan (Azmi, dkk., 1998).

Zat warna sintetis sulit terdegradasi karena struktur aromatik kompleks yang dimiliki mengalami delokalisasi elektron dan molekul ikatan rangkapnya terkonjugasi sehingga bersifat stabil. Zat warna yang terus menerus digunakan dalam berbagai bidang industri memberikan dampak terhadap lingkungan maupun kesehatan. Badan air yang tercemari oleh zat warna berakibat pada peningkatan kebutuhan oksigen dalam air sehingga dapat mengganggu aktivitas biokimia yang akan mempengaruhi kualitas ekosistem air maupun kesehatan manusia. Risiko lain yang dapat terjadi yaitu bioakumulasi produk karsinogenik dan mutagenesis yang juga berpengaruh terhadap rantai makanan (Sharma, dkk., 2021).

Zat warna sintetis metil violet mudah larut dalam pelarut organik sehingga digunakan sebagai garam warna dan pewarna dasar dalam industri pembuatan alat tulis kantor, komponen bahan pewarna serat poliakrilonitril dan tinta. Metil violet dapat menyebabkan gangguan kesehatan karena sifatnya yang toksik (Gessner dan Mayer, 2000). Dampak toksik zat warna sintetis yang berasal dari produk samping zat warna dapat menimbulkan gangguan pada ginjal, sistem reproduksi, otak, hati, dan sebagainya (Ghodke, dkk., 2018). Molekul metil violet bersifat sukar untuk dimetabolisme oleh mikroba sehingga bertahan di lingkungan seperti dalam sedimen tanah dan sungai (Chen, dkk. 2007). Maka dari itu perlu dilakukan pengolahan terhadap limbah zat warna dengan metode yang tepat.

Berbagai penelitian mengenai metode pengolahan limbah zat warna secara fisika, kimia, maupun biologi telah diupayakan. Rahmayanti, dkk., (2020) menggunakan asam humat termodifikasi magnetit (Fe_3O_4) sebagai adsorben zat warna naphthol blue black (NBB) dengan perolehan kapasitas adsorpsi 0,00241

mol/g. Penggunaan tanah gambut dari alam sebagai sumber utama asam humat dapat berdampak pada keseimbangan ekosistem sumber tanah.

Penggunaan biokoagulasi dari kitosan alami dan biji asam jawa yang dilakukan oleh penelitian sebelumnya dapat menurunkan kadar zat warna remazol red. Biokoagulan biji asam jawa yang dipreparasi tidak memberikan hasil optimum karena hanya sebagian gugus yang berinteraksi dengan zat warna. Penggunaan metode biokoagulasi memberikan hasil samping gumpalan partikel koloid yang dapat memicu permasalahan lingkungan lain (Safitri dan Rahmayanti, 2020; Pembayun dan Rahmayanti, 2020).

Penelitian sebelumnya (Sholikhah dan Fajriati, 2019; Sutisna, dkk., 2017) telah menggunakan metode fotodegradasi menggunakan fotokatalis lembaran plastik terlapis TiO_2 terhadap zat warna congo red dan limbah cair batik mengandung zat warna. Metode fotodegradasi menggunakan fotokatalis TiO_2 berlebih akan mengurangi intensitas sinar matahari yang mengaktifkan katalis sehingga menurunkan efektivitas fotodegradasi zat warna. Penggunaan fotokatalis TiO_2 juga memberikan hasil samping berupa *slurry* atau bubur yang sulit dipisahkan dari larutan zat warna.

Metode elektrolisis dengan elektrodekolorisasi zat warna telah dilakukan oleh penelitian sebelumnya. Karmanto dan Sulistya (2014) menggunakan elektroda grafit untuk zat warna remazol red sedangkan Gustanti dan Nafiyanto (2016) menggunakan elektroda seng dan karbon bekas untuk limbah zat warna laboratorium. Elektrodekolorisasi memberikan hasil samping serbuk elektroda yang berasal dari proses elektrodekolorisasi. Serbuk elektroda yang terlepas dari

elektroda dapat mempengaruhi proses elektrolisis sehingga dapat menurunkan efektivitas proses elektrokolorisasi.

Biodegradasi kristal violet menggunakan bakteri *Pseudomonas putida* telah dilakukan oleh Chen, dkk (2007), hasilnya bakteri mampu mendegradasi sebesar 78,5% pada konsentrasi kristal violet 60 μM . Metode pengolahan biologis konvensional kurang efektif menghilangkan zat warna dalam air limbah karena keterbatasan kapasitas bakteri dalam mendegradasi zat warna dan dapat mengakibatkan penyebaran bakteri ke lingkungan.

Xu, dkk (2011) melakukan adsorpsi metil violet menggunakan *biochar* (arang) dari sisa tanaman kanola, kedelai, dan kacang tanah. Penelitian lain menggunakan karbon aktif dari biomassa tempurung kelapa oleh Astuti, dkk., (2018) telah berhasil digunakan untuk mengadsorpsi zat warna metil violet. Penggunaan karbon aktif dari biomassa sebagai adsorben harus melalui proses aktivasi untuk meningkatkan efektivitas adsorben, namun aktivasi material terbatas pada gelombang mikro yang bersifat spesifik dan tidak dapat diaplikasikan terhadap semua jenis karbon aktif dari biomassa. Hal tersebut menyebabkan keterbatasan pada penggunaan biomassa sebagai karbon aktif.

Pengelolaan limbah zat warna dengan menggunakan metode adsorpsi mampu menurunkan kadar zat warna dalam limbah zat warna secara efektif dimana zat warna akan menempel pada permukaan adsorben yang digunakan (Rahmayanti, dkk., 2020). Metode adsorpsi menggunakan berbagai adsorben organik maupun anorganik telah berhasil dilakukan untuk menurunkan kadar zat warna dalam limbah cair. Rahmayanti, dkk (2021) menggunakan humin sebagai

adsorben zat warna naphtol blue black dan indigosol blue. Humin diperoleh dari tanah liat alam. Akan tetapi, proses isolasi humin dari tanah liat membutuhkan pelarut cukup banyak dalam proses isolasi maupun pemurnian.

Nanopartikel magnetik (MNPs) merupakan salah satu jenis nanopartikel yang memiliki sifat magnet dan memungkinkan proses pemisahan terjadi lebih cepat dan mudah karena nanopartikel magnetik dipisahkan menggunakan medan magnet eksternal. Nanopartikel magnetik memiliki sifat magnet yang sangat baik, kapasitas adsorpsi besar terhadap banyak zat, dan toksisitas rendah (Grumezescu, 2017). Luas permukaan yang besar pada MNPs memungkinkan adsorpsi yang efektif dari zat kimia dan biologi, sehingga dapat menghilangkan kontaminan secara efektif pada konsentrasi yang sangat rendah.

Ukuran nanopartikel magnetik berskala nano cenderung untuk mengalami aglomerasi atau pembentukan suspensi ketika sintesis karena adanya interaksi dipol-dipol magnet yang kuat antar partikel. Peristiwa aglomerasi pada nanopartikel dapat mengurangi luas permukaan yang mengakibatkan hilangnya sifat magnet dan dispersi kimia. Aglomerasi dapat dicegah dengan memodifikasi MNPs dengan menggunakan zat penstabil. Bahan alam dapat digunakan sebagai salah satu zat penstabil untuk meningkatkan dispersi kimia sehingga mencegah terjadinya aglomerasi pada nanopartikel (Santos, dkk., 2016).

Penggunaan senyawa magnetik dengan modifikasi bahan alam sebagai adsorben telah berhasil dilakukan untuk mengatasi zat warna (Rahmayanti, dkk., 2020; Rahmayanti, dkk., 2022). Petai (*Parkia speciosa Hassk.*) merupakan salah

satu bahan alam yang dapat digunakan sebagai zat penstabil dalam modifikasi MNPs karena kandungan senyawa fenolik yang dimiliki.

Senyawa fenolik dalam ekstrak kulit petai dapat bertindak sebagai zat penstabil sehingga dapat meningkatkan dispersi kimia. Gugus -OH pada fenolik dalam kulit petai akan berinteraksi dengan anion dan kation dengan zat warna dalam limbah cair. Ekstrak kulit petai mengandung fenolik sebanyak 84,24-71,39 mg GAE/g DW, flavonoid sebanyak 5,86-5,38 mg CE/g DW, aktivitas antioksidan 1218,07-920,32 $\mu\text{mol TE/g DW}$, dan antimikrobia (Wonghirundecha, dkk., 2014). Akan tetapi, perlu dilakukan optimasi kemampuan gugus pengikat senyawa ekstrak kulit petai dengan modifikasi pada nanopartikel magnetik.

Penelitian yang dilakukan oleh Fatimah, dkk., (2020) sebelumnya telah menggunakan ekstrak kulit petai (*Parkia speciosa Hassk.*) sebagai zat penstabil pada nanopartikel magnetik. Nanopartikel magnetik dari ekstrak kulit petai (*Parkia speciosa Hassk.*) diaplikasikan terhadap degradasi zat warna bromophenol blue (BPB). Penelitian tersebut tidak melaporkan optimasi terhadap parameter adsorpsi zat warna yang mempengaruhi proses adsorpsi meliputi parameter pH, kinetika adsorpsi, dan isoterm adsorpsi.

Berdasarkan uraian masalah tersebut maka penelitian ini perlu untuk dilakukan optimasi adsorpsi menggunakan nanopartikel magnetik dari ekstrak kulit petai (*Parkia speciosa Hassk.*) yang dilakukan terhadap zat warna metil violet.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ekstrak kulit petai (*Parkia speciosa Hassk.*) yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan melalui metode ekstraksi dekok menggunakan pelarut air.
2. Metode sintesis yang digunakan digunakan dalam proses sintesis MNPs-PT nanopartikel magnetik dari ekstrak kulit petai (*Parkia speciosa Hassk.*) adalah metode kopresipitasi.
3. Zat warna yang digunakan dalam penelitian adalah metil violet.
4. Karakterisasi dan analisis gugus fungsi nanopartikel magnetik MNPs-PT dari ekstrak kulit petai dipelajari dengan menggunakan instrumen FTIR sedangkan karakterisasi dan analisis kristalinitas serta ukuran kristal nanopartikel magnetik MNPs-PT dari ekstrak kulit petai dipelajari dengan menggunakan instrumen XRD.
5. Studi parameter pH adsorpsi zat warna metil violet pada nanopartikel magnetik dari ekstrak kulit petai (*Parkia speciosa Hassk.*) dipelajari pada rentang pH 2, 4, 6, 8, dan 10.
6. Studi parameter kinetika adsorpsi orde satu semu (PFO) dan orde dua semu (PSO) dilakukan pada variasi waktu reaksi 30; 60; 75; 90; 120; dan 150 menit.
7. Studi parameter isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich dilakukan pada variasi konsentrasi 2; 5; 10; 12; dan 15 mg/L.

C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik serapan berdasarkan spektrofotometri FTIR dan kristalinitas serta ukuran kristal berdasarkan difraktogram XRD pada nanopartikel magnetik MNPs-PT dari ekstrak kulit petai (*Parkia speciosa Hassk.*)?
2. Bagaimana pengaruh pH zat warna metil violet terhadap ikatan yang terjadi antara metil violet dengan MNPs-PT pada proses adsorpsi?
3. Bagaimana studi kinetika MNPs-PT terhadap zat warna metil violet?
4. Bagaimana isoterm adsorpsi MNPs-PT terhadap zat warna metil violet?

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Karakterisasi serapan berdasarkan instrumen FTIR dan mengkarakterisasi kristalinitas serta ukuran kristal berdasarkan difraktogram XRD pada nanopartikel magnetik MNPs-PT dari ekstrak kulit petai (*Parkia speciosa Hassk.*).
2. Menganalisis pengaruh pH zat warna metil violet terhadap ikatan yang terjadi antara metil violet dengan MNPs-PT pada proses adsorpsi.
3. Menganalisis studi kinetika MNPs-PT terhadap zat warna metil violet.
4. Menganalisis isoterm adsorpsi MNPs-PT terhadap zat warna metil violet.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Memberikan informasi kepada masyarakat mengenai magnetik dari ekstrak kulit petai sebagai adsorben zat warna ramah lingkungan.
2. Meningkatkan pemanfaatan kulit petai sebagai adsorben zat warna metil violet dan sebagai upaya mengurangi pencemaran air dari zat warna sintetik.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Karakterisasi gugus fungsi pada MNPs-PT menggunakan spektrofotometri FTIR menunjukkan pita serapan khas ikatan inti magnet dan senyawa ekstrak kulit petai pada bilangan gelombang 562,08; 1606,05; dan 3405,18 cm^{-1} . Karakterisasi kristalinitas dan ukuran kristal pada MNPs-PT hasil sintesis menggunakan spektrofotometri XRD berhasil menunjukkan bidang indeks Fe_3O_4 sesuai JCPDS No. 19-0629 pada bidang indeks (220), (311), (400), (511), dan (440) secara berurutan dengan rata-rata ukuran MNPs-PT 11,298 nm.
2. Pengaruh parameter pH zat warna metil violet pada MNPs-PT memberikan hasil adsorpsi optimum pada pH 4 dengan persen teradsorpsi sebesar 90,10%. Kondisi variasi pH pada larutan metil violet memberikan hasil adsorpsi signifikan dengan nilai *P-value* kurang dari 0,05 yaitu sebesar 0,001505.
3. Studi kinetika adsorpsi MNPs-PT terhadap zat warna metil violet berdasarkan parameter waktu reaksi mengikuti model kinetika adsorpsi orde dua semu (PSO) dan memberikan waktu reaksi optimum 120 menit dengan persen teradsorpsi sebesar 92,76 %.
4. Studi isoterm adsorpsi MNPs-PT terhadap zat warna metil violet berdasarkan parameter konsentrasi larutan mengikuti model isoterm

adsorpsi Freundlich dan memberikan konsentrasi optimum 12 mg/L dengan persen teradsorpsi sebesar 94,84 %.

B. Saran

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

1. Pemanfaatan lebih lanjut terhadap adsorben MNPs-PT hasil sintesis sebagai adsorben zat warna ramah lingkungan.
2. Melakukan optimasi massa adsorben MNPs-PT terhadap adsorpsi zat warna metil violet.

DAFTAR PUSTAKA

- Afroze, S. dan Sen, T. 2018. A Review on Heavy Metal Ions and Dye Adsorption from Water by Agricultural Solid Waste Adsorbents. *Water, Air, & Soil Pollution*. Vol. 229, Hal. 225. DOI: 10.1007/s11270-018-3869-z.
- Aires, A. 2020. Tannins: Structural Properties, Biological Properties and Current Knowledge. London: IntechOpen.
- Alizadeh, N., Shariati, S., dan Besharati, N. 2017. Adsorption of Crystal Violet and Methylene Blue on Azolla and Fig Leaves Modified with Magnetite Iron Oxide Nanoparticles. *International Journal of Environmental Research*. Vol. 11, No. 2, Hal. 197-206. DOI: 10.1007/s41742-017-0019-1.
- Apriyani, N. 2018. Industri Batik: Kandungan Limbah Cair dan Metode Pengolahannya. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*. Vol. 3, No. 1, Hal. 21-29.
- Astuti, W., Anggelita, D. H., dan Wulandari, D. A. 2018. Adsorpsi Methyl Violet oleh Karbon Aktif dari Limbah Tempurung Kelapa dengan Aktivator $ZnCl_2$ Menggunakan Pemanasan Gelombang Mikro. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. Vol. 13, No. 2, Hal. 189-200. DOI: 10.23955/rkl.v13i2.11945.
- Astuti, W., Sulistyaningsih, T., dan Maksiola, M. 2016. Chemically Modified Kapok Sawdust as Adsorbent of Methyl Violet Dye from Aqueous Solution. *Jurnal Teknologi*. Vol. 78, No. 9, Hal. 367-372. DOI: 10.11113/jt.v78.6524.
- Atkins, P. W. 1996. Kimia Fisika. Diterjemahkan oleh Irma I. Kartohadiprodojo, Edisi keempat. Jakarta: Erlangga.
- Ayawei, N., Ebelegi, A. N., dan Wankasi, D. 2017. Modelling and Interpretation of Adsorption Isotherms. *Journal of Chemistry*. Vol. 2017, Hal. 3039817. DOI: 10.1155/2017/3039817.
- Azmi, W., Sani, R. K., dan Banerjee, U. C. 1998. Biodegradation of triphenylmethane dyes. *Enzyme Microb Technol*. Vol. 22, No. 3. Hal. 185-91. DOI: 10.1016/s0141-0229(97)00159-2. PMID: 9463944.
- Bacelo, H. A. M., Santos, D. S., dan Botelho, C. 2016. Tannin-based Biomaterials: Production, Characterization, and Application in Water and Wastewater Treatment. *Magister Bioteknologi Molekuler Fakultas Teknik: Universitas Porto, Portugal*: Hal. 40.
- Bedoya, P. A. C., Botta, P. M., Bercoff, P. G., dan Fanovich, M. A. 2021. Magnetic Iron Oxides Nanoparticles Obtained by Mechanochemical Reactions from Different Solid Precursors. *Journal of Alloys and Compounds*. Vol. 860, Hal. 157892, ISSN 0925-8388, DOI: 10.1016/j.jallcom.2020.157892.
- Chen, C. C., Liao, H. J., Cheng, C. Y., Yen, C. Y., dan Chung, Y. C. 2007. Biodegradation of Crystal Violet by *Pseudomonas putida*. *Biotechnol Lett*. Vol. 29, No. 3, Hal. 391-396. DOI: 10.1007/s10529-006-9265-6.

- Chhikara, N., Devi, H. R., Jaglan, S., Sharma, P., Gupta, P., dan Panghal, A. 2018. Bioactive Compounds, Food Applications and Health Benefits of *Parkia speciosa* (Stinky Beans): a Review. *Agriculture & Food Security*. Vol. 7, No. 46, Hal. 1-9. DOI: 10.1186/s40066-018-0197-x.
- Chung, H., Kim, W., Park, J., Cho, J., Jeong, T., dan Park, P. 2015. Application of Langmuir and Freundlich Isotherms to Predict Adsorbate Removal Efficiency or Required Amount of Adsorbent. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. Vol. 28, Hal. 241-246. DOI: 10.1016/j.jiec.2015.02.021.
- Dachriyanus. 2004. Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi. Padang: Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LPTIK) Universitas Andalas.
- Das, C., Sen, S., Singh, T., Ghosh, T., Paul, S. S., Kim, T. W., Jeon, S., Maiti, D. K., Im, J., dan Biswas, G. 2020. Green Synthesis, Characterization and Application of Natural Product Coated Magnetite Nanoparticles for Wastewater Treatment. *Nanomaterials*. Vol. 10, Hal. 1615. DOI: 10.3390/nano10081615.
- Ermawati, R. dan Ratnawati, E. 2011. Sintesis Nanopartikel Magnetit Dengan Metode Dekomposisi Termal. *Jurnal Kimia dan Kemasan*. Vol. 33, No. 1, Hal. 96-101. DOI: 10.24817/jkk.v33i1.1834.
- Fahlman, B. D. 2011. *Materials Chemistry*. Springer: Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-94-007-0693-4>.
- Fairbrother, F., Robinson, D., dan Taylor, J. B. 1958. Some Water-Soluble Complexes of Pentavalent Niobium and Tantalum. *Proceedings International Symposium on the Chemistry of the Coordination Compounds*. Vol. 8, Hal. 296-301. DOI: 10.1016/0022-1902(58)80194-3.
- Fatimah, I., Pratiwi, E. Z., dan Wicaksono, W. P. 2020. Synthesis of Magnetic Nanoparticles using *Parkia speciosa* Hassk. Pod Extract and Photocatalytic Activity for Bromophenol Blue Degradation. *Egyptian Journal of Aquatic Research*. Vol. 46, Hal. 35-40. DOI: 10.1016/j.ejar.2020.01.001.
- Fessenden, R. J. dan Fessenden, J. S. 1982. *Kimia Organik, Jilid 1, Edisi Ketiga*. Diterjemahkan oleh Pudjaatmaka. Jakarta: Erlangga.
- Foroutan, R., Mohammadi, R., dan Ramavandi, B. 2019. Elimination Performance of Methylene Blue, Methyl Violet, and Nile Blue from Aqueous Media using AC/CoFe₂O₄ as a Recyclable Magnetic Composite. *Environmental Science and Pollution Research*. Vol. 26, No. 19, Hal. 19523-19539. DOI: 10.1007/s11356-019-05282-z.
- Gessner, T., & Mayer, U. 2000. Triarylmethane and Diarylmethane Dyes. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Vol. 37, No. 425-478. DOI:10.1002/14356007.a27_179.

- Ghodke, S. A., Sonawane, S. H., Bhanvase, B. A., dan Potoroko, I. 2018. Chapter 53 - Advanced Engineered Nanomaterials for the Treatment of Wastewater. Dalam Handbook of Nanomaterials for Industrial Applications, disunting oleh Chaudhery Mustansar Hussain. Elsevier. DOI: 10.1016/B978-0-12-813351-4.00055-9.
- Gonzalez-Galan, C., Luna-Triguero, A., Vicent-Luna, J. M., Zaderenko, A. P., Slawek, A., Sanchez-de- Armas, R., dan Calero, S. 2020. Exploiting the π -Bonding for the Separation of Benzene and Cyclohexane in Zeolites. Chemical Engineering Journal. Vol. 398, Hal. 125678. DOI: 10.1016/j.cej.2020.125678.
- Grumezescu, A. M. 2017. Water Purification: Nanotechnology in the Agri-Food Industry, Volume 9. London: Academic Press.
- Gustanti, I. dan Nafiyanto, I. 2016. Aplikasi Alat Elektrokolorisasi dengan Elektrode Seng dan Karbon Bekas untuk Pengolahan Limbah Zat Warna Hasil Praktikum dan Penelitian (Studi Kasus di Laboratorium Terpadu UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta). Integrated Lab Journal. Vol. 4, No. 2, Hal. 241-250.
- Ho, Y-s. 2006. Review of Second-order Models for Adsorption Systems. Journal of Hazardous Materials. Vol. 136, No. 3, Hal. 681-689. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2005.12.043.
- Hunger, K. 2007. Industrial Dyes: Chemistry, Properties, Applications. Germany: Wiley.
- Ivanov, Sergey. 2012. "Chapter 7 - Multiferroic complex metal oxides: Main features of preparation, structure, and properties." Dalam Science and Technology of Atomic, Molecular, Condensed Matter & Biological Systems, disunting oleh Tara Prasad Das, Biplab Sanyal, dan Olle Eriksson, 2:163–238. Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-44-453681-5.00007-8>.
- Justino, J. 2017. Flavonoids: from Biosynthesis to Human Health. London: IntechOpen.
- Kamisah, Y., Othman, F., Qodriyah, M. S., dan Jaarin, K. 2013. Parkia speciosa Hassk.: A Potential Phytomedicine. Evidence-based complementary and alternative medicine : eCAM. 709028. DOI: 10.1155/2013/709028.
- Karmanto dan Sulistya, R. 2014. Elektrokolorisasi Zat Warna Remazol Violet 5R menggunakan Elektroda Grafit. Jurnal Kaunia. Vol. 10, No. 1, Hal. 11-19.
- Keçili, R. dan Hussain, C. M. 2018. Mechanism of Adsorption on Nanomaterials. Dalam Nanomaterials in Chromatography. Hal. 89–115. Elsevier. ISBN: 978-0-12-812792-6. DOI: 10.1016/B978-0-12-812792-6.00004-2.
- Ko, H-J., Ang, L-H., Ng, L-T. 2014. Antioxidant Activities and Polyphenolic Constituents of Bitter bean Parkia speciosa. International Journal of Food

- Properties. Vol. 17, No. 9, Hal. 1977-1986. DOI: 10.1080/10942912.2013.775152
- Kosmulski, M. 2020. The pH Dependent Surface Charging and Points of Zero Charge. VIII. Update. *Journal Advances in Colloid and Interface Science*. Vol. 275, Hal. 102064. ISSN 0001-8686. DOI: 10.1016/j.cis.2019.102064.
- Kosmulski, M. 2009. *Surface Charging and Points of Zero Charge*. United States: CRC Press.
- Kulkarni, S. K. 2014. *Nanotechnology: Principles and Practices, 3rd Edition*. Germany: Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-319-09171-6.
- Kuntari, Bila, N. S. dan Yuwono, M. 2017. Kajian Pengaruh Waktu dan pH Optimum dalam Adsorpsi Methyl Violet dan Methylene Blue Menggunakan Abu Daun Bambu. *Journal Cis-Trans (JC-T)*. Vol. 1, No. 2, Hal. 14-19, e-ISSN 2549-6573.
- Kurniawati, P., Wiyantoko, B., Kurniawan, A., dan Purbaningtias, T. E. 2013. Kinetic Study of Cr(VI) Adsorption on Hydrotalcite Mg/Al with Molar Ratio 2:1. *EKSAKTA: Journal Science and Data Analysis*. Vol. 13, No. 1-2, Hal. 11-21. DOI: <https://doi.org/10.20885/eksakta.vol13.iss1-2.art2>.
- Lanjar, Riayanti, F., dan Astuti, W. 2018. Keseimbangan Adsorpsi Zat Warna Metil Violet oleh Karbon Aktif Berbasis Limbah Daun Nanas (*Ananas comosus L.*). *METANA*. Vol. 14, No. 2, Hal. 31-36. DOI: 10.14710/metana.v14i2.20095.
- Lellis, B., Fávaro-Polonio, C. Z., Pamphile, J. A., dan Polonio, J. C. 2019. Effects of Textile Dyes on Health and the Environment and Bioremediation Potential of Living Organisms. *Biotechnology Research and Innovation*. Vol. 3, No. 2, Hal. 275-290. DOI: 10.1016/j.biori.2019.09.001.
- Lynam, M. M., Kliduff, J. E., dan Weber Jr., W. J. 1995. Adsorption of p-Nitrophenol from Dilute Aqueous Solution. *Journal of Chemical Education*. Vol. 72, No. 1, Hal. 80-84. DOI: 10.1021/ed072p80.
- Madrakian, T., Afkhami, A., dan Ahmadi, M. 2012. Adsorption and Kinetic Studies of Seven Different Organic Dyes onto Magnetite Nanoparticles Loaded Tea Waste and Removal of Them from Wastewater Samples. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. Vol. 99, Hal. 102-109. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2012.09.025>.
- Martins, R. J. E., Vilar, V. J. P., dan Boaventura, R. A. R. 2014. Kinetic Modelling of Cadmium and Lead Removal by Aquatic Mosses. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. Vol. 31, No. 1, Hal. 229-242. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-66322014000100021>.
- Muniroh, S. dan Rahmayanti, M. 2019. Kinetika Adsorpsi Kromium (VI) yang Terkandung dalam Limbah Batik pada Asam Humat Termodifikasi

- Magnetit (AH-Fe₃O₄). Integrated lab Journal. Vol. 7, No. 2, Hal. 42-46. DOI: 10.5281/zenodo.3524030.
- Nietzki, R. 1892. Chemistry of the Organic Dyestuffs. London: Taylor and Francis.
- Pavia, D. L., Lampman, D. L., Kriz, G. S., dan Vyvyan, J. R. 2009. Introduction to Spectroscopy. United States: Cengage Learning.
- Pembayun, S. W. R. dan Rahmayanti, M. 2020. Efektivitas Biji Asam Jawa sebagai Koagulan Alami dalam Menurunkan Konsentrasi Zat Warna Remazol Red dan Nilai COD. Jurnal Sains dan Teknologi. Vol. 9, No. 2, Hal. 162-169. P-ISSN: 2303-3142 E-ISSN: 2548-8570.
- Petcharoen, K. dan Sirivat, A. 2012. Synthesis and Characterization of Magnetite Nanoparticles via the Chemical Co-precipitation Method. Materials Science and Engineering: B. Vol. 177, Issue 5, Pages 421-427, <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2012.01.003>.
- Proctor, A., Toro-Vazquez, J. F., dan List, G. R. 2009. Bleaching and Purifying Fats and Oils (Second Edition): Chapter 10 - The Freundlich Isotherm in Studying Adsorption in Oil Processing. United States: American Oil Chemist's Society Press. DOI: 10.1016/B978-1-893997-91-2.50016-X.
- Ragadhita, R. dan Nandiyanto, A. B. D. 2021. How to Calculate Adsorption Isotherms of Particles Using Two-Parameter Monolayer Adsorption Models and Equation. Indonesian Journal of Science & Technology. Vol. 6, No. 1, Hal. 205-234. DOI: 10.17509/ijost.v6i1.32354.
- Rahmayanti, M., Nurhikmah, I., dan Larasati, F. 2021. Isolation, Characterization and Application of Humic from Riau, Sumatra Peat Soils as Adsorbent for Naphthol Blue Black and Indigosol Blue Dyes. *MOLEKUL*. Vol. 16, No. 1, Hal. 68-74. DOI: 10.20884/1.jm.2021.16.1.700.
- Rahmayanti, M., Santosa, S. J., dan Sutarno. 2016. Comparative Study on the adsorption of [AuCl]⁻ onto Salicylic Acid and Gallic Acid Modified Magnetite Particles. Indonesian Journal Chemistry. Vol. 16, No. 3, Hal. 329-337.
- Rahmayanti, M., Santosa, S. J., Sutarno dan Paweni. A. 2021. The Effectiveness of Magnetite Modified Gallic Acid Synthesized by Sonochemical Method as AuCl⁻ Adsorbent-Reductor. Indonesian Journal of Chemical Research. Vol. 8, No. 2, Hal. 194-201. DOI: 10.30598/ijcr.
- Rahmayanti, M., Syakina, A. N., Fatimah, I., dan 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*. Vol 803. Hal. 139834. DOI: 10.1016/j.cplett.2022.139834.

- Rahmayanti, M., Yunita, E., dan 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*. Vol. 23, No. 7, Hal. 244-248. DOI: 10.14710/23.7.244-248.
- Ramesh, A. V., Devi, D. R., Botsa, S. M., dan 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*. Vol. 6, No. 2, Hal. 145-155. DOI: 10.1080/21870764.2018.1459335
- Riyardi, A., Setiaji, B., Hasmarini, M. I., Triyono, dan Setyowati. E. 2015. Analisis Pertumbuhan Industri Tekstil dan Produk Tekstil di Berbagai Provinsi di Pulau Jawa. *University Research Colloquium*. ISSN 2407-9189. Hal. 16-25.
- Rohman, A. 2014. *Statistika dan Kemometrika Dasar dalam Analisis Farmasi*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Sabnis, R. W. 2008. *Handbook of Acid-Base Indicators*. New York: CRC Press.
- Safitri, R. A. dan Rahmayanti, M. 2020. Characterization and Application of Chitosan as a Natural Coagulant in Reducing Remazol Red Dyestuff Concentration and COD Value of Batik Liquid Waste. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. Vol. 23, No. 9, Hal. 333-337. DOI: 10.14710/jksa.23.9.333-337.
- Santos, A. F. M., Macedo, L. J. A., Chaves, M. H., Espinoza-Castañeda, M., Merkoçi, A., Lima, F. C. A., dan Cantanhêde, W. 2016. Hybrid Self-Assembled Materials Constituted by Ferromagnetic Nanoparticles and Tannic Acid: a Theoretical and Experimental Investigation. *J. Braz. Chem. Soc.* Vol. 27, No. 4, Hal. 727-734. DOI: 10.5935/0103-5053.20150322.
- Sastrohamidjojo, H. 2001. *Dasar-dasar Spektroskopi*. Yogyakarta: Liberty.
- Sastrohamidjojo, H. 2019. *Dasar-dasar Spektroskopi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Setiabudi, A., Hardian, R., dan Muzakir, A. 2012. *Karakterisasi Material: Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia Press.
- Setianingsih, T., Sutarno, dan Masrurroh. 2018. *Prinsip Dasar dan Aplikasi Metode Difraksi Sinar-X untuk Karakterisasi Material*. Malang: Universitas Brawijaya Press.
- Sharma, J., Sharma, S., dan Soni, V. 2021. Classification and Impact of Synthetic Textile Dyes on Aquatic Flora: A Review. *Regional Studies in Marine Science*. Vol. 45, Hal. 101802. DOI: 10.1016/j.rsma.2021.101802.

- Sholikhah, H. dan Fajriati, I. 2019. Pengaruh Penambahan HNO_3 terhadap Fotodegradasi Zat Warna Congo Red menggunakan Fotokatalis TiO_2 . Indonesian Journal of Material Chemistry. Vol. 2, No. 1, Hal. 1-4.
- Siemonsma, J. S. dan Piluek, K. 1993. Plant Resources of South-East Asia No. 8: Vegetables. Wageningen: Pudoc Scientific Publishers.
- Silva, V.A.J., Andrade, P.L., Silva, M.P.C., Bustamante, A. D., De Los Santos Valladares, Luis., dan Aguiar, A. J. 2013. Synthesis and Characterization of Fe_3O_4 Nanoparticles Coated with Fucan Polysaccharides. Journal of Magnetism and Magnetic Materials. Vol. 343, Hal. 138-143. DOI: 10.1016/j.jmmm.2013.04.062.
- Sun, P., Hui, C., Khan, R. A., Du, J., Zhang, Q., dan Zhao, Y. 2015. Efficient Removal of Crystal Violet using Fe_3O_4 -Coated Biochar: The Role of The Fe_3O_4 Nanoparticles and Modeling Study Their Adsorption Behavior. Scientific Reports. Vol. 5, No. 1, Hal. 12638. DOI: 10.1038/srep12638.
- Suryanarayana, C. dan Norton, M. G. 1998. X-Ray Diffraction: A Practical Approach. New York: Springer Science+Business Media. ISBN: 978-1-4899-0150-7. DOI: 10.1007/978-1-4899-0148-4.
- Sutisna, Wibowo, E., Rokhmat, M., Rahman, D. Y., Murniati, R., Khairurrijal, dan Abdullah, M. 2017. Batik Wastewater Treatment Using TiO_2 Nanoparticles Coated on the Surface of Plastic Sheet. Procedia Engineering. Vol. 170, Hal. 78-83. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.03.015.
- Virji, M.A., dan A.B. Stefaniak. 2014. 8.06 - A Review of Engineered Nanomaterial Manufacturing Processes and Associated Exposures. Dalam Comprehensive Materials Processing, disunting oleh Saleem Hashmi, Gilmar Ferreira Batalha, Chester J. Van Tyne, dan Bekir Yilbas, 103–25. Oxford: Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096532-1.00811-6>.
- Wang, J. dan Guo, X. 2020. Adsorption Kinetic Models: Physical Meanings, Applications, and Solving Methods. Journal of Hazardous Materials. Vp. 390, Hal. 122156. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.122156.
- Wewengkang, D. S. dan Rotinsulu, H. 2021. Galenika. Klaten: Lakeisha.
- Wonghirundecha, S., Benjakul. S., dan Sumpavapo, P. 2014. Total Phenolic Content, Antioxidant and Antimicrobial Activities Of Stink Bean (*Parkia speciosa* Hassk.) Pod Extracts. Songklanakarin Journal Of Science and Technology. Vol. 36, No. 3, Hal. 301-308.
- Worch, E. 2012. Adsorption Technology in Water Treatment: Fundamentals, Processes, and Modeling. Germany: De Gruyter.
- Xiao, J., Lv, W., Xie, Z., Tan, Y., Song, Y., dan Zheng, Q. 2016. Environmentally Friendly Reduced Graphene Oxide as a Broad-spectrum Adsorbent for

Anionic and Cationic Dyes via π - π Interactions. *Journal Material Chemistry A*. Vol. 4, No. 31, Hal. 12126–12135. DOI: 10.1039/C6TA04119A.

Xu, R-k., Xiao, S-c., Yuan, J-h., dan Zhao, A-z. 2011. Adsorption of Methyl Violet from Aqueous Solutions by The Biochars Derived from Crop Residues. Vol. 102, No. 22, Hal. 10293–10298. DOI: 10.1016/j.biortech.2011.08.089.

