

**GREEN-SYNTHESIS NANOPARTIKEL $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}$ DENGAN EKSTRAK
MORINGA OLEIFERA SEBAGAI DEGRADATOR PADA AIR LIMBAH
ANORGANIK**

TUGAS AKHIR

Untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S-1

Program Studi Fisika



Diajukan oleh:

Wibby Arief

19106020038

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

UIN SUNAN KALIJAGA

YOGYAKARTA

2024

HALAMAN PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

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

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-180/Un.02/DST/PP.00.9/01/2024

Tugas Akhir dengan judul : GREEN-SYNTHESIS NANOPARTIKEL Fe_3O_4/GO DENGAN EKSTRAK MORINGA OLEIFERA SEBAGAI DEGRADATOR PADA AIR LIMBAH ANORGANIK

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : WIBBY ARIEF
Nomor Induk Mahasiswa : 19106020038
Telah diujikan pada : Rabu, 24 Januari 2024
Nilai ujian Tugas Akhir : A

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

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Dr. Widayanti, S.Si, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 65b81272e1ff



Penguji I

Dr. Nita Handayani, S.Si, M.Si.
SIGNED

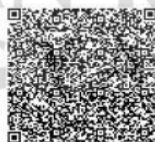
Valid ID: 65b7b17720a4b



Penguji II

Anis Yuniati, S.Si., M.Si., Ph.D.
SIGNED

Valid ID: 65b20cafe2320



Yogyakarta, 24 Januari 2024

UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

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

Valid ID: 65b860e98caa9

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN**SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Wibby Arief
NIM : 19106020038
Program Studi : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul "*Green-Synthesis* Nanopartikel $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}$ Dengan Ekstrak *Moringa Oleifera* Sebagai Degradator Pada Air Limbah Anorganik" merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Yogyakarta, 17 Januari 2024

Penulis



Wibby Arief

NIM. 19106020038

HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan skripsi
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 : WIBBY ARIEF
NIM : 19106020038
Judul Skripsi : *Green-Synthesis* Nanopartikel Fe_3O_4/GO Dengan Ekstrak *Moringa Oleifera* Sebagai Degradator Pada Air Limbah Anorganik

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


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

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 17 Januari 2024

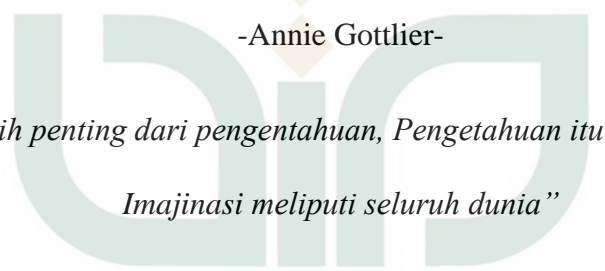
Dosen Pembimbing

Dr. Widayanti, S.Si., M.Si.
NIP. 19760526 200604 2 005

MOTTO

*“Terasa sulit ketika aku merasa harus melakukan sesuatu. Tetapi, menjadi mudah
ketika aku menginginkannya”*

-Annie Gottlier-



*“Imajinasi lebih penting dari pengetahuan, Pengetahuan itu terbatas, Sementara
Imajinasi meliputi seluruh dunia”*

- Albert Einstein -

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT sang pencipta alam semesta beserta isinya, berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “*Green-synthesis* Nanopartikel $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}$ dengan Ekstrak *Moringa Oleifera* Sebagai Degradator Pada Air Limbah Anorganik”. Sholawat serta salam tidak lupa termurnikan kepada nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat, dan para pengikutnya di yaumul akhir. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan sampai laporan kerja praktik ini. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir
2. Orang tua, kakak, kakak ipar, dan keluarga besar tercinta yang tanpa henti memberikan dukungan, do'a, serta kasih sayang.
3. Bapak Prof. Dr. Phil. Al Makin, S.Ag., M.A. selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
4. Ibu Dr. Khurul Wardati, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
5. Ibu Anis Yuniati, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Kepala Program Studi Fisika.
6. Bapak Dr. Thaqibul Fikri Niyartama, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang senantiasa memberi arahan dan masukan selama penulis menempuh pendidikan ini.

7. Ibu Dr. Widayanti, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing yang senantiasa memberikan motivasi, masukan, pengarahan, dan nasihat selama penulis menempuh pendidikan sampai terselesaikannya tugas akhir ini.
8. Bapak Wijayanto, S.Si. selaku Pranata Laboratorium Pendidikan Kimia yang telah memberikan bantuan dan kemudahan fasilitas kepada penulis selama penelitian tugas akhir.
9. Bapak Agung Nugroho, S.Si. selaku Pranata Laboratorium Pendidikan Fisika yang telah mempermudah peminjaman Laboratorium Nano Material kepada penulis selama penelitian tugas akhir.
10. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Fisika yang telah memberikan nasihat dan membagikan ilmunya selama penulis menempuh pendidikan ini.
11. Teman-teman Fisika Angkatan 2019 Fany, Aini, Fafa, dan Bima yang telah mengarungi pendidikan ini bersama-sama dalam suka maupun duka dan saling memberikan dukungan untuk satu sama lain.
12. Semua pihak yang memberikan bantuan dan dukungan dalam penyusunan tugas akhir ini yang tidak disebutkan satu persatu.

Demikian penulis menyadari adanya keterbatasan pengetahuan yang penulis miliki, sehingga laporan kerja praktik ini masih terdapat banyak kekurangan. Penulis mengharapkan adanya saran dan kritik yang bersifat membangun dan laporan ini dapat menambah inspirasi sekaligus wawasan bagi para pembaca.

Wassalamualaikum Wr.Wb.

**GREEN-SYNTHESIS NANOPARTIKEL $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}$ DENGAN EKSTRAK
MORINGA OLEIFERA SEBAGAI DEGRADATOR PADA AIR LIMBAH
ANORGANIK**

Wibby Arief

19106020038

INTISARI

Perkembangan zaman yang semakin maju tanpa disadari dapat menimbulkan berbagai dampak negatif yang perlu diperhatikan. Salah satu contohnya adalah pesatnya industri tekstil, yang menghasilkan limbah zat warna yang dapat merusak biota di lingkungan perairan. *Rhodamine B* merupakan salah satu zat pewarna yang digunakan industri tekstil. Limbah ini memiliki tingkat toksisitas yang tinggi, dapat menyebabkan kanker, dan bahkan berpotensi membunuh organisme akuatik. Oleh karena itu diperlukan suatu metode untuk menguraikan limbah *Rhodamine B*. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}$, mengkarakterisasi komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}$ serta menganalisis pengaruh penambahan GO sebanyak 25%, dan 50% pada Fe_3O_4 terhadap sifat fotokatalitik untuk degradasi *Rhodamine B*. Penelitian ini menggunakan metode fotodegradasi untuk menguraikan *Rhodamine B*. Fotokatalis yang digunakan adalah semikonduktor Fe_3O_4 yang dikompositkan dengan GO. Pembuatan GO dilakukan dengan modifikasi metode Hummer dan Fe_3O_4 disintesis hijau dengan metode kopresipitasi. Proses karakterisasi yang dilakukan adalah XRD, FTIR, UV-Vis, dan pengujian fotokatalitik, dari pengujian yang dilakukan telah berhasil mensintesis komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}$. Hasil pengujian fotokatalitik dengan penambahan GO 50% pada Fe_3O_4 menunjukkan hasil yang paling maksimum dimana *Rhodamine B* yang terdegradasi mencapai 83.92% .

Katakunci: Fotokatalis, Grafena Oksida, *Green-synthesis*, Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}$, Magnetik.

GREEN-SYNTHESIS OF Fe_3O_4 /GO NANOPARTICLES USING MORINGA OLEIFERA EXTRACT AS A DEGRADATOR FOR INORGANIC WASTEWATER

Wibby Arief

19106020038

ABSTRACT

The development of an increasingly advanced era can unwittingly cause various negative impacts that need attention. One example is the rapid textile industry, which produces dye waste that can damage biota in the aquatic environment. *Rhodamine B* is one of the dyes used by the textile industry. These wastes have a high level of toxicity, can cause cancer, and even potentially kill aquatic organisms. Therefore, a method is needed to decompose *Rhodamine B* waste. This study aims to synthesize Fe_3O_4 /GO composites, characterize Fe_3O_4 /GO composites and analyze the effect of adding 25% and 50% GO to Fe_3O_4 on photocatalytic properties for *Rhodamine B* degradation. This study used the photodegradation method to decompose *Rhodamine B*. The photocatalyst used is a Fe_3O_4 semiconductor composite with GO. The manufacture of GO was carried out by modification of the Hummer method and green synthesized Fe_3O_4 by the coprecipitation method. The characterization process carried out is XRD, FTIR, UV-Vis, and photocatalytic testing, from the tests carried out have successfully synthesized Fe_3O_4 / GO composites. Photocatalytic test results with the addition of 50% GO to Fe_3O_4 showed the maximum results where *degraded Rhodamine B* reached 83.92%.

Keywords: Composite Fe_3O_4 /GO, Graphene Oxide, Green-synthesis, Magnetite, Photocatalyst.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI	iv
MOTTO	v
KATA PENGANTAR	vi
INTISARI	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan Penelitian	7
1.4 Batasan Penelitian	7
1.5 Manfaat Penelitian	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1 Studi Pustaka	10
2.2 Landasan Teori	13
2.2.1 Green-synthesis	13
2.2.2 <i>Moringa Oleifera</i> (MO)	16
2.2.3 Magnetik (Fe_3O_4)	18
2.2.4 <i>Graphene Oxide</i> (GO)	24
2.2.5 <i>Rhodamine B</i> (Rh-B)	28
2.2.6 Fotodegradasi	31
2.2.7 Fotokatalis	32
2.2.8 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	34
2.2.9 <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	37
2.2.10 Spektroskopi Ultra Violet-Visible (UV-Vis)	40
BAB III METODE PENELITIAN	44
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	44
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	44
3.3 Prosedur Penelitian	45

3.3.1 Ekstraksi MO	46
3.3.2 Green-synthesis Fe ₃ O ₄	47
3.3.3 Sintesis GO (<i>Graphene Oxide</i>)	48
3.3.4 Sintesis Komposit Fe ₃ O ₄ /GO	49
3.3.5 Pengujian Fotokatalis	50
3.3.6 Karakterisasi Sampel.....	51
3.3.7 Analisa Hasil	52
3.4 Metode Analisis Data	52
3.4.1 Hasil pengujian menggunakan XRD.....	52
3.4.2 Hasil pengujian FTIR.....	53
3.4.3 Uji Fotokatalis.....	53
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1 Hasil Penelitian	55
4.1.1 Hasil Sintesis Fe ₃ O ₄ , GO, dan Komposit Fe ₃ O ₄ /GO	55
4.1.2 Hasil Karakterisasi	55
4.1.3 Hasil Pengujian Fotokatalis	57
4.2 Pembahasan.....	60
4.2.1 Sintesis Fe ₃ O ₄ , GO, Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /GO	60
4.2.2 Karakterisasi.....	65
4.2.3 Pengujian Fotokatalis.....	68
4.3 Integrasi-Interkoneksi	73
BAB V KESIMPULAN	76
5.1 Kesimpulan	76
5.2 Saran.....	76
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN	89

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Studi pustaka	10
Tabel 2.2 Hasil Uji Fitokimia pada Daun Kelor (Wayan, 2016).....	17
Tabel 2.3 Sifat-sifat magnetik (Daoush, 2017)	19
Tabel 2.4 Bilangan gelombang gugus fungsi (Rohman dkk., 2013).....	40
Tabel 4.1 Hasil Nilai Absorbansi Larutan Standar <i>Rhodamine B</i>	57
Tabel 4.2 Nilai Absorbansi Konsentrasi Larutan Rhodamine B setelah degradasi	59
Tabel 4.3 Nilai Persen Degradasi Larutan Rhodamine B setelah Iradiasi	59
Tabel 4.4 Gugus Fungsi Spesifik	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skematis mekanisme sintesis NP oksida logam dengan tumbuhan, alga, jamur dan bakteri (Priya dkk., 2021).....	15
Gambar 2.2 (a) Struktur spinel nanopartikel Fe_3O_4 , (b). Struktur heksagonal Fe_3O_4 (Rachmad dkk., 2021).	20
Gambar 2.3 Magnetisasi versus kurva medan terapan (M–H) untuk SPM (warna hijau) dan feromagnetik (FM) (oranye) nanopartikel Fe_3O_4 (Nguyen dkk., 2021).	22
Gambar 2.4 Oksidasi lembaran graphene untuk membentuk Graphene Oxide (Syakir dkk., 2015).....	25
Gambar 2.5 Struktur molekul Rhodamin B (Byrappa Dkk, 2006).....	29
Gambar 2.6 Mekanisme fotodegradasi (Abdullah dkk., 2017).	31
Gambar 2.7 Skema aktivitas fotokatalis (Sutanto & Wibowo, 2015).	33
Gambar 2.8 Ilustrasi difraksi sinar-X (Jamaluddin, 2010).	36
Gambar 2.9 Sistem optik Spektrofotometer FTIR (Santoso, Dkk 2006)	38
Gambar 2.10 Prinsip kerja spektrofotometer UV-Vis (Triyati, 1985).	42
Gambar 3.1 Diagram alir	46
Gambar 4.1 Hasil sintesis a). Fe_3O_4 , b). GO, dan c). Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}$	55
Gambar 4.2 Grafik XRD Fe_3O_4	56
Gambar 4.3 Grafik FTIR a). Fe_3O_4 , b). GO, c). $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}$	56
Gambar 4.4 Kurva panjang gelombang maksimum absorbansi Rhodamine B ...	57
Gambar 4.5 Kurva regresi linier	58
Gambar 4.6 Larutan Rhodamine B setelah degradasi a). Fe_3O_4 , b). $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}$ 25%, dan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}$ 50%	58
Gambar 4.7 Grafik Nilai Absorbansi Larutan <i>Rhodamine B</i> Setelah Degradasi. 60	
Gambar 4.8 Grafik Nilai Persentase Degradasi Larutan <i>Rhodamine B</i>	60
Gambar 4.9 a). Ekstraksi MO b). Siring Prekursor, c). Pencampuran 2 Larutan Prekursor, d). Titrasi NH_4OH 10% e). Pengendapan & Pencuciann Fe_3O_4	62
Gambar 4.10 Mekanisme Pembentukan Nanopartikel Magnetik MO(Cuana dkk., 2022).	63
Gambar 4.11 a). Siring Prekursor Suhu $>20^\circ\text{C}$, b). Larutan Grafit Setelah KMnO_4 , c). Larutan Telah Mengalami Oksidasi.....	64
Gambar 4.12 Sonikasi Sampel Material	65

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan pencemaran lingkungan akibat limbah industri merupakan isu yang sering muncul di negara-negara berkembang, termasuk Indonesia. Di Indonesia, terdapat beberapa sektor industri seperti industri cat, tekstil, dan furniture yang menghasilkan limbah cair selama tahap produksinya (Bottardi dkk., 2020; Lolo & Pambudi, 2020). Dalam sektor tekstil, terdapat produksi sekitar 749 ton pewarna sintetis setiap tahunnya, dan sekitar 10% dari jumlah tersebut dilepaskan ke lingkungan sebagai limbah (Chandanshive dkk., 2018). Adapun limbah cair yang dihasilkan berupa Pb (II), Cr (VI), Cr (III), Cd (II), Hg (II), Cu (II), Ni (II), Zn (II), *methylene blue* dan *Rhodamine B* (RhB). Limbah ini memiliki tingkat toksisitas yang tinggi, dapat menyebabkan kanker, dan bahkan berpotensi membunuh organisme akuatik (Lolo & Pambudi, 2020). Jika limbah cair ini tidak dikelola dengan baik, maka akan berdampak negatif pada lingkungan sekitar pabrik tersebut.

Tingkat pencemaran dan bahaya yang ditimbulkan oleh limbah cair tergantung pada jenis dan karakteristik limbah tersebut. Banyak pewarna limbah cair dan metabolit diketahui sebagai zat beracun dan karsinogen (Pagga, 1994). Salah satu contohnya adalah penggunaan *Rhodamine B* yang dapat menyebabkan masalah kulit, kerusakan mata, dan efek mutagenik pada beberapa organisme. Pewarna sintetis *Rhodamine B* sulit terdegradasi karena termasuk dalam kelompok pewarna

xanthene dan kelompok xanthene memiliki struktur kimia yang membuatnya tahan terhadap degradasi yang disebabkan oleh paparan sinar UV, oksidasi, atau pengaruh lingkungan lainnya. (Joshi dkk., 2020).

Meskipun berbagai upaya telah dilakukan untuk mengurangi dan menangani limbah cair tersebut, pengolahan limbah masih belum optimal. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, seperti kurangnya teknologi yang efektif dalam pengolahan limbah dan bahaya dari efek samping proses pengolahan. Namun, para peneliti telah mengembangkan berbagai metode pengolahan limbah cair tekstil yang populer, termasuk klorinasi, ozonisasi, biodegradasi, absorpsi, dan degradasi (Enrico, 2019).

Kerusakan yang dapat terjadi karena tindakan manusia adalah perusakan alam dan pencemaran air sungai akibat pembuangan limbah yang melanggar aturan, disebutkan dalam Al-Qur'an surah Ar-Rum ayat 41 yang berbunyi:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya: “Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan perbuatan tangan manusia. (Melalui hal itu) Allah membuat mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka agar mereka kembali (ke jalan yang benar).”

Menurut penafsiran Quraish Shihab, ayat ini mengindikasikan bahwa tidak ada ciptaan Allah yang rusak, tercemar, atau kehilangan keseimbangannya seperti saat awal terciptanya. Kerusakan, pencemaran, dan ketidakseimbangan lingkungan yang terjadi adalah akibat dari tindakan manusia yang sengaja mengubah fitrah Allah dalam menciptakan lingkungan yang seimbang dan sempurna.

Proses degradasi limbah cair melalui metode fotodegradasi merupakan salah satu metode efektif dan efisien karena bahan mudah untuk didapatkan dan biaya

yang dikeluarkan relatif lebih murah (Salim A., 2018). Proses ini menggunakan sinar ultraviolet dari lampu uv untuk proses degradasi senyawa organik. Fotodegradasi dapat menguraikan senyawa organik yang berbahaya dan mengubahnya menjadi senyawa yang tidak berbahaya yaitu CO₂ dan H₂O. Agar proses fotodegradasi dapat berjalan dengan efektif, penggunaan material semikonduktor sebagai katalis menjadi sangat penting dalam merangsang reaksi fotokatalisis (Sutanto & Wibowo, 2015).

Dalam fotokatalisis, foton dengan energi $h\nu$ yang melebihi energi celah pita material semikonduktor akan mendorong elektron dari pita valensi ke pita konduksi, sehingga menghasilkan *electrone-hole*. Terbentuknya pasangan *electrone-hole* ini memungkinkan reaksi fotokatalisis terjadi dan dalam proses fotokatalisis terjadi interaksi antara pasangan *electrone-hole* (e^- dan h^+) yang diaktifkan oleh cahaya. Katalis ini kemudian bereaksi dengan senyawa kimia yang berada di dekat atau di permukaannya. Material semikonduktor yang umum digunakan dalam fotokatalisis adalah titanium dioksida (TiO₂) (Nur Rahmawati, 2022). Namun, TiO₂ memiliki kelemahan sulit dipisahkan jika digunakan dalam sistem larutan (terdispersi dalam air), campuran larutan juga akan berwarna keruh sehingga menghalangi radiasi sinar UV. Dengan begitu, TiO₂ tidak mampu mengaktifkan seluruh partikel fotokatalis (Houari dkk., 2005). Oleh karena itu, solusi untuk permasalahan ini yaitu dengan pengembangan bahan fotokatalis berbasis nanopartikel magnetik.

Menurut Kadam dkk. (2018), katalis yang digunakan dalam fotokatalisis tidak hanya terbatas pada material semikonduktor murni. Mereka telah melakukan

investigasi terhadap logam nano-oksidasi sebagai katalis yang efisien. Salah satu contoh bahan katalis yang dapat digunakan adalah magnetik (Fe_3O_4). Magnetik (Fe_3O_4) merupakan oksida besi yang termasuk dalam kelompok bahan Superparamagnetik yang murah, tidak toksik, biokompatibel, mudah didapatkan, memiliki *band gap* yang lebih kecil dari TiO_2 (2,2-2,7 eV) yaitu 0,6 - 0,8 eV, dan dapat digunakan sebagai fotokatalis. Selain itu, magnetik (Fe_3O_4) memiliki sifat magnetisasi saturasi yang tinggi, yaitu sekitar 90 emu/gram, yang membuatnya memiliki aplikasi yang luas (Saragi dkk., 2017). Karena sifat superparamagnetiknya, Fe_3O_4 dapat dengan mudah dipisahkan dari larutan menggunakan medan magnet eksternal. Hal ini memungkinkan Fe_3O_4 dapat digunakan kembali untuk proses degradasi berikutnya. Fe_3O_4 dapat disintesis baik dari prekursor kimia maupun dari bahan alam seperti pasir besi (Imran dkk., 2021; Pradipta dkk., 2021). Namun, Fe_3O_4 juga memiliki beberapa kelemahan, seperti mudah teroksidasi, tidak stabil terhadap suhu tinggi maupun asam, dan rentan terhadap aglomerasi. Aglomerasi dapat mengurangi dispersibilitas material dan mengurangi efisiensi penggunaan Fe_3O_4 pada aplikasi (Heriansyah dkk., 2015).

Berbagai pendekatan telah digunakan untuk sintesis partikel nano oksida besi secara efisien dengan berbagai bentuk dan ukuran. Sebuah penelitian melaporkan bahwa di antara metode yang digunakan untuk mensintesis nanopartikel besi oksida 90% adalah metode kimia, di ikuti dengan metode fisika (8%) dan biologi (2%) (Ali dkk., 2016; Dash dkk., 2019).

Metode kimia ini melibatkan proses seperti hidrotermal, elektrokimia, sol-gel, kopresipitasi kimia, dan pembakaran. Namun, metode ini memiliki keterbatasan

karena proses yang melelahkan, konsumsi energi yang tinggi, dan biaya yang mahal. Selain itu, penggunaan bahan kimia yang sitotoksik dan karsinogenik dapat menghasilkan partikel nano yang tidak aman dan mencemari lingkungan. Karena alasan ini, penggunaan metode kimia dalam sintesis partikel nano membatasi aplikasi biosensor karena sifat racunnya dan dampak negatif pada lingkungan (Noah & Ndangili, 2022; Shah dkk., 2015).

Green-synthesis mendapat perhatian yang besar karena memberikan solusi untuk mengurangi toksisitas yang terkait dengan metode kimia. Metode ini menggunakan bahan alami, seperti mikroorganisme dan tanaman, yang ramah lingkungan (Ying dkk., 2022). Baru-baru ini, proses hijau yang dimediasi tanaman telah digunakan untuk reaksi reduksi dalam sintesis nanopartikel karena sifatnya yang tidak beracun, hemat energi, dan sederhana dalam memproduksi nanopartikel dalam skala besar (Marouzi dkk., 2021).

Terdapat beberapa tanaman yang telah digunakan sebagai agen pereduksi dalam sintesis nanopartikel Fe_3O_4 , seperti *Moringa Oleifera*, *Garcinia mangostana*, *Aloe barbadensis*, *Myrtus communis L.*, dan *Salvia hispanica L.*, Namun, tanaman yang paling populer adalah *Moringa Oleifera* (MO). Menurut literatur, ekstrak daun MO mengandung hampir 20% fenolat dan flavonoid yang berperan penting dalam mereduksi ion besi dalam proses sintesis. Selain itu, konstituen biokimia yang terkandung dalam MO dapat berperan sebagai agen penstabil dan *capping agent* pada struktur nanopartikel Fe_3O_4 (Archana dkk., 2021).

Graphene Oxide (GO) dapat ditambahkan untuk meningkatkan aktivitas fotokatalis karena memiliki struktur pita elektronik yang unik, memiliki akseptor yang kuat, dan penghasil elektron dari proses fotodegradasi (Imran dkk., 2021). GO adalah bahan yang dapat dilihat sebagai lapisan monomolekul tunggal grafit dengan berbagai fungsi yang mengandung oksigen seperti epoksida, karbonik, dan gugus hidroksil. Selain itu, GO juga memiliki sifat mekanik, listrik, termal yang baik dan memiliki rasio luas permukaan per volume yang besar, sehingga GO dapat menjadi absorben yang baik. Beragam aplikasi GO yang telah dikembangkan seperti bio-deteksi, deteksi *surface enhanced raman scattering* (SERS), super kapasitor, nano-filter, pembawa obat, dan penyerapan untuk pewarna (Saragi dkk., 2017).

Kombinasi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}$ dalam fotokatalisis telah diteliti secara luas karena keunggulan tertentu yang dimilikinya. Magnetik memberikan magnetisitas pada material gabungan sehingga memfasilitasi pemulihan katalis setelah reaksi dan juga meningkatkan pemisahan fasa dalam sistem reaksi. Sementara itu, GO berperan sebagai zat sensitiser cahaya atau *co-catalyst* yang membantu penyerapan cahaya dan transfer elektron dari magnetik ke spesies reaktan.

Berdasarkan hal-hal yang dinyatakan tersebut, dilakukan eksperimen untuk mendegradasi limbah Rh-B menggunakan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}$. Nanopartikel Fe_3O_4 diproduksi dengan metode kopresipitasi menggunakan ekstrak MO dan dilapisi dengan *Graphene Oxide* (GO) menggunakan metode Hummer. Karakterisasi nanokomposit dilakukan menggunakan teknik XRD (*X-Ray Diffraction*), FTIR (*Fourier Transform Infrared*), dan UV-Vis (*UV-Visible Spectrophotometry*). Pembuatan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}$ diharapkan dapat

meningkatkan proses fotodegradasi karena dilihat dari kemampuan Fe_3O_4 dan GO yang baik dalam proses degradasi limbah zat cair.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang yang telah dijabarkan maka dapat dirumuskan permasalahan penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana proses pembuatan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}$ dengan metode *green-synthesis* menggunakan ekstrak MO?
2. Bagaimana karakterisasi material nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}$?
3. Bagaimana aktivitas fotokatalitik nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}$ terhadap efisiensi degradasi zat pewarna *Rhodamine B*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini, yaitu:

1. Membuat nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}$ dengan metode *green-synthesis* menggunakan ekstrak MO.
2. Menganalisis hasil karakterisasi material Fe_3O_4 , GO dan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}$
3. Menganalisis aktivitas fotokatalitik nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}$ terhadap efisiensi degradasi zat pewarna *Rhodamine B*.

1.4 Batasan Penelitian

Terdapat batasan-batasan yang diterapkan dalam penelitian ini guna memperjelas ruang lingkup dan keterbatasan penelitian.

1. Bahan utama yang digunakan untuk membuat komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}$ yaitu Fe_3O_4 yang terbuat dari proses kimia dengan bahan kimia FeSO_4 , FeCl_3 , dan Amonia (NH_4OH) yang kemudian ditambahkan bahan organik *moringa oliefera* dan GO yang terbuat dari bahan bubuk grafit beserta bahan kimia H_2SO_4 , NaNO_3 , dan KmNO_4
2. Metode sintesis yang digunakan untuk membuat Fe_3O_4 adalah metode kopresipitasi, sedangkan metode yang digunakan untuk membuat GO adalah metode Hummer, dan metode sintesis yang digunakan untuk membuat komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}$ adalah sonikasi.
3. Zat pewarna yang akan digunakan dalam uji fotokatalis adalah *Rhodamine B*.
4. Larutan uji *Rhodamine B* memiliki konsentrasi 9 ppm.
5. Teknik identifikasi Fe_3O_4 , GO dan komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}$ menggunakan karakterisasi XRD, FTIR, dan UV-Vis.
6. Teknik identifikasi keberhasilan uji fotokatalis menggunakan karakterisasi UV-Vis.
7. Massa komposit yang digunakan untuk uji fotokatalitik adalah 0,050 gram.
8. Variasi waktu yang digunakan dalam uji fotokatalitik adalah 0 menit, 15 menit, 30 menit, 45 menit, dan 60 menit

1.5 Manfaat Penelitian

Berbagai manfaat dari Penelitian ini adalah:

1. Bagi Mahasiswa

Tugas akhir skripsi ini data menjadi suatu referensi bagi mahasiswa dalam meneliti sintesis komposit yang berbahan dasar Fe_3O_4 dan GO khususnya dalam bidang fotodegradasi agar dapat dikembangkan lebih lanjut

2. Bagi Masyarakat

- a. Memberikan Pengentahuan dan wawasan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}$ sebagai fotodegradasi limbah *Rhodamine B*.
- b. Memberikan solusi yang efektif terhadap pengolahan limbah pewarna *Rhodamine B*.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}$ telah berhasil dibuat dengan metode *green-synthesis* menggunakan ekstrak MO. Sintesis Fe_3O_4 menggunakan metode kopresiptiasi, sintesis GO menggunakan metode Hummer dan pembuatan komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}$ menggunakan metode sonikasi.
2. Hasil karakterisasi XRD dan FTIR. Karakterisasi XRD sampel Fe_3O_4 memiliki ukuran rata-rata 12,77 nm sehingga memiliki sifat superparamagnetik dan Fe_3O_4 memiliki struktur kristal *invers spinel cubic*. Hasil karakterisasi FTIR sampel Fe_3O_4 , GO, dan komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}$, terdapat ikatan C=C, C=O, dan Fe-O yang mengindikasikan terbentuknya Fe_3O_4 serta ikatan GO.
3. Aktivitas fotokatalitik telah berhasil dilakukan dengan ditandai adanya perubahan warna pada larutan uji, degradasi akan membuat larutan uji semakin jernih dikarenakan lama waktu iradiasi UV serta pengaruh penambahan GO sehingga konsentrasi *Rhodamine B* semakin kecil. Dari penelitian ini didapatkan bahwa Fe_3O_4 dengan penambahan GO 50% memiliki persen degradasi yang paling tinggi yaitu sebesar 83.92%.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang perlu diperhatikan untuk penelitian berikutnya adalah

1. Melakukan karakterisasi dengan metode lainnya seperti *Scanning Electron Microscopic* (SEM) untuk mengetahui bentuk morfologi tiap sampel katalis.
2. Menambahkan uji karakterisasi XRD pada setiap sampel katalis yang digunakan.
3. Penelitian lebih lanjut mengenai sintesis GO dapat dilakukan juga dengan *green synthesis*.
4. Pada penelitian lebih lanjut uji aktivitas fotokatalis dilakukan penambahan variasi waktu iradiasi yang lebih lama agar efisiensi degradasi mencapai $> 90\%$.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-khattaf, F. S. 2021. *Gold and silver nanoparticles: Green synthesis, microbes, mechanism, factors, plant disease management and environmental risks*. *Saudi Journal of Biological Sciences*, **28(6)**, 3624–3631.
- Abdullah, H., Khan, M., Ong, H. R., & Yaakob, Z. 2017. *Modified TiO₂ photocatalyst for CO₂ photocatalytic reduction: An overview*. *Journal of CO₂ Utilization*, **22**, 15–32.
- Alam, S. N., Sharma, N., & Kumar, L. 2017. *Synthesis of Graphene Oxide (GO) by Modified Hummers Method and Its Thermal Reduction to Obtain Reduced Graphene Oxide (rGO)*. *Graphene*, **06(01)**, 1–18.
- Anastas, P. T., & Warner, J. C. 1998. *Green chemistry: Theory and practice*. Oxford University Press.
- Albeladi, S., Malik, M., & Al-thabaiti, S. 2020. *Facile biofabrication of silver nanoparticles using Salvia officinalis leaf extract and its catalytic activity towards Congo red dye degradation*. *Journal of Materials Research and Technology*, **9**, 10031–10044.
- Ali, A., Zafar, H., Zia, M., Haq, I. ul, Phull, A. R., Ali, J. S., & Hussain, A. 2016. *Synthesis, characterization, applications, and challenges of iron oxide nanoparticles*. *Nanotechnology, Science and Applications*, **9**, 49–67.
- Aliyah, S., 2013. *Ulul Albab dalam Tafsir Fi Zhilali Al-Quran*. *Jurnal Ilmu Agama: Mengkaji Doktrin, Pemikiran, dan Fenomena Agama*, **14(1)**, pp.115-150.
- Anwar, F., Latif, S., Ashraf, M., & Gilani, A. H. 2007. *Moringa oleifera: A food plant with multiple medicinal uses*. *Phytotherapy Research*, **21(1)**, 17–25.
- Archana, V., Joseph Prince, J., & Kalainathan, S. 2021. *Simple One-Step Leaf Extract-Assisted Preparation of α -Fe₂O₃ Nanoparticles, Physicochemical Properties, and Its Sunlight-Driven Photocatalytic Activity on Methylene Blue Dye Degradation*. *Journal of Nanomaterials*, 2021,
- Arfina, A. 2012. *Analisis Kandungan Rhodamin B pada Kosmetik Perona Pipi yang beredar di Pasar Tradisional Kota Makassar* [Diploma, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar].
- Aritonang, A., Krisnandi, Y., & Gunlazuardi, J. 2018. *Modification of TiO₂ Nanotube Arrays with N Doping and Ag Decorating for Enhanced Visible Light Photoelectrocatalytic Degradation of Methylene Blue*.
- Arzt, E. 1998. *Size effects in materials due to microstructural and dimensional constraints: A comparative review*. *Acta Materialia*, **46(16)**, 5611–5626.
- Ashfield, L. 2013. “Complex-shaped Metal Nanoparticles: Bottom-Up Syntheses and Applications.” *Platinum Metals Review*, **57(2)**, 123–126.

- Bagri, A., Mattevi, C., Acik, M., Chabal, Y. J., Chhowalla, M., & Shenoy, V. B. 2010. *Structural evolution during the reduction of chemically derived graphene oxide. Nature Chemistry*, **2(7)**, 581–587.
- Bennett, R. N., Mellon, F. A., Foidl, N., Pratt, J. H., Dupont, M. S., Perkins, L., & Kroon, P. A. 2003. *Profiling Glucosinolates and Phenolics in Vegetative and Reproductive Tissues of the Multi-Purpose Trees Moringa oleifera L. (Horseradish Tree) and Moringa stenopetala L. Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **51(12)**, 3546–3553.
- Bottardi, C., Albéri, M., Baldoncini, M., Chiarelli, E., Montuschi, M., Raptis, K. G. C., Serafini, A., Strati, V., & Mantovani, F. 2020. *Rain rate and radon daughters' activity. Atmospheric Environment*, **238**, 117728.
- Budi Santoso, dkk. 2006. *Buku Petunjuk Praktikum Instrumentasi Analitik*. Polban: Bandung.
- Byrappa, K., A. K. Subramani, S. Ananda, K. M. Lokanatha Rai, R. Dinesh, and M. Yoshimura. 2006. "Photocatalytic Degradation of Rhodamine B Dye Using Hydrothermally Synthesized ZnO." *Bulletin of Materials Science* **29(5)**:433–38.
- Castro, A. L., Nunes, M. R., Carvalho, A. P., Costa, F. M., & Florêncio, M. H. 2008. Synthesis of anatase TiO₂ nanoparticles with high temperature stability and photocatalytic activity. *Solid State Sciences*, **10(5)**, 602–606.
- Chandanshive, V. V., Kadam, S. K., Khandare, R. V., Kurade, M. B., Jeon, B.-H., Jadhav, J. P., & Govindwar, S. P. 2018. In situ phytoremediation of dyes from textile wastewater using garden ornamental plants, effect on soil quality and plant growth. *Chemosphere*, **210**, 968–976.
- Chen, J., Yao, B., Li, C., & Shi, G. 2013. An improved Hummers method for eco-friendly synthesis of graphene oxide. *Carbon*, **64**, 225–229.
- Chin Boon, O., Ng, L. Y., & Mohammad, A. 2018. A review of ZnO nanoparticles as solar photocatalysts: Synthesis, mechanisms and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **81**, 536–551.
- Chong, M. N., Jin, B., Chow, C. W. K., & Saint, C. 2010. Recent developments in photocatalytic water treatment technology: A review. *Water Research*, **44(10)**, 2997–3027.
- Cuana, R., Panre, A. M., Istiqomah, N. I., Tumbelaka, R. M., Sunaryono, Wicaksono, S. T., & Suharyadi, E. 2022. *Green Synthesis of Fe₃O₄/Chitosan Nanoparticles Utilizing Moringa Oleifera Extracts and Their Surface Plasmon Resonance Properties*. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, **11(8)**, 083015.
- Dachriyanus, D. 2017. *ANALISIS STRUKTUR SENYAWA ORGANIK SECARA SPEKTROSKOPI*. Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LPTIK) Universitas Andalas.

- Daoush, W. M. 2017. Co-Precipitation and Magnetic Properties of Magnetite Nanoparticles for Potential Biomedical Applications. *Journal of Nanomedicine Research*.
- Dash, A., Ahmed, M. T., & Selvaraj, R. 2019. Mesoporous magnetite nanoparticles synthesis using the *Peltophorum pterocarpum* pod extract, their antibacterial efficacy against pathogens and ability to remove a pollutant dye. *Journal of Molecular Structure*, **1178**, 268–273.
- Davis, R., & Mauer, L. 2010. Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectroscopy: A Rapid Tool for Detection and Analysis of Foodborne Pathogenic Bacteria. Dalam *Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology Volume 2 (Vol. 2, hlm. 1582–1594)*.
- Ena, E. C. A., Arumsari, A., & Herawati, D. 2017. Analisis Kandungan Rhodamin B pada Sediaan Eye Shadow yang Dijual di Kota Bandung dengan Menggunakan Kromatografi Lapis Tipis “ Spektrofotometri Uv-Vis. *Prosiding Farmasi*, 0, Article 0.
- Enrico, E. 2019. DAMPAK LIMBAH CAIR INDUSTRI TEKSTIL TERHADAP LINGKUNGAN DAN APLIKASI TEHNIK ECO PRINTING SEBAGAI USAHA MENGURANGI LIMBAH. *Moda : The Fashion Journal*, **1(1)**, Article 1.
- Goiti, E., Salinas, M. M., Arias, G., Puglia, D., Kenny, J. M., & Mijangos, C. 2007. Effect of magnetic nanoparticles on the thermal properties of some hydrogels. *Polymer Degradation and Stability*, **92(12)**, 2198–2205.
- Gong, J., & Lin, X. 2003. Facilitated electron transfer of hemoglobin embedded in nanosized Fe₃O₄ matrix based on paraffin impregnated graphite electrode and electrochemical catalysis for trichloroacetic acid. *Microchemical Journal*, **75(1)**, 51–57.
- Goyal, B. R., Agrawal, B. B., Goyal, R. K., & Mehta, A. A. 2007. Phyto-pharmacology of *Moringa oleifera* Lam. - An overview. *Natural Product Radiance*, **6**, 347–353.
- Gudikandula, K., & Charya Maringanti, S. 2016. Synthesis of silver nanoparticles by chemical and biological methods and their antimicrobial properties. *Journal of Experimental Nanoscience*, **11(9)**, 714–721.
- Gupta, A., Gautam, M. K., Singh, R. K., Kumar, M. V., Rao, C. V., Goel, R. K., & Anupurba, S. 2010. Immunomodulatory effect of *Moringa oleifera* Lam. Extract on cyclophosphamide induced toxicity in mice. *INDIAN J EXP BIOL*.
- Handayani, W., Bakir, I.C., dan Purbaningsih, S., 2010, Potensi Ekstrak Beberapa Jenis Tumbuhan sebagai Agen Pereduksi untuk Biosintesis Nanopartikel Perak, Seminar Nasional Biologi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Heriansyah, H., Mustawarman, M., & Suharyadi, E. 2015. KAJIAN SIFAT DIELEKTRIK PADA NANOPARTIKEL MAGNETITE (Fe₃O₄) YANG DIENKAPSULASI POLIMER POLYETHYLENE GLYCOL (PEG-4000). *Spektra: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, **16(3)**, Article 3.

- Houari, M., Saidi, M., Tabet, D., Pichat, P., & Khalaf, H. 2005. The Removal of 4-Chlorophenol and Dichloroacetic Acid in Water Using Ti-, Zr- and Ti/Zr-Pillared Bentonites as Photocatalyst. *American Journal of Applied Sciences*, **2(7)**, 1136–1140.
- Huang, X., Yin, Z., Wu, S., Qi, X., He, Q., Zhang, Q., Yan, Q., Boey, F., & Zhang, H. 2011. Graphene-Based Materials: Synthesis, Characterization, Properties, and Applications. *Small (Weinheim an der Bergstrasse, Germany)*, **7**, 1876–1902.
- Imran, M., Alam, Md. M., Hussain, S., Ali, M. A., Shkir, M., Mohammad, A., Ahamad, T., Kaushik, A., & Irshad, K. 2021. Highly photocatalytic active r-GO/Fe₃O₄ nanocomposites development for enhanced photocatalysis application: A facile low-cost preparation and characterization. *Ceramics International*, **47(22)**, 31973–31982.
- Jeevanandam, J., Chan, Y. S., & Danquah, M. K. 2016. Biosynthesis of Metal and Metal Oxide Nanoparticles. *ChemBioEng Reviews*, **3(2)**, 55–67.
- Josephine N. Kasolo. 2012. Zerumbone isolated from Zingiber zerumbet inhibits inflammation and pain in rats. *Journal of Medicinal Plants Research*, **6(2)**.
- Joshi, N. C., Congthak, R., & Gururani, P. (2020). Synthesis, adsorptive performances and photo-catalytic activity of graphene oxide/TiO₂ (GO/TiO₂) nanocomposite-based adsorbent. *Nanotechnology for Environmental Engineering*, **5(3)**, 21.
- Kadam, A. N., Bhopate, D. P., Kondalkar, V. V., Majhi, S. M., Bathula, C. D., Tran, A.-V., & Lee, S.-W. 2018. Facile synthesis of Ag-ZnO core-shell nanostructures with enhanced photocatalytic activity. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, **61**, 78–86.
- Karmanto, K. 2013. Sintesis Dan Karakterisasi Material Lempung Magnetik (Mg/alhydrotalcite- Magnetit). *Jurnal Kaunia*, **9(2)**, 34–46.
- Kasolo, J., Ojok, L., Ochieng, J., & Ogwal-Okeng, J. 2010. Phytochemicals and uses of Moringa oleifera leaves in Ugandan rural communities. *Journal of Medicinal Plants Research*, **4**.
- Kassegn, G. 2020. Synthesis method, antibacterial and photocatalytic activity of ZnO nanoparticles for azo dyes in wastewater treatment: A review. *Inorganic Chemistry Communications*, **120**, 108140.
- Khaira, R., Ulinas, A., & Azhar, M. 2020. Sintesis Nanopartikel Magnetik Besi Oksida (Fe₃O₄) Menggunakan Ekstrak Daun Sirih Merah (Piper Crocatum) sebagai Agen Pelindung (Capping Agent). **9(2)**.
- Khasinah, S., 2013. Hakikat manusia menurut pandangan islam dan Barat. *Jurnal Ilmiah Didaktika: Media Ilmiah Pendidikan dan Pengajaran*, **13(2)**.
- Korkmaz, S., & Kariper, İ. A. 2020. Graphene and graphene oxide based aerogels: Synthesis, characteristics and supercapacitor applications. *Journal of Energy Storage*, **27**, 101038.

- Krishnamoorthy, K., Veerapandian, M., Yun, K., & Kim, S.-J. 2013. The chemical and structural analysis of graphene oxide with different degrees of oxidation. *Carbon*, **53**, 38–49.
- Kumar, A. 2017. Photodegradation of Methyl Orange in Aqueous Solution by the Visible Light Active Co:La:TiO₂ Nanocomposite. *Journal of Chemical Sciences*, **8**.
- Kumar, H., & Rani, R. 2013. Structural and Optical Characterization of ZnO Nanoparticles Synthesized by Microemulsion Route. *International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy*, **19**, 26–36.
- Lee, N., & Hyeon, T. 2012. Designed synthesis of uniformly sized iron oxide nanoparticles for efficient magnetic resonance imaging contrast agents. *Chemical Society Reviews*, **41**(7), 2575–2589.
- Li, B., & Wang, Y. 2010. Facile synthesis and photocatalytic activity of ZnO–CuO nanocomposite. *Superlattices and Microstructures*, **47**(5), 615–623.
- Linsebigler, A. L., Lu, G., & Yates, J. T. Jr. 1995. Photocatalysis on TiO₂ Surfaces: Principles, Mechanisms, and Selected Results. *Chemical Reviews*, **95**(3), 735–758.
- Lolo, E. U., & Pambudi, Y. S. 2020. Penurunan Parameter Pencemar Limbah Cair Industri Tekstil Secara Koagulasi Flokulasi (Studi Kasus: IPAL Kampung Batik Laweyan, Surakarta, Jawa Tengah, Indonesia). *Jurnal Serambi Engineering*, **5**(3), Article 3.
- M. N. Somchit. 2012. Zerumbone isolated from Zingiber zerumbet inhibits inflammation and pain in rats. *Journal of Medicinal Plants Research*, **6**(2).
- M. Quraish Shihab, S. 2002. “Membumikan” Al-Quran: Fungsi dan Peran Wahyu dalam Kehidupan Masyarakat. Mizan Pustaka.
- Ma, Y.-X., Li, Y.-F., Zhao, G.-H., Yang, L.-Q., Wang, J.-Z., Shan, X., & Yan, X. 2012. Preparation and characterization of graphite nanosheets decorated with Fe₃O₄ nanoparticles used in the immobilization of glucoamylase. *Carbon*, **50**(8), 2976–2986.
- Mahdavi, H., Rahmani, O., & Shahverdi, A. R. 2017. Polyacrylamide/reduced graphene oxide-Ag nanocomposite as highly efficient antibacterial transparent film. *Journal of the Iranian Chemical Society*, **14**(1), 37–46.
- Maity, D., Kale, S. N., Kaul-Ghanekar, R., Xue, J.-M., & Ding, J. 2009. Studies of magnetite nanoparticles synthesized by thermal decomposition of iron (III) acetylacetonate in tri(ethylene glycol). *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **321**(19), 3093–3098.
- Makarov, V., Love, A., Sinitsyna, O., Makarova, S., Yaminsky, I., Taliany, M., & Kalinina, N. 2014. “Green” Nanotechnologies: Synthesis of Metal Nanoparticles Using Plants. *Acta naturae*, **6**, 35–44.

- Makarov, V. V., Love, A. J., Sinitsyna, O. V., Makarova, S. S., Yaminsky, I. V., Taliansky, M. E., & Kalinina, N. O. 2014. "Green" Nanotechnologies: Synthesis of Metal Nanoparticles Using Plants. *Acta Naturae*, **6(1)**, 35–44.
- Makkar, H. P. S., & Becker, K. 1997. Nutrients and antiquality factors in different morphological parts of the *Moringa oleifera* tree. *The Journal of Agricultural Science*, *128(3)*, 311–322.
- Marcano, D. C., Kosynkin, D. V., Berlin, J. M., Sinitskii, A., Sun, Z., Slesarev, A., Alemany, L. B., Lu, W., & Tour, J. M. 2010. Improved Synthesis of Graphene Oxide. *ACS Nano*, **4(8)**, 4806–4814.
- Marouzi, S., Sabouri, Z., & Darroudi, M. 2021. Greener synthesis and medical applications of metal oxide nanoparticles. *Ceramics International*, **47(14)**, 19632–19650.
- Matos, R., Kuźniarska-Biernacka, I., Rocha, M., Belo, J. H., Araújo, J. P., Estrada, A. C., Lopes, J. L., Shah, T., Korgel, B. A., Pereira, C., Trindade, T., & Freire, C. 2023. Design and photo-Fenton performance of Graphene/CuS/Fe₃O₄ tertiary nanocomposites for Rhodamine B degradation. *Catalysis Today*, **418**, 114132.
- Meng, J., Yang, G., Yan, L., & Wang, X. 2005. Synthesis and characterization of magnetic nanometer pigment Fe₃O₄. *Dyes and Pigments*, **66(2)**, 109–113.
- Missa, M. M. Y., Pingak, R. K., & Sutaji, H. I. 2018. Penentuan Celah Energi Optik Ekstrak Daun Alpukat (Persea Americana Mill) Asal Desa Oinlasi Menggunakan Metode Tauc Plot. *Jurnal Fisika*, **3(2)**, 86–90.
- Naimah, S., A., S. A., Jati, B. N., Aidha, N. N., & Cahyaningtyas, A. A. 2014. Degradasi Zat Warna Pada Limbah Cair Industri Tekstil Dengan Metode Fotokatalitik Menggunakan Nanokomposit Tio₂ – Zeolit. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, **36(2)**, 225.
- Neolaka, Y. A. B., Lawa, Y., Naat, J. N., Riwu, A. A. P., Iqbal, M., Darmokoesoemo, H., & Kusuma, H. S. 2020. The adsorption of Cr(VI) from water samples using graphene oxide-magnetic (GO-Fe₃O₄) synthesized from natural cellulose-based graphite (kusambi wood or Schleicheria oleosa): Study of kinetics, isotherms and thermodynamics. *Journal of Materials Research and Technology*, **9(3)**, 6544–6556.
- Nguyen, M. D., Tran, H.-V., Xu, S., & Lee, T. R. 2021. Fe₃O₄ Nanoparticles: Structures, Synthesis, Magnetic Properties, Surface Functionalization, and Emerging Applications. *Applied Sciences*, **11(23)**, 11301.
- Nguyen, S., Feng, J., Ng, S., Wong, J., Tan, V. B. C., & Duong, H. 2014. Advanced thermal insulation and absorption properties of recycled cellulose aerogels. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **445**, 128–134.
- Ningtyas, S. A. 2010. *Sintesis partikel nano ZnCo₂O₂ dengan metode kopresipitasi dan karakterisasi struktur serta magneto dielektrisitasnya / Sri Astutik Ningtyas* [Diploma, Universitas Negeri Malang].

- Noah, N. M., & Ndongili, P. M. 2022. Green synthesis of nanomaterials from sustainable materials for biosensors and drug delivery. *Sensors International*, **3**, 100166.
- Nur Rahmawati, A. 2022. Pembuatan dan Karakterisasi Struktur dan Morfologi Lapisan ZnO:Al/GO Submicron-Rods sebagai Material Aktif Fotokatalis. *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*, **6(1)**, 90–101.
- Pagga, U. 1994. Development of a method for adsorption of dyestuffs on activated sludge. *Water Research*, **28(5)**, 1051–1057.
- Panda, G. C., Das, S. K., & Guha, A. K. 2009. Jute stick powder as a potential biomass for the removal of congo red and rhodamine B from their aqueous solution. *Journal of Hazardous Materials*, **164(1)**, 374–379.
- Pandey, A., RD, P., Tripathi, P., PP, G., & J, H. 2011. Moringa Oleifera Lam. (Sahijan) - A Plant with a Plethora of Diverse Therapeutic Benefits: An Updated Retrospection. *Medicinal and Aromatic Plants*, **1**, 1–8.
- Pradipta, A. R., Enriyani, R., Rahmatia, L., & Utami, A. 2021. Sintesis Nanokomposit Fe₃O₄/TiO₂ Sebagai Fotokatalis yang Dapat Diambil Kembali Dalam Fotoreduksi Limbah Ion Perak(I). *WARTA AKAB*, **44(2)**.
- Prasad, C., Liu, Q., Tang, H., Yuvaraja, G., Long, J., Rammohan, A., & Zyryanov, G. V. 2020. An overview of graphene oxide supported semiconductors based photocatalysts: Properties, synthesis and photocatalytic applications. *Journal of Molecular Liquids*, **297**, 111826.
- Prasetyowati, R., Widiawati, D., Swastika, P. E., Ariswan, A., & Warsono, W. 2021. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Magnetit (Fe₃O₄) Berbasis Pasir Besi Pantai Glagah Kulon Progo dengan Metode Kopresipitasi pada Berbagai Variasi Konsentrasi NH₄OH. *Jurnal Sains Dasar*, **10(2)**, Article 2.
- Pratama Putra, I. W. D. (t.t.). *Identifikasi Senyawa Kimia Ekstrak Etanol Daun Kelor (Moringa oleifera L) di Bali*. Indonesia Medicus Veterinus.
- Pratapa, S. 2009. Difraksi Sinar-X untuk Sidikjari dalam Analisis Nanostruktur. *Prosiding Seminar Nasional Hamburan Neutron dan Sinar-X ke 7*.
- Priya, Naveen, Kaur, K., & Sidhu, A. K. 2021. Green Synthesis: An Eco-friendly Route for the Synthesis of Iron Oxide Nanoparticles. *Frontiers in Nanotechnology*, **3**, 655062.
- Putri, L. E. 2017. Penentuan Konsentrasi Senyawa Berwarna KMnO₄ Dengan Metoda Spektroskopi UV Visible. *Natural Science*, **3(1)**, Article 1.
- Rachmad, A. P., M.Si 2021. Biosensor Berbasis Surface Plasmon Resonance (SPR). Deepublish.
- Rafitasari, Y., Suhendar, H., Imani, N., Luciana, F., Radean, H., & Santoso, I. 2016. SINTESIS GRAPHENE OXIDE DAN REDUCED GRAPHENE OXIDE. *PROSIDING SEMINAR NASIONAL FISIKA (E-JOURNAL)*, **5**, SNF2016-95.

- Riyani, K., Setyaningtyas, T., & Dwiasih, D. W. 2012. Pengolahan Limbah Cair Batik menggunakan Fotokatalis TiO₂-Dopan-N dengan Bantuan Sinar Matahari. *Jurnal Kimia Valensi*, 2(5), Article 5.
- Rohma, A. 2016. *14 Bahaya Rhodamin B pada Makanan*. HaloSehat.
- Rohman, A., Man, Y., & Yusof, F. 2013. The Use of FTIR Spectroscopy and Chemometrics for Rapid Authentication of Extra Virgin Olive Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 91.
- Salim A., A. 2018. A., Agus Salim, Auring Rachminisari, Asep Nana S, and Novianingrum. 2018. "Pengolahan Limbah Secara Fotokatalisis Menggunakan Fe-TiO₂-C." *Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir 43–49*. - Penelusuran Google. Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir.
- Saragi, T., Permana, B., Saputri, M., Safriani, L., & Iman Rahayu, R. 2018. Karakteristik Optik dan Kristal Nanopartikel Magnetit. *JlIF (Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika)*, 2(1), Article 1.
- Saragi, T., Permana, B., Saputri, M., Safriani, L., Rahayu, I., & Risdiana, R. 2017. SINTESIS NANOPARTIKEL MAGNETIK DENGAN METODE KOPRESIPITASI. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 7(02), Article 02.
- Saragih, C. S. 2016. *SINTESIS NANOPARTICLES MAGNETIK Fe₃O₄ DENGAN COATING PEG 6000 MENGGUNAKAN METODE KOPRESIPITASI SEBAGAI ADSORBEN MATERIAL* [Undergraduate, UNIMED].
- Setiabudi, A., Hardian, R., & Muzakir, A. 2012. *Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia*.
- Shah, M., Fawcett, D., Sharma, S., Tripathy, S. K., & Poinern, G. E. J. 2015. Green Synthesis of Metallic Nanoparticles via Biological Entities. *Materials*, 8(11), Article 11.
- Shahid, M., Shahid-ul-Islam, & Mohammad, F. 2013. Recent advancements in natural dye applications: A review. *Journal of Cleaner Production*, 53, 310–331.
- Sholihah, L. 2010. *SINTESIS DAN KARAKTERISASI PARTIKEL NANO Fe₃O₄ YANG BERASAL DARI PASIR BESI DAN Fe₃O₄ BAHAN KOMERSIAL (ALDRICH)*.
- Sood, S., Umar, A., Mehta, S., & Kansal, S. 2015. Highly effective Fe-doped TiO₂ nanoparticles photocatalysts for visible-light driven photocatalytic degradation of toxic organic compounds. *Journal of colloid and interface science*, 450, 213–223.
- Sudha, P., Asdaq, S., Dhamingi, S., & Chandrakala, G. 2010. Immunomodulatory activity of methanolic leaf extract of Moringa oleifera in animals. *Indian journal of physiology and pharmacology*, 54, 133–140.
- Sunaryono, Taufiq, A., Mashuri, Pratapa, S., Zainuri, M., Triwikantoro, & Darminto. 2015. Various Magnetic Properties of Magnetite Nanoparticles Synthesized from Iron-Sands by Coprecipitation Method at Room Temperature. *Materials Science Forum*, 827, 229–234.

- Sun, S.-N., Wei, C., Zhu, Z.-Z., Hou, Y.-L., Venkatraman, S. S., & Xu, Z.-C. 2014. Magnetic iron oxide nanoparticles: Synthesis and surface coating techniques for biomedical applications. *Chinese Physics B*, **23(3)**, 037503.
- Sutanto, H., & Wibowo, S. 2015. *Semikonduktor Fotokatalis Titania dan Seng Oksida: (Sintesis, Deposisi, dan Aplikasi)*. Teleskop.
- Syakir, N., Nurlina, R., Anam, S., Aprilia, A., Hidayat, S., & Fitrilawati -. 2015. Kajian Pembuatan Oksida Grafit untuk Produksi Oksida Grafena dalam Jumlah Besar (Halaman 26 s.d. 29). *Jurnal Fisika Indonesia*, **19(56)**, Article 56.
- Tanty, H. (2009). *Uji Faktor Tingkat Pemahaman Dan Penggunaan Rhodamine B Pedagang Cabe Merah Giling Menggunakan Fisher Exact Probability Test*. **9(2)**.
- Tara, N., Siddiqui, S. I., Nirala, R. K., Abdulla, N. K., & Chaudhry, S. A. 2020. Synthesis of antibacterial, antioxidant and magnetic Nigella sativa-graphene oxide based nanocomposite BC-GO@Fe₃O₄ for water treatment. *Colloid and Interface Science Communications*, **37**, 100281.
- Tariq, M., Muhammad, M., Khan, J., Raziq, A., Uddin, M., Niaz, A., Ahemd, D. S., & Rahim, A. 2020. Removal of Rhodamine B dye from aqueous solutions using photo-Fenton processes and novel Ni-Cu@MWCNTs photocatalyst. *Journal of Molecular Liquids*, **312**, 113399.
- Taufantri, Y., Irdhawati, I., & Asih, I. A. R. A. 2016. Sintesis dan Karakterisasi Grafena dengan Metode Reduksi Grafit Oksida Menggunakan Pereduksi Zn. *Jurnal Kimia VALENSI*, **2(1)**, 17–23.
- Thao, N. T., Ly, D. T. H., Hoan, D. M., & Nga, H. T. P. 2017. Catalytic activity of TiO₂/sepiolites in the degradation of rhodamine B aqueous solution. *Vietnam Journal of Chemistry*, **55(5)**, Article 5.
- Thyagarajan, A., & Madras, G. 2007. Photocatalytic degradation of rhodamine dyes with nano-TiO₂. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, **46**, 7–14.
- Tiloke, C., & Chuturgoon, A. A. 2017. The Antiproliferative and Antibacterial Effect of Moringa oleifera-Mediated Gold Nanoparticles: A Review. Dalam V. C. Kalia & A. K. Saini (Ed.), *Metabolic Engineering for Bioactive Compounds* (hlm. 269–291). Springer Singapore.
- Triyati, E. 1985. Spektrofotometer Ultra-Violet dan sinar tampak serta aplikasinya dalam Oseanologi. *Oseana*, **X(1)**, Article 1.
- Tumbelaka, R. M., Istiqomah, N. I., Kato, T., Oshima, D., & Suharyadi, E. 2022. High reusability of green-synthesized Fe₃O₄/TiO₂ photocatalyst nanoparticles for efficient degradation of methylene blue dye. *Materials Today Communications*, **33**, 104450.
- Üner, O., Geçgel, U., Kolancılar, H., & Bayrak, Y. 2017. Adsorptive Removal of Rhodamine B with Activated Carbon Obtained from Okra Wastes. *Chemical Engineering Communications*, 204.

- Wang, G., Chen, G., Wei, Z., Dong, X., & Qi, M. (2013). Multifunctional Fe₃O₄/graphene oxide nanocomposites for magnetic resonance imaging and drug delivery. *Materials Chemistry and Physics*, **141**(2–3), 997–1004.
- Wayan, D. P. P. 2016. *Identifikasi Senyawa Kimia Ekstrak Etanol Daun Kelor (Moringa oleifera L) di Bali | Indonesia Medicus Veterinus*.
- Weldegebriael, G. K. 2020. Synthesis method, antibacterial and photocatalytic activity of ZnO nanoparticles for azo dyes in wastewater treatment: A review. *Inorganic Chemistry Communications*, **120**, 108140.
- Xu, C., & Sun, S. 2009. Superparamagnetic nanoparticles as targeted probes for diagnostic and therapeutic applications. *Dalton Transactions*, **29**, 5583.
- Yanlinastuti, & Fatimah, S. 2017. PENGARUH KONSENTRASI PELARUT UNTUK MENENTUKAN KADAR ZIRKONIUM DALAM PADUAN U-Zr DENGAN MENGGUNAKAN METODE SPEKTROFOTOMETRI UV-VIS. *PIN Pengelolaan Instalasi Nuklir*, **9**(17), Article 17.
- Ying, S., Guan, Z., Ofoegbu, P. C., Clubb, P., Rico, C., He, F., & Hong, J. 2022. Green synthesis of nanoparticles: Current developments and limitations. *Environmental Technology & Innovation*, **26**, 102336.
- Yuliarti, N. 2007. *Awas! Bahaya di balik lezatnya makanan* (Yogyakarta). CD RS Bethesda, Andi Offset.
- Zaaba, N. I., Foo, K. L., Hashim, U., Tan, S. J., Liu, W.-W., & Voon, C. H. 2017. Synthesis of Graphene Oxide using Modified Hummers Method: Solvent Influence. *Procedia Engineering*, **184**, 469–477.
- Zayachuk, D. M. 2010. Magnetic susceptibility of the rare earth element impurities in the IV–VI semiconductors and Curie–Weiss law. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **322**(1), 60–64.
- Zhou, G., Wang, D.-W., Li, F., Zhang, L., Li, N., Wu, Z.-S., Wen, L., Lu, G. Q. (Max), & Cheng, H.-M. 2010. Graphene-Wrapped Fe₃O₄ Anode Material with Improved Reversible Capacity and Cyclic Stability for Lithium Ion Batteries. *Chemistry of Materials*, **22**(18), 5306–5313.
- Zhou, S., Fu, Z., Xia, L., Mao, Y., Zhao, W., Wang, A., Zhang, C., Ding, C., & Xu, W. 2020. In situ synthesis of ternary hybrid nanocomposites on natural *Juncus effusus* fiber for adsorption and photodegradation of organic dyes. *Separation and Purification Technology*, **255**, 117671.
- Zhu, K.-R., Zhang, M.-S., Hong, J.-M., & Yin, Z. 2005. Size effect on phase transition sequence of TiO₂ nanocrystal. *Materials Science and Engineering: A*, **403**(1–2), 87–93.
- Zhu, Y., Murali, S., Cai, W., Li, X., Suk, J. W., Potts, J. R., & Ruoff, R. S. 2010. Graphene and Graphene Oxide: Synthesis, Properties, and Applications. *Advanced Materials*, **22**(35), 3906–3924.

Zong, X., & Wang, L. 2014. Ion-exchangeable semiconductor materials for visible light-induced photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, **18**, 32–49.

