

***GREEN-SYNTHESIS* NANOPARTIKEL $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$
MENGUNAKAN EKSTRAK *MORINGA OLEIFERA*
DAN KULIT SEMANGKA SERTA APLIKASINYA
UNTUK FOTODEGRADASI *METHYLENE BLUE***

TUGAS AKHIR

Untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S-1

Program Studi Fisika



Diajukan Oleh:

Estifany Diah Saputri

21106020006

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UIN SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

2025

LEMBAR PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1876/Un.02/DST/PP.00.9/08/2025

Tugas Akhir dengan judul : Green-synthesis Nanopartikel CoFe₂O₄/Cdots Menggunakan Ekstrak Moringa Oleifera Dan Kulit Semangka Serta Aplikasinya Untuk Fotodegradasi Methylene Blue

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : ESTIFANY DIAH SAPUTRI
Nomor Induk Mahasiswa : 21106020006
Telah diujikan pada : Rabu, 13 Agustus 2025
Nilai ujian Tugas Akhir : A-

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

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

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

Valid ID: 68a72b02e849



Penguji I

Asih Melati, S.Si., M.Sc., Ph.D.
SIGNED

Valid ID: 68a68716da39



Penguji II

Sri Hidayati, M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 68a564a90bee



Yogyakarta, 13 Agustus 2025

UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

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

Valid ID: 68a7cf4b8b6ae

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Estifany Diah Saputri

NIM : 21106020006

Program Studi : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “*Green-Synthesis Nanopartikel CoFe₂O₄/Cdots Menggunakan Ekstrak Moringa Oleifera dan Kulit Semangka Serta Aplikasinya Untuk Fotodegradasi Methylene Blue*” 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.

Yogyakarta, 5 Agustus 2025

Penulis



Estifany Diah Saputri
NIM. 21106020006

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR



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 : ESTIFANY DIAH SAPUTRI
NIM : 21106020006
Judul Skripsi : *Green-Synthesis* Nanopartikel $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ Menggunakan Ekstrak *Moringa Oleifera* dan Kulit Semangka Serta Aplikasinya Untuk Fotodegradasi *Methylene Blue*

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

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 1 Agustus 2025

Pembimbing I

Pembimbing II

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

Prof. Dr. Eng. Edi Suharyadi, S.Si., M.Eng.
NIP. 19750315 199903 1 003

MOTTO

“Jika bukan karena Allah yang mampukan, aku mungkin sudah lama menyerah”
(Q.S Al-Insyirah: 05-06)

“Mau sesulit apapun jalannya, kalau Allah mau kamu melewatinya, pasti akan
diberi jalan, jadi tenang saja”
(Q.S Ya-Sin: 82)

“Step by step, nikmati anak tangganya satu persatu, kita tidak lagi balapan sama
siapapun dalam hidup ini. So, enjoy your process”
(Estifany Diah Saputri)

“Apapun yang terjadi, pulanglah sebagai Sarjana”

-Allah plan is better than our dreams-

I'm so proud of me. You did well

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim...

Karya ini merupakan bentuk rasa syukur saya kepada Allah SWT karena telah memberikan nikmat karunia pertolongan yang tiada henti hingga saat ini.

Karya kecil ini saya persembahkan sebagai tanda bakti dan rasa terima kasih yang tiada terhingga kepada Kedua Orang Tua tercinta, Bapak Eko Saputro dan teristimewa Ibu Siti Sunarti yang selalu melangitkan doa-doa baik dan menjadikan motivasi untuk saya dalam menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih sudah mengantarkan saya sampai ditempat ini. Semoga Tuhan Yang Maha Esa menggantikan cinta dan kasih sayang yang telah Bapak dan Ibu berikan kepada saya dengan berkah yang terus mengalir abadi.

Sebagai tanda cinta dan sayang, juga akan kupersembahkan karya kecil ini untuk adikku Elmanda Nora Saputri dan Elka Muh. Surya Saputra yang senantiasa ikut serta dalam memberikan semangat, cinta, dan do'a setiap harinya. Terima kasih karena telah memberikan inspirasi dan dukungan dalam menyelesaikan perkuliahan ini.

Kepada Bapak dan Ibu Dosen Fisika UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah memberikan ilmunya dan mendidik saya menjadi mahasiswa yang lebih baik, semoga ilmunya yang diberikan akan menjadi bermanfaat untuk banyak orang

Almamater Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta

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 CoFe₂O₄/Cdots Menggunakan Ekstrak Moringa Oleifera Dan Kulit Semangka Serta Aplikasinya Untuk Fotodegradasi Methylene Blue*”. Sholawat serta salam tidak lupa termurnikan kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat, dan para pengikutnya di yaumul akhir. Kelancaran dan keberhasilan dalam penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari segala bantuan, bimbingan, serta nasihat dari berbagai pihak yang dengan keikhlasannya mendukung penulisan ini. Untuk itu, penulis menyampaikan rasa terimakasih yang tulus kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
2. Bapak Pof. Noorhaidi Hasan, M.A., M.Phil., Ph.D. selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Ibu Dr. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
4. Ibu Dr. Widayanti, S.Si., M.Si. selaku Kepala Program Studi Fisika sekaligus Dosen Pembimbing I yang senantiasa memberikan motivasi, masukan, pengarahan, dan nasihat selama penulis menempuh pedidikan sampai terselesaikannya tugas akhir ini.
5. Bapak Fida Agung, S.Si., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang senantiasa memberi arahan dan masukan selama penulis menempuh pendidikan ini.
6. Bapak Prof. Dr. Eng. Edi Suharyadi, S.Si., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, motivasi, dan dukungan kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini, serta telah memberikan izin penulis untuk melakukan penelitian tugas akhir ini di Laboratorium Fisika Material dan Instrumentasi FMIPA UGM.

7. Ibu Asih Melati, S.Si., M.Sc., Ph.D. dan Sri Hidayati, M.Sc. sebagai Dosen Penguji yang telah banyak memberikan kritik dan saran yang membangun dalam penulisan skripsi ini.
8. Bapak-Ibu Dosen Fisika UIN Sunan Kalijaga yang telah memberikan bekal ilmu yang bermanfaat baik secara teoritik maupun secara pengalaman.
9. Ayah dan Ibu tercinta, Eko Saputro dan Siti Sunarti, dua orang yang sangat berjasa dalam hidup penulis. Terima kasih atas doa, cinta, kepercayaan dan segala bentuk yang telah diberikan, sehingga penulis merasa terdukung di segala pilihan dan keputusan yang diambil oleh penulis, serta tanpa lelah mendengar keluh kesah penulis hingga di titik ini.
10. Seluruh keluarga tercinta nenek, tante, dan dua adik penulis yang selalu memberi doa dan menyayangi penulis.
11. Teman-teman grup riset “ES-Club” yang telah membantu penulis dalam melakukan penelitian tugas akhir ini.
12. Teman-teman Fisika Material 2021 (Priyo, Azka, Latif, Khoir, Ayu) yang telah mendukung dan membantu penulis baik secara teori, diskusi, maupun suasana yang baik yang menjadikan penulis mampu mempresentasikan dan menyelesaikan tugas akhir ini.
13. Teman-teman seangkatan 2021 yang telah membantu penulis baik dalam perkuliahan ataupun kegiatan diluar akademik.
14. Semua pihak yang memberikan bantuan dan dukungan dalam penyusunan tugas akhir ini yang tidak disebutkan satu persatu.

Dengan segala keterbatasan, penulis menyadari bahwa penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis akan menerima segala kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan penulis kedepannya. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu fisika dan terapannya. *Aamiin.*

Wassalamu’alaikum Wr.Wb.

Yogyakarta, 28 Juli 2025

Estifany Diah Saputri

**GREEN-SYNTHESIS NANOPARTIKEL $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ MENGGUNAKAN
EKSTRAK *MORINGA OLEIFERA* DAN KULIT SEMANGKA SERTA
APLIKASINYA UNTUK FOTODEGRADASI *METHYLENE BLUE***

Estifany Diah Saputri
21106020006

INTISARI

Suatu komposit baru yaitu $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ telah disintesis yang kemudian akan digunakan sebagai fotokatalis. Nanopartikel CoFe_2O_4 dihasilkan melalui proses *green synthesis* dengan melibatkan peran *Moringa Oleifera*. Fenomena yang melandasi penelitian ini adalah maraknya pencemaran air oleh limbah pewarna tekstil. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi massa nanopartikel $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ terhadap degradasi pewarna tekstil *Methylene Blue* (MB) di dalam air. Beberapa teknik karakterisasi telah diterapkan pada nanopartikel yang terbentuk, diantaranya adalah Spektroskopi *Ultraviolet Visible* (UV-Vis) dan *X-Ray Diffraction* (XRD). Setelah disintesis, nanopartikel akan di uji fotokatalitik dengan memvariasi massanya untuk mengetahui pengaruh penambahan massa terhadap persentase degradasi MB di dalam air. Uji fotokatalitik menunjukkan bahwa penambahan massa fotokatalis menyebabkan kenaikan persentase degradasi hingga 99,46%. Namun, efektivitas degradasi mencapai titik keseimbangan pada variasi massa 0,025 gram. Sehingga, komposit ini berpotensi menjadi fotokatalis yang efektif dengan memperhatikan komposisi massanya. Pada hasil karakterisasi UV-Vis ditemukan puncak serapan $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ pada panjang gelombang 211 nm dengan *energy gap* sebesar 3,51 eV. Sedangkan hasil karakterisasi XRD menyatakan bahwa $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ memiliki struktur kristal inverse spinel cubic dengan ukuran kristalit $(7,34 \pm 0,12)$ nm dan parameter kisi $(8,30 \pm 0,04)$ Å.

KATA KUNCI: $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$, *Green synthesis*, *Moringa Oleifera*, *Methylene Blue*, Fotokatalis

**GREEN-SYNTHESIS OF $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ NANOPARTICLES USING
MORINGA OLEIFERA EXTRACT AND WATERMELON PEEL AND ITS
APPLICATION FOR PHOTODEGRADATION OF METHYLENE BLUE**

Estifany Diah Saputri
21106020006

ABSTRACT

In this research, a new composite named $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ will be synthesized as a photocatalyst. CoFe_2O_4 nanoparticle will be green synthesized using Moringa Oleifera extract. The main reason why this research is developed is the widespread water pollution caused by textile dye waste. This research aims to analyze the effect of varying masses of $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ on the degradation percentage of the textile dye Methylene Blue (MB) on wastewater. Several characterization methods will be applied on the formed-nanoparticle, such as X-Ray Diffraction and Ultraviolet Visible spectroscopy (UV-Vis). After being synthesized, the nanoparticle will be tested by varying their mass to examine the effect of mass addition on the degradation percentage of the MB in the wastewater. The photocatalytic test shows that the addition of photocatalyst mass leads to an increase in the degradation percentage up to 99,46%. However, the degradation effectiveness reaches an equilibrium point at a mass variation of 0,025 grams. Therefore, this composite is potential to be an effective photocatalyst, considering its mass composition. On the XRD characterization result indicates that $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ has an inverse spinel cubic crystal structure with a crystallite size $(7,34 \pm 0,12)$ nm and a lattice parameter $(8,30 \pm 0,04)$ Å. Meanwhile, UV-Vis characterization results an absorption peak of $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ revealed at a wavelength of 211 nm with an energy gap of 3,51 eV.

KEYWORDS: $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$, Green synthesis, Moringa Oleifera, Methylene Blue, Photocatalytic.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iv
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.	
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	iv
MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
INTISARI	ix
ABSTRACT.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	8
1.3 Tujuan Penelitian	8
1.4 Batasan Penelitian.....	8
1.5 Manfaat Penelitian	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1 Studi Pustaka	10
2.2 Landasan Teori.....	15
2.2.1 Nanopartikel CoFe_2O_4	15
2.2.2 Carbon nanodots (Cdots).....	17
2.2.3 <i>Green Synthesis</i>	19
2.2.4 <i>Moringa Oleifera</i> (MO).....	21
2.2.5 Semangka	23
2.2.6 <i>Methylene Blue</i> (MB)	24
2.2.7 Metode Kopresipitasi	26
2.2.8 Metode Hidrotermal	26
2.2.9 Metode Sonikasi	28
2.2.9 Fotokatalitik.....	29
2.2.10 X-Ray Diffraction (XRD).....	30
2.2.11 Spektrofotometri Ultra Violet-Visible (UV-Vis).....	32
BAB III METODE PENELITIAN	35
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	35
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	35
3.2.1 Alat Penelitian	36
3.2.2 Bahan Penelitian.....	37
3.3 Prosedur Penelitian	38
3.3.1 Ekstraksi MO.....	40
3.3.2 Green synthesis CoFe_2O_4	40
3.3.3 Ekstraksi kulit semangka dan pembuatan Cdots	41
3.3.4 Sintesis $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$	42
3.3.5 Pengujian Fotokatalis	44
3.3.6 Karakterisasi dan Pengolahan Data Karakterisasi	45
3.3.7 Analisa hasil	47
3.4 Metode Analisis Data.....	47

3.4.1	Karakterisasi menggunakan XRD	47
3.4.2	Karakterisasi menggunakan UV-Vis.....	49
3.4.3	Perhitungan uji fotokatalis.....	50
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	51
4.1	Hasil Penelitian.....	51
4.1.1	Hasil sintesis CoFe ₂ O ₄ , Cdots, dan komposit CoFe ₂ O ₄ /Cdots	51
4.1.2	Hasil Karakterisasi.....	51
4.1.3	Hasil Pengujian Fotokatalitik	53
4.2	Pembahasan	55
4.2.1	Sintesis CoFe ₂ O ₄ , Cdots, dan komposit CoFe ₂ O ₄ /Cdots	55
4.2.2	Karakterisasi	57
4.2.3	Pengujian Fotokatalitik.....	62
BAB V	KESIMPULAN	66
5.1	Kesimpulan	66
5.2	Saran	66
DAFTAR PUSTAKA		68
LAMPIRAN.....		79



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konfigurasi struktur invers spinel ferrite (Houshiar dkk, 2014).....	16
Gambar 2.2 Struktur CoFe_2O_4 (Dedi dkk., 2018).....	16
Gambar 2.3 Klasifikasi carbon dots (Liu dkk, 2021)	18
Gambar 2.4 Ilustrasi pembentukan Cdots (Liu dkk., 2019)	19
Gambar 2.5 Metode sintesis nanopartikel (Singh dkk., 2018)	21
Gambar 2.6 Moringa Oleifera	22
Gambar 2.7 Semangka.....	23
Gambar 2.8 Struktur MB (Sadhukhan dkk., 2016).....	25
Gambar 2.9 Diagram skematik degradasi MB (Zuo dkk., 2014)	25
Gambar 2.10 Ilustrasi autoclave (Yang & Park, 2019).....	27
Gambar 2.11 Alat sonikator (Naiman dkk., 2020).....	28
Gambar 2.12 Mekanisme fotokatalitik pada $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ (Baogang Wang & Bin Zhao, 2019 ; Das dkk., 2019) (Das et al., 2019)	30
Gambar 2.13 Diagram X-Ray Difraktometer (Speakman, 2012).....	31
Gambar 2.14 Difraksi bidang Bragg sinar-X (Speakman, 2012)	32
Gambar 2.15 Diagram skema spektrofotometer UV-Vis (Prasankumar dan Antoinette, 2011)	34
Gambar 3.1 Diagram alir prosedur penelitian	39
Gambar 3.2 Ilustrasi sintesis nanokomposit (a) Ekstraksi MO, (b) Green synthesis nanopartikel CoFe_2O_4 , (c) Sintesis Cdots kulit semangka, dan (d) Pembuatan $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ (Azzahro dkk., 2025).	43
Gambar 3.3 Ilustrasi skema reaktor fotokatalis dan uji larutan	45
Gambar 4.1 Hasil sintesis a) CoFe_2O_4 , b) Cdots, dan c) $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$	51
Gambar 4.2 Grafik XRD CoFe_2O_4 dan $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$	52
Gambar 4.3 Grafik UV-Vis a) puncak absorbansi CoFe_2O_4 dan $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$, dan b) energi gap CoFe_2O_4 dan $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$	52
Gambar 4.4 Kurva panjang gelombang maksimum absorbansi MB	53
Gambar 4.5 Larutan MB setelah degradasi a) 0,025; b) 0,05; c) 0,075; dan d) 0,1.	54
Gambar 4.6 Grafik nilai persentase degradasi larutan MB.....	54
Gambar 4.7 Grafik hubungan degradasi terhadap massa pada penyinaran 120 menit	54
Gambar 4.8 Ilustrasi skematik fotokatalitik MB menggunakan $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$	65

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Referensi penelitian sebelumnya	13
Tabel 3.1 Alur waktu penelitian.....	35
Tabel 3. 2 Alat penelitian.....	36
Tabel 3.3 Bahan Penelitian.....	37
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan XRD	59
Tabel 4.2 Analisis puncak absorbansi dan energi gap	61



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan data dari Kementrian Perindustrian (2024) menunjukkan bahwa industri tekstil mengalami peningkatan sebesar 10,42% sejak triwulan I 2024. Produk tekstil yang dihasilkan mencapai 194.870 ton pada tahun 2024. Pertumbuhan industri tekstil dan industri pewarnaan yang semakin pesat menyebabkan peningkatan produk samping berupa limbah cair (Behera dkk., 2021). Sampai saat ini, limbah cair menjadi salah satu permasalahan penting dalam lingkungan (Titchou dkk., 2021). Hal ini dikarenakan limbah cair dapat mengandung berbagai pewarna organik (Adyani & Soleimani, 2019) dan logam berat (Jais dkk., 2020). Salah satu pewarna organik yang ditemukan dalam limbah cair adalah *methylene blue* (MB). Setiap proses pewarnaan, sekitar 20% dari total MB yang digunakan dibuang bersama air menjadi limbah cair (Vedula, & Yadav., 2022). MB memiliki rantai molekul yang kompleks sehingga tidak dapat terurai secara alami dan beracun (Khan dkk., 2022). Air yang terkontaminasi zat warna MB dapat menyebabkan berbagai masalah yang cukup serius pada kesehatan manusia dan lingkungan (Imran dkk., 2021). Oleh karena itu, diperlukan metode pemurnian limbah cair agar dapat mengurangi dampak dari limbah zat warna terhadap lingkungan.

Beberapa metode pemurnian limbah yang telah berhasil dilakukan adalah filtrasi, koagulasi, adsorpsi, dan fotokatalitik (Najafabadi dkk., 2022). Adsorpsi dan fotokatalitik merupakan metode yang paling umum digunakan dalam pemurniaan

limbah zat warna. Adsorpsi terjadi karena adanya interaksi permukaan antara adsorben dan adsorbat sehingga menghasilkan polutan baru yang tidak diinginkan, sedangkan fotokatalitik merupakan salah satu teknologi *advance oxidation process*, yaitu prosedur kimiawi untuk mendegradasi material melalui proses reduksi-oksidasi. Proses ini dapat memutus rantai kimia zat warna dapat dipecahkan menjadi molekul sederhana, sehingga mencegah pembentukan polutan baru dan ramah lingkungan (Behera dkk., 2021; Tumbelaka dkk., 2022). Fotokatalitik memerlukan energi luar berupa cahaya untuk membantu memproduksi radikal hidroksil. Radikal hidroksil yang dihasilkan dapat mengubah zat warna organik menjadi senyawa sederhana dan tidak beracun (Rehman dkk., 2020). Fotokatalitik memiliki banyak keuntungan yaitu murah, mudah dioperasikan, efisiensi, fleksibel dan ramah lingkungan.

Fotokatalitik merupakan suatu proses reaksi kimia yang melibatkan material fotokatalis dan cahaya sebagai pemicu (Tumbelaka dkk., 2022). Sinar atau cahaya merupakan faktor yang sangat penting dalam proses fotokatalitik. Energi yang dimiliki oleh cahaya diperlukan untuk mengaktifkan material fotokatalitik sehingga dapat mempercepat suatu reaksi kimia. Manusia telah diperintahkan Allah SWT untuk memanfaatkan cahaya dalam kehidupannya. Allah SWT berfirman dalam QS. Yunus (12):5.

هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسُ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُورًا وَقَدَرَهُ مَنَازِلَ لِتَعْلَمُوا عَدَدَ السِّنِينَ وَالْحِسَابَ مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا

بِالْحَقِّ يُفَصِّلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ ﴿٥﴾

Artinya : “Dialah yang menjadikan matahari bersinar dan bulan bercahaya dan ditetapkan-Nya manzilah-manzilah (tempat-tempat) bagi perjalanan bulan itu, supaya kamu mengetahui bilangan tahun dan perhitungan (waktu). Allah tidak menciptakan yang demikian itu melainkan dengan hak. Dia menjelaskan tanda-tanda (kebesaran-Nya) kepada orang-orang yang mengetahui”

(Shihab, 2002) menjelaskan bahwa Tuhan kalianlah yang menciptakan langit dan bumi, yang menjadikan matahari memancarkan sinar dan bulan mengirimkan cahaya untuk dapat digunakan sebagai perkiraan waktu dan bilangan tahun dalam tafsir al-aisar dikatakan bahwa lafadz ضِيَاء yang berarti sumber cahaya berupa matahari. Kata “*adh-dhiyaa'u*” yang berasal dari kata “*adh-dhau'u*” mempunyai makna cahaya yang sangat terang dan dapat dimanfaatkan. Salah satu kandungan cahaya matahari adalah radiasi sinar ultraviolet (UV) yang memiliki panjang gelombang lebih kecil dari pada sinar tampak, hal tersebut sesuai dengan proses degradasi yang dapat memanfaatkan sinar UV dengan panjang gelombang 365 nm (di bawah panjang gelombang sinar tampak). Pada kalimat مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ, Allah SWT tidak menciptakan segala sesuatu dengan main-main, akan tetapi dalam penciptaan itu ada hikmahnya yang agung dan hujjah yang kuat. Selain itu dapat digunakan sebagai penentu perkiraan waktu dan bilang tahun, sinar matahari juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber cahaya untuk reaksi fotokatalitik.

Proses fotokatalitik dipengaruhi oleh beberapa parameter, seperti konsentrasi polutan, massa katalis, pH, dan luas permukaan (Zhang dkk., 2018). Degradasi yang lebih besar dihasilkan jika massa fotokatalis ditingkatkan hingga massa yang ideal (Alqadami dkk., 2020). Kondisi pH juga mempengaruhi proses

pemurnian limbah karena berhubungan dengan keadaan ionisasi dan muatan permukaan material (Pudza dkk., 2020). Keadaan pH terbaik untuk setiap material dan setiap jenis limbah berbeda (Zhang dkk., 2018). Selain itu, menurut efek ukuran kuantum, semakin kecil ukuran dari suatu material maka luas permukaannya akan semakin besar. Hal ini menjadikan nanomaterial yang memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan *bulk*-nya (Welch dkk., 2021). Luas permukaan yang lebih besar memiliki situs aktif yang lebih banyak sehingga material dapat bekerja lebih efektif. Oleh karena itu, nanomaterial dapat menjadi solusi alternatif untuk meningkatkan kemampuan atau kinerja dari fotokatalitik.

Nanomaterial yang populer digunakan sebagai fotokatalis adalah semikonduktor seperti TiO_2 dan ZnO (Li dkk., 2023). Di sisi lain, nanomaterial seperti *fullerene*, *graphene*, *carbon nanotube*, dan *carbon nanodots* telah menjadi alternatif baru (Long dkk., 2021; Raza dkk., 2022). *Carbon nanodots* (Cdots) merupakan salah satu nanomaterial yang sampai saat ini masih menarik perhatian peneliti (Shi dkk., 2022).

Cdots termasuk dalam karbon 0 dimensi yang berukuran 1-10 nm, strukturnya yang kompleks dapat digambarkan sebagai inti karbon yang memiliki banyak gugus fungsi di permukaannya serta amorf (Astafiev dkk., 2022; Das dkk., 2022). Cdots dapat disintesis dengan metode hidrotermal, *chemical oxidation*, *laser ablation*, dan *microwave irradiation* (Miao dkk., 2020; Sakdaronnarong dkk., 2020). Diantara metode sintesis lainnya, hidrotermal merupakan proses karbonisasi sederhana yang murah, ramah lingkungan, dan dapat menghasilkan partikel dengan ukuran yang relatif seragam (Atchudan dkk., 2020). Selain itu, Cdots dapat

disintesis dengan berbagai prekursor seperti asam organik (Sun, 2018), ekstrak buah (He dkk., 2018), serta biomassa seperti kulit pisang (Atchudan dkk., 2020), kulit buah naga (Zakarias dkk., 2025) dan kulit semangka (Zhou dkk., 2012). Cdots dapat larut dalam air dengan tingkat dispersibilitas tinggi, tidak beracun, biokompatibel dan memiliki *edge effects leading* sehingga dapat digunakan untuk mendeteksi logam berat (Jiao dkk., 2019) dan adsorpsi CO₂ (Dwandaru dkk., 2021). *Photoresponsiveness (fluorescence dan absorbance)* yang kuat pada Cdots terutama serapan pada rentang cahaya UV dapat meningkatkan potensi Cdots sebagai fotokatalis (Das dkk., 2019). Cdots yang disintesis menggunakan prekursor biomassa dengan metode pemanasan sederhana dapat mereduksi 40% MB setelah 12 jam proses fotokatalitik (Haryadi dkk., 2018). Disisi lain, Cdots yang disintesis dengan metode hidrotermal menggunakan prekursor buah pir dapat mencapai degradasi ~99.5% pada polutan MB setelah 130 menit proses fotokatalitik (Das dkk., 2019). Namun, Cdots memiliki kelemahan sulit dipisahkan dari fase cair atau larutan terdegradasi karena ukurannya yang sangat kecil sehingga tidak *reusable* (Sun, 2018; Yu & Kwak, 2012). Selain itu, pemisahan memerlukan prosedur yang rumit dan mahal sehingga tidak efisien dan kurang dapat diaplikasikan dalam skala besar seperti industri. Oleh karena itu, perlu dilakukan kombinasi dengan material lain agar mudah dipisahkan dari zat cair dan dapat meningkatkan kualitas Cdots sebagai fotokatalis.

Salah satu material nanopartikel yang dapat meningkatkan kualitas Cdots adalah *spinel ferrit* seperti CoFe₂O₄ (*cobalt ferrite*) yang dikenal sebagai material yang memiliki sifat superparamagnetik. Selain itu, CoFe₂O₄ memiliki nilai

konstanta anisotropi yang lebih tinggi dibanding Fe_3O_4 (*magnetite*) dan $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (*maghemite*) (Houshiar dkk., 2014). CoFe_2O_4 juga dikenal sebagai nanomaterial magnetik yang dapat dipisahkan dengan mudah dari larutan menggunakan medan magnet eksternal dan beberapa penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa nanopartikel magnetik CoFe_2O_4 dapat digunakan sebagai fotokatalitik. Keberadaan nanopartikel magnetik CoFe_2O_4 dapat meningkatkan efisiensi dari degradasi kontaminan berupa senyawa-senyawa organik. CoFe_2O_4 memiliki *bandgap* 1,17 eV sehingga dapat digunakan dalam menyerap sinar tampak yang lebih banyak dari matahari (Sathishkumar dkk., 2013). Sintesis dan fabrikasi yang dilakukan pada berbagai studi sebelumnya menggunakan metode konvensional, dimana menggunakan bahan-bahan kimia dan menghasilkan produk samping yang berbahaya (Ying dkk., 2022). Kekurangan metode konvensional tersebut dapat diatasi dengan pendekatan *green synthesis*.

Green synthesis merupakan proses sintesis yang memanfaatkan ekstrak dari bagian tanaman seperti daun (López & Antuch, 2020), buah (Kumar dkk., 2020), bunga (Bindhu dkk., 2020), atau mikroorganisme (Bahrulolum dkk., 2021) dan mengurangi penggunaan bahan kimia. Penggunaan bahan alam memberikan kelebihan pada pendekatan *green synthesis* dalam hal ramah lingkungan, tidak beracun, biokompatibilitas yang baik, hemat biaya dan dapat diproduksi dalam skala besar (Rana dkk., 2020). Dibandingkan dengan mikroorganisme, ekstrak tumbuhan lebih banyak digunakan karena tidak membutuhkan masa inkubasi dan preparasinya lebih mudah sehingga proses sintesis lebih singkat. Selain itu, ekstrak tumbuhan memiliki zat fitokimia yang dapat mereduksi ion logam sehingga dapat

digunakan dalam sintesis nanopartikel logam dan logam oksida (Singh dkk., 2018). *Moringa Oleifera* (MO) merupakan salah satu prekursor yang banyak digunakan dalam *green synthesis* logam oksida dan memiliki tingkat keberhasilan sintesis tinggi (Kiwumulo dkk., 2022). Menurut literatur, ekstrak daun MO murni mengandung flavonoid sekitar 6,30% yang berperan penting dalam mereduksi ion besi untuk membentuk nanopartikel besi dan besi oksida (Fatmawati dkk., 2021). Selain agen pereduksi, MO memiliki banyak keuntungan, termasuk kelimpahan, *cost-effectiveness, non-toxicity, and ease of processing* (Larasati dkk., 2023).

Penelitian mengenai *green synthesis* telah dilakukan oleh Sari dkk (2023) menggunakan ekstrak daun MO sebagai *stabilizer* dan pereduksi alami dan juga kulit semangka sebagai sumber karbon. Kulit semangka memiliki beberapa aktivitas farmakologi seperti antibakterial, antimikroba, antioksidan, antiinflamasi, gastroprotektif, analgesik, laksatif, antigiardial dan hepatoprotektif (Deshmukh., 2015). Berbagai khasiat ini tidak lepas dari kandungan metabolit sekunder yang dimiliki oleh kulit semangka seperti alkanoid, flavonoid, fenol, saponin, dan tanin (Alwi dkk., 2022). Selain itu, Kushwaha & Chauhan (2023) telah melakukan sintesis CoFe_2O_4 dengan metode kopresipitasi kimia. Sari, dkk (2023) juga telah melakukan sintesis Cdots dengan metode hidrotermal.

Dari kajian literatur yang telah dilakukan, *green synthesis* nanopartikel $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ menggunakan ekstrak MO dan kulit semangka sebagai fotokatalis belum pernah dilaporkan. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan kajian struktur dan sifat optik dari nanopartikel $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ ini hasil *green synthesis* menggunakan ekstrak MO dan kulit semangka. Nanopartikel diujikan sebagai

fotokatalis untuk mendegradasi limbah pewarna organik. Pengaruh penambahan Cdots dalam nanopartikel terhadap aktivitas fotokatalitik $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ pada fotodegradasi zat warna sintesis MB.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian dilakukan atas dasar beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana memperoleh nanopartikel $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ dengan metode *green synthesis* menggunakan ekstrak MO dan kulit semangka?
2. Bagaimana pengaruh penambahan Cdots terhadap struktur kristal dan sifat optik pada nanopartikel $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$?
3. Bagaimana aktifitas fotokatalitik nanopartikel $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ terhadap efisiensi degradasi zat pewarna MB?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah

1. Memperoleh nanopartikel $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ dengan metode *green synthesis* menggunakan ekstrak MO dan kulit semangka.
2. Menganalisis pengaruh penambahan Cdots terhadap struktur kristal dan sifat optik pada nanopartikel $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$.
3. Menganalisis aktivitas fotokatalitik nanopartikel $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ terhadap efisiensi degradasi zat pewarna MB.

1.4 Batasan Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada pengaruh volume Cdots pada nanopartikel $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ 20 ml terhadap aktivitas fotokatalitik zat pewarna. Pengujian

pemurnian limbah hanya dilakukan dalam skala Laboratorium dengan uji fotokatalitik menggunakan polutan pewarna organik MB dengan alat uji berupa spektrofotometer UV-Vis. Karakterisasi sampel dilakukan hanya menggunakan *X-Ray Diffraction* dan UV-Vis.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai bagaimana menghasilkan sintesis, struktur kristal dan sifat optik dari nanopartikel $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ hasil *green synthesis*. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat menyajikan informasi tentang aktivitas fotokatalitik dari nanopartikel $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ terhadap degradasi limbah pewarna MB.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Nanopartikel $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ telah berhasil disintesis dengan metode *green synthesis* menggunakan ekstrak MO dan kulit semangka.
2. Pengaruh penambahan Cdots terhadap struktur kristal dan sifat optik pada nanopartikel $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ yakni sebagai berikut.
 - a. Hasil pengujian XRD menunjukkan bahwa penambahan Cdots menyebabkan terbentuknya fasa baru selain CoFe_2O_4 yaitu karbon yang ditandai pada bidang (002) dan dapat menurunkan ukuran kristalit.
 - b. Hasil pengujian UV-Vis nanopartikel $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ menunjukkan bahwa penambahan Cdots mengakibatkan semakin besarnya energi gap pada sampel, tetapi tidak mempengaruhi secara signifikan profil absorbansi nanopartikel.
3. Aktivitas fotokatalitik nanopartikel $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ menghasilkan efisiensi degradasi zat pewarna MB mencapai 99,46% dalam 120 menit radiasi UV untuk massa katalis 0,025 gram.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang perlu diperhatikan untuk penelitian berikutnya adalah sebagai berikut.

1. Melakukan karakterisasi katalis lain seperti Fourier Transform Infra-Red (FTIR) dan Scanning Electron Microscopy (SEM). FTIR digunakan untuk mendeteksi gugus fungsi dan jenis ikatan yang terbentuk pada senyawa berdasarkan nilai gelombang dan bilangan gelombangnya dari suatu sampel. SEM digunakan untuk mengetahui bentuk morfologi tiap sampel katalis.
2. Diperlukannya komposit lain untuk menurunkan nilai *energy gap* sehingga dapat diaplikasikan dibawah sinar matahari.
3. Pengujian fotokatalitik dapat menggunakan limbah pewarna lain seperti *methylene orange* atau *rhodamin B*.
4. Uji *reusability*.

DAFTAR PUSTAKA

- Adyani, S. H., & Soleimani, E. (2019). Green synthesis of Ag/Fe₃O₄/RGO nanocomposites by Punica Granatum peel extract: Catalytic activity for reduction of organic pollutants. *International Journal of Hydrogen Energy*, **44**(5), 2711–2730. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.12.012>
- Akbar Hojjati-Najafabadi, Mojtaba Mansoorianfar, Tongxiang Liang, Khashayar Shahin, Yangping Wen, Abbas Bahrami, Ceren Karaman, Najmeh Zare, Hassan Karimi-Maleh, Y. V. (2022). Magnetic-MXene-based nanocomposites for water and wastewater treatment: A review. *Journal of Water Process Engineering*, **4**(7), 102696. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102696>
- Alqadami, A. A., Naushad, M., Ahamad, T., Algamdi, M., Alshahrani, A., Uslu, H., & Shukla, S. K. (2020). Removal of highly toxic cd(ii) metal ions from aqueous medium using magnetic nanocomposite: Adsorption kinetics, isotherm and thermodynamics. *Desalination and Water Treatment*, **18**(1), 355–361. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25108>
- Astafiev, A. A., Shakhov, A. M., Tskhovrebov, A. G., Shatov, A., Gulin, A., Shepel, D., & Nadtochenko, V. A. (2022). Nitrogen-Doped Carbon Nanodots Produced by Femtosecond Laser Synthesis for Effective Fluorophores. *ACS Omega*, **7**(8), 6810–6823. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c06413>
- Atchudan, R., Edison, T. N. J. I., Perumal, S., Muthuchamy, N., & Lee, Y. R. (2020). Hydrophilic nitrogen-doped carbon dots from biowaste using dwarf banana peel for environmental and biological applications. *Fuel*, **27**(3), 117821. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117821>
- Ayu Larasati, D., Lismawenning Puspitarum, D., Yoga Darmawan, M., Imani Istiqomah, N., Partini, J., Aliah, H., & Suharyadi, E. (2023). Green synthesis of CoFe₂O₄/ZnS composite nanoparticles utilizing Moringa Oleifera for magnetic hyperthermia applications. *Results in Materials*, **19**(5), 100431. <https://doi.org/10.1016/j.rinma.2023.100431>
- Azzahro, F., Jiananda., Ayu Larasati, D., Yoga Darmawan, M., Sari, K., Imani Istiqomah, N., Daiki Oshima., Takeshi Kato., Suharyadi, E. (2025). Enhanced magnetic hyperthermia of green-synthesized CoFe₂O₄/C-dots nanocomposites utilizing moringa oleifera extract and watermelon peels. *Materials Chemistry and Physics*, **343**(25), 131037. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2025.131037>

- Bahadur, A., Saeed, A., Shoaib, M., Iqbal, S., Bashir, M. I., Waqas, M., Hussain, M. N., & Abbas, N. (2017). Eco-friendly synthesis of magnetite (Fe₃O₄) nanoparticles with tunable size: Dielectric, magnetic, thermal and optical studies. *Materials Chemistry and Physics*, **19(8)**, 229–235. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2017.05.061>
- Bahrulolum, H., Nooraei, S., Javanshir, N., Tarrahimofrad, H., Mirbagheri, V. S., Easton, A. J., & Ahmadian, G. (2021). *Green synthesis of metal nanoparticles using microorganisms and their application in the agrifood sector*. *Journal of Nanobiotechnology*, **19(1)**, 1–26. <https://doi.org/10.1186/s12951-021-00834-3>
- Baogang Wang, & Bin Zhao. (2019). Carbon Dots/CoFe₂O₄ Mesoporous Nanosphere Composites As a Magnetically Separable Visible Light Photocatalyst. *Russian Journal of Physical Chemistry A*, **93(2)**, 393–399. <https://doi.org/10.1134/S0036024419020043>
- Behera, M., Nayak, J., Banerjee, S., Chakraborty, S., & Tripathy, S. K. (2021). A review on the treatment of textile industry waste effluents towards the development of efficient mitigation strategy: An integrated system design approach. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **9(4)**, 105277. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105277>
- Bhardwaj, B., Singh, P., Kumar, A., Kumar, S., & Budhwar, V. (2020). Eco-friendly greener synthesis of nanoparticles. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, **10(4)**, 566–576. <https://doi.org/10.34172/apb.2020.067>
- Bindhu, M. R., Umadevi, M., Esmail, G. A., Al-Dhabi, N. A., & Arasu, M. V. (2020). *Green synthesis and characterization of silver nanoparticles from Moringa oleifera flower and assessment of antimicrobial and sensing properties*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, **205(1)**, 111836. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2020.111836>
- Cuana, R., Panre, A. M., Istiqomah, N. I., Tumbaleka, R. M., 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*. <https://doi.org/10.1149/2162-8777/ac8b36>
- Cui, L., Ren, X., Sun, M., Liu, H., dan Xia, L. (2021). *Synthesis, properties and applications of fluorescent carbon dots*. *Gongneng Cailiao/Journal of Functional Materials*, **52(1)**, 01053–01063. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-9731.2021.01.009>

- Das, G. S., Shim, J. P., Bhatnagar, A., Tripathi, K. M., & Kim, T. Y. (2019). Biomass-derived Carbon Quantum Dots for Visible-Light-Induced Photocatalysis and Label-Free Detection of Fe(III) and Ascorbic acid. *Scientific Reports*, **9**(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49266-y>
- Dedi, Idayanti, N., Kristiantoro, T., Alam, G. F. N., & Sudrajat, N. (2018). Magnetic properties of cobalt ferrite synthesized by mechanical alloying. *AIP Conference Proceedings*, **64**(5). <https://doi.org/10.1063/1.5038285>
- Deshmukh. (2015). Phytochemical and Pharmacological profile of Citrullus lanatus (THUNB). *Biolife*, **6**, 483–488. <https://doi.org/10.17812/blj2015.32.18>
- Dwandaru, W. S. B., Sari, E. K., Widyawidura, W., Khaerudini, D. S., Pratidhina, E., Agustin, M., Purnamasari, L., Silfiyani, W., & Yongga, T. A. (2021). Carbon nanodots from watermelon peel as co2absorbents in biogas. *Voprosy KhimiiKhimicheskoiTekhnologii*, **21**(4), 41–49. <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2021-137-4-41-49>
- Fatmawati, A., Sucianingsih, D., Kurniawati, R., & Abdurrahman, M. (2021). Identifikasi Mikroskopis dan Penentuan Kandungan Flavonoid Total Ekstrak Daun Kelor dan Fraksi Etil Asetat (Moringa oleifera L.). *Indonesian Journal of Pharmaceutical Science and Technology*, **1**(1), 66–74.
- Ghereghlou, M. (2021). *Preparation of Fe₃O₄@C-dots as a recyclable magnetic nanocatalyst using Elaeagnus angustifolia and its application for the green synthesis of formamidines*. **7**, 1–15. <https://doi.org/10.1002/aoc.6387>
- Haryadi, Purnama, M. R. W., & Wibowo, A. (2018). C dots derived from waste of biomass and their photocatalytic activities. *Indonesian Journal of Chemistry*, **18**(4), 594–599. <https://doi.org/10.22146/ijc.26652>
- Hasiadin Alwi, L. O., Pusmarani, J., & Juliansyah Putri, R. (2022). Aktivitas Gastroprotektif Ekstrak Metanol Kulit Semangka (Citrullus lanatus L.) Pada Tikus (Rattus norvegicus) Yang Diinduksi Aspirin. *Jurnal Pharmacia Mandala Waluya*, **1**(1), 21–36. <https://doi.org/10.54883/jpmw.v1i1.9>
- He, M., Zhang, J., Wang, H., Kong, Y., Xiao, Y., & Xu, W. (2018). Material and Optical Properties of Fluorescent Carbon Quantum Dots Fabricated from Lemon Juice via Hydrothermal Reaction. *Nanoscale Research Letters*, **13**. <https://doi.org/10.1186/s11671-018-2581-7>
- Houshiar, M., Zebhi, F., Razi, Z. J., Alidoust, A., & Askari, Z. (2014). Synthesis of cobalt ferrite (CoFe₂O₄) nanoparticles using combustion, coprecipitation, and precipitation methods: A comparison study of size, structural, and magnetic properties. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **3**(1), 43–48. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2014.06.059>

- Idrees Khan, Khalid Saeed, Ivar Zekker, Baoliang Zhang, Abdulmajeed H. Hendi, Ashfaq Ahmad, Shujaat Ahmad, Noor Zada, Hanif Ahmad, L. A. S., & Khan, T. S. and I. (2022). Review on Methylene Blue: Its Properties, Uses, Toxicity and Photodegradation. *The Fairchild Books Dictionary of Textiles*. <https://doi.org/10.5040/9781501365072.12105>
- Imran, M., Alam, M. 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. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.08.083>
- Jais, N. J., Ikhtiar, M., Gafur, A., Hasriwiani Habo Abbas, & Hidayat. (2020). Bioakumulasi Logam Berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) yang Terdapat dalam Air dan Ikan di Sungai Tallo Makassar. *Window of Public Health Journal*, **11**, 261–274. <https://doi.org/10.33096/woph.v1i3.112>
- Jiao, X. Y., Li, L. shuang, Qin, S., Zhang, Y., Huang, K., & Xu, L. (2019). The synthesis of fluorescent carbon dots from mango peel and their multiple applications. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **577**(4), 306–314. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.05.073>
- Jiarui Cao, Tingting Shi, Huimin Wang, Feng Zhu, Jiahong Wang, Yaosong Wang, Fuliang Cao, E. S. (2023). Moringa oleifera leaf protein: Extraction, characteristics and applications. *Journal of Food Composition and Analysis*, **119**. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105234>
- Johannes, A. Z., Pingak, R. K., & Bukit, M. (2020). Tauc Plot Software: Calculating energy gap values of organic materials based on Ultraviolet-Visible absorbance spectrum. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **823**(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/823/1/012030>
- Jyoti Chaudhary, Suresh Jandu, G. T., & Chetna. (2023). Green synthesis and characterization of iron nanoparticles using Moringa oleifera (Leaves) and their phytochemical screening with biological significance. *Chemical Data Collections*, **47**. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cdc.2023.101065>
- Karpinsky, D. V., Silibin, M. V., Trukhanov, A. V., Zhaludkevich, A. L., Maniecki, T., Maniukiewicz, W., Sikolenko, V., Paixão, J. A., & Khomchenko, V. A. (2019). A correlation between crystal structure and magnetic properties in co doped BiFeO₃ ceramics. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, **126**(10), 164–169. <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2018.11.006>

- Kementrian Perindustrian. (2024). *No Title*. Prospect of Textile Industry. <https://kemenperin.go.id/artikel/24710/Industri-Tekstil,-Pakaian-Jadi,-dan-Alas-Kaki-Makin-Ekspansif-di-Triwulan-Pertama-2024>
- Khalil, M. I. (2015). Co-precipitation in aqueous solution synthesis of magnetite nanoparticles using iron(III) salts as precursors. *Arabian Journal of Chemistry*, **8**(2), 279–284. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.02.008>
- Kiwumulo, H. F., Muwonge, H., Ibingira, C., Lubwama, M., Kirabira, J. B., & Ssekitoleko, R. T. (2022). Green synthesis and characterization of iron-oxide nanoparticles using *Moringa oleifera*: a potential protocol for use in low and middle income countries. *BMC Research Notes*, **15**(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s13104-022-06039-7>
- Kouotou, P. M., Kasmi, A. El, Wu, L. N., Waqas, M., & Tian, Z. Y. (2018). Particle size-band gap energy-catalytic properties relationship of PSE-CVD-derived Fe₃O₄ thin films. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, **9**(3), 427–435. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2018.08.014>
- Kuldiloke, J. (2002). Zusammenfassung. *International Review of Social History*, **47**(3), 545–545. <https://doi.org/10.1017/s0020859002000871>
- Kumar, H., Bhardwaj, K., Dhanjal, D. S., Nepovimova, E., Şen, F., Regassa, H., Singh, R., Verma, R., Kumar, V., Kumar, D., Bhatia, S. K., & Kuća, K. (2020). Fruit extract mediated green synthesis of metallic nanoparticles: A new avenue in pomology applications. *International Journal of Molecular Sciences*, **21**(2), 1–18. <https://doi.org/10.3390/ijms21228458>
- Kushwaha, P., & Chauhan, P. (2021). Facile green synthesis of CoFe₂O₄ nanoparticles using hibiscus extract and their application in humidity sensing properties. *Inorganic and Nano-Metal Chemistry*, **53**(7), 664–671. <https://doi.org/10.1080/24701556.2021.1992432>
- Larasati, D. A., Puspitarum, D. L., Istiqomah, N. I., Zurnansyah, Mahardhika, L. J., Rini, N. P., Oshima, D., Kato, T., Partini, J., & Suharyadi, E. (2025). Green synthesized CoFe₂O₄/rGO nanocomposites utilizing plant leaf extracts as magnetically separable and reusable photocatalysts for organic toxic dye degradation. *Journal of Water Process Engineering*, **69**(11), 106708. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.106708>
- Li, H., Pordesimo, L., & Weiss, J. (2004). High intensity ultrasound-assisted extraction of oil from soybeans. *Food Research International*, **37**(7), 731–738. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.02.016>

- Li, X., Wang, S., Wang, K., Yang, J., Wang, K., Han, C., Li, L., Yu, R., & Zhang, Y. (2023). Solution-processed Bi₂S₃/BiVO₄/TiO₂ ternary heterojunction photoanode with enhanced photoelectrochemical performance. *Nanotechnology Reviews*, **12**(1). <https://doi.org/10.1515/ntrev-2022-0550>
- Lisdawati, A. N. (2015). Pengaruh Variasi Suhu dan Waktu Kalsinasi pada Pembentukan Fasa ZrO₂. *Tesis*, 1–64.
- Liu, M. L., Chen, B. Bin, Li, C. M., & Huang, C. Z. (2019). Carbon dots: Synthesis, formation mechanism, fluorescence origin and sensing applications. *Green Chemistry*, **21**(3), 449–471. <https://doi.org/10.1039/c8gc02736f>
- Long, C., Jiang, Z., Shangguan, J., Qing, T., Zhang, P., & Feng, B. (2021). Applications of carbon dots in environmental pollution control: A review. *Chemical Engineering Journal*, **406**(6), 126848. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126848>
- López, Y. C., & Antuch, M. (2020). Morphology control in the plant-mediated synthesis of magnetite nanoparticles. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, **24**, 32–37. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.02.001>
- Makula Patrycja, Pacia Michal, M. W. (2018). *How To Correctly Determine the Band Gap Energy of Modified Semiconductor Photocatalysts Based on UV – Vis Spectra*. 8–11. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcclett.8b02892>
- Meng, W., Bai, X., Wang, B., Liu, Z., Lu, S., & Yang, B. (2019). Biomass-Derived Carbon Dots and Their Applications. *Energy and Environmental Materials*, **2**(3), 172–192. <https://doi.org/10.1002/eeem2.12038>
- Miao, S., Liang, K., Zhu, J., Yang, B., Zhao, D., & Kong, B. (2020). Hetero-atom-doped carbon dots: Doping strategies, properties and applications. *Nano Today*, **3**(3), 100879. <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2020.100879>
- Mondal, S., De Anda Reyes, M. E., & Pal, U. (2017). Plasmon induced enhanced photocatalytic activity of gold loaded hydroxyapatite nanoparticles for methylene blue degradation under visible light. *RSC Advances*, **7**(14), 8633–8645. <https://doi.org/10.1039/C6RA28640B>
- Murugan, Baranya, Md Zillur Rahman, Is Fatimah, J. Anita Lett, Jamespandi Annaraj, Noor Haida Mohd Kaus, Mohammed. Al Anber, S. (2023). *Green synthesis of CuO nanoparticles for biological applications. Inorganic Chemistry Communications*, **155**. <https://doi.org/10.1016/j.inoch.2023.111088>

- Naiman, I., Ramasamy, D., & Kadirgama, K. (2020). Effect of nanocellulose with ethylene glycol for automotive radiator application. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **788**(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/788/1/012096>
- Pavia, D., Lampman, G., Kriz, G., Vyvyan, J. (2020). 5 . 33 *Lecture Notes : Introduction to Spectroscopy*. 5.
- polte, J. (2015). fundamental growth principles of colloidal metal nanoparticles a new perspective. *crystEngComm*, **17**(36), 6809-6830. <https://doi.org/10.1039/c5ce01014d>
- Prasad, C., Sreenivasulu, K., Gangadhara, S., & Venkateswarlu, P. (2017). Bio inspired green synthesis of Ni/Fe₃O₄ magnetic nanoparticles using *Moringa oleifera* leaves extract: A magnetically recoverable catalyst for organic dye degradation in aqueous solution. *Journal of Alloys and Compounds*, **700**(17), 252–258. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.12.363>
- Prasankumar, R.P., Antoinette, J. . (2011). Optical techniques. In *Optics and Laser Technology* (Vol. 3, Issue 1). [https://doi.org/10.1016/S0030-3992\(71\)80056-7](https://doi.org/10.1016/S0030-3992(71)80056-7)
- Prev y, P. S. (2000). *X-Ray Diffraction Characterization of cristallinity and phase composition in plasma sprayed hap coatings*. **9**(9), 369–376. <https://doi.org/10.1361/105996300770349827>
- Pudza, M. Y., Abidin, Z. Z., Rashid, S. A., Yasin, F. M., Noor, A. S. M., & Issa, M. A. (2020). Eco-friendly sustainable fluorescent carbon dots for the adsorption of heavy metal ions in aqueous environment. *Nanomaterials*, **10**(2), 1–19. <https://doi.org/10.3390/nano10020315>
- Rana, A., Yadav, K., & Jagadevan, S. (2020). A comprehensive review on green synthesis of nature-inspired metal nanoparticles: Mechanism, application and toxicity. *Journal of Cleaner Production*, **27**(2), 122880. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122880>
- Rani, B. J., Ravina, M., Saravanakumar, B., Ravi, G., Ganesh, V., Ravichandran, S., & Yuvakkumar, R. (2018). Ferrimagnetism in cobalt ferrite (CoFe₂O₄) nanoparticles. *Nano-Structures and Nano-Objects*, **14**, 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2018.01.012>
- Rehman, M. U., Khan, M.A., Akram, M. U., Muhammada, F., & Ali, S. (2020). Enhancement of magnetization in substituted Zn ferrite thin films. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **499**, 166200. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2019.166200>

- Rehman, A., Daud, A., Warsi, M. F., Shakir, I., Agboola, P. O., Sarwar, M. I., & Zulfiqar, S. (2020). Nanostructured maghemite and magnetite and their nanocomposites with graphene oxide for photocatalytic degradation of methylene blue. *Materials Chemistry and Physics*, **256**(7), 123752. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123752>
- Rodwihok, C., Tam, T. Van, Choi, W. M., Suwannakaew, M., Woo, S. W., Wongratanaphisan, D., & Kim, H. S. (2022). Preparation and Characterization of Photoluminescent Graphene Quantum Dots from Watermelon Rind Waste for the Detection of Ferric Ions and Cellular Bio-Imaging Applications. *Nanomaterials*, **12**(4). <https://doi.org/10.3390/nano12040702>
- Rohmalia, Y., & Aminda, R. S. (2021). Analisis Penggunaan Perawatan Kecantikan Masker Alami sebagai Perawatan Kulit Wajah pada Masa Pandemi Covid-19. *Diversity: Jurnal Ilmiah Pascasarjana*, **1**(2). <https://doi.org/10.32832/djip-uika.v1i2.5032>
- Sadhukhan, B., Mondal, N. K., & Chattoraj, S. (2016). Optimisation using central composite design (CCD) and the desirability function for sorption of methylene blue from aqueous solution onto Lemna major. *Karbala International Journal of Modern Science*, **2**(3), 145–155. <https://doi.org/10.1016/j.kijoms.2016.03.005>
- Sajjad, S., Leghari, S. A. K., Ryma, N. U. A., & Farooqi, S. A. (2018). Green synthesis of metal-based nanoparticles and their applications. *The Macabresque: Human Violation and Hate in Genocide, Mass Atrocity and Enemy-Making*, 23–77. <https://doi.org/10.1002/9781119418900>
- Sari, E. K., Tumbelaka, R. M., Ardiyanti, H., Istiqomah, N. I., Chotimah, & Suharyadi, E. (2023). Green synthesis of magnetically separable and reusable Fe₃O₄/Cdots nanocomposites photocatalyst utilizing Moringa oleifera extract and watermelon peel for rapid dye degradation. *Carbon Resources Conversion*, **6**(4), 274–286. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2023.04.003>
- Sathishkumar, P., Pugazhenthiran, N., Mangalaraja, R. V., Asiri, A. M., & Anandan, S. (2013). ZnO supported CoFe₂O₄ nanophotocatalysts for the mineralization of Direct Blue 71 in aqueous environments. *Journal of Hazardous Materials*, **252–253**, 171–179. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.02.030>
- Settle, F. A. (1998). Handbook of Instrumental Techniques for Analytical Chemistry. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, **21**(19), 3072–3076. <https://doi.org/10.1080/10826079808006889>

- Shi, Y., Xu, H., Yuan, T., Meng, T., Wu, H., Chang, J., Wang, H., Song, X., Li, Y., Li, X., Zhang, Y., Xie, W., & Fan, L. (2022). Carbon dots: An innovative luminescent nanomaterial: Photovoltaics: Special Issue Dedicated to Professor Yongfang Li. *Aggregate*, **3**(3), 1–18. <https://doi.org/10.1002/agt2.108>
- Shihab, Q. (2002). Tafsir al-Misbah Jilid 6 (yunus, hud, yusuf, ar-ra'du). In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). https://www.academia.edu/42873583/Tafsir_Al_Mishbah_Jilid_06_Dr_M_Quraish_Shihab
- Shrivastava, D. S. K. and D. S. (2024). *A Detailed Review On Taxonomy And Propagation Of Moringa Oleifera With Some Phytochemical*. 12(7), 977–983.
- Siboni, M. S., Samadi, M. T., Yang, J. K., & Lee, S. M. (2011). Photocatalytic reduction of Cr(VI) and Ni(II) in aqueous solution by synthesized nanoparticle ZnO under ultraviolet light irradiation: A kinetic study. *Environmental Technology*, **32**(14), 1573–1579. <https://doi.org/10.1080/09593330.2010.543933>
- Singh, J., Dutta, T., Kim, K. H., Rawat, M., Samddar, P., & Kumar, P. (2018). “Green” synthesis of metals and their oxide nanoparticles: Applications for environmental remediation. *Journal of Nanobiotechnology*, **16**(1), 1–24. <https://doi.org/10.1186/s12951-018-0408-4>
- Siregar, S. dan. (2010). No Title. In *Budidaya Semangka Panen 60 Hari*. Penebar Swadaya P. 12-5.
- Speakman, S. (2012). Basics of X-Ray Powder Diffraction. *Basics of X-Ray Powder Diffraction*, **6**(17), 1–97.
- Stefan, M., Leostean, C., Toloman, D., Popa, A., Macavei, S., Falamas, A., Suciu, R., Barbu-Tudoran, L., Marincas, O., & Pana, O. (2021). New emerging magnetic, optical and photocatalytic properties of Tb doped TiO₂ interfaced with CoFe₂O₄ nanoparticles. *Applied Surface Science*, **570**(8), 151172. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.151172>
- Sukarno, S., Sofii, I., & Chasanah, U. (2020a). Analisa Pendapatan Manisan Kulit Semangka Sebagai Upaya Peningkatan Nilai Tambah Limbah Kulit Semangka. *Jurnal Ekonomi Pembangunan STIE Muhammadiyah Palopo*, **6**(2), 172–181. <https://doi.org/10.35906/jep01.v6i2.619>
- Sun, A. C. (2018). Synthesis of magnetic carbon nanodots for recyclable photocatalytic degradation of organic compounds in visible light. *Advanced Powder Technology*, **29**(3), 719–725. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2017.12.013>

- Sun, Y. (2018). *Optical and structural properties of carbon dots: A review*. Carbon, 129, 157-174. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2017.12.011>.
- Sun, Q., Wu, S., Li, K., Han, B., Chen, Y., Pang, B., Yu, L., & Dong, L. (2020). *The favourable synergistic operation of photocatalysis and catalytic oxygen reduction reaction by a novel heterogeneous CoFe₂O₄-TiO₂ nanocomposite*. Applied Surface Science, 516(3), 146142. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.146142>
- Sutanto, H., Alkian, I., Romanda, N., Lewa, I. W. L., Marhaendrajaya, I., & Triadyaksa, P. (2020). *High green-emission carbon dots and its optical properties: Microwave power effect*. AIP Advances, 10(5), 0–6. <https://doi.org/10.1063/5.0004595>
- Titchou, F. E., Zazou, H., Afanga, H., El Gaayda, J., Ait Akbour, R., Nidheesh, P. V., & Hamdani, M. (2021). *Removal of organic pollutants from wastewater by advanced oxidation processes and its combination with membrane processes*. Chemical Engineering and Processing - Process Intensification, 169(9), 108631. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2021.108631>
- Toma, H. E., Fatibello-filho, O., & Moraes, F. C. (2018). *A nano-magnetic electrochemical sensor for the substances*. RSC Advances, 8, 14040–14047. <https://doi.org/10.1039/C8RA01857J>
- 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(5), 104450. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.104450>
- Vedula, S. S., & Yadav, G. D. (2022). *Wastewater treatment containing methylene blue dye as pollutant using adsorption by chitosan lignin membrane: Development of membrane, characterization and kinetics of adsorption*. Journal of the Indian Chemical Society, 99(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jics.2021.100263>
- Vongsak, B., Sithisarn, P., Mangmool, S., Thongpraditchote, S., Wongkrajang, Y., & Gritsanapan, W. (2013). *Maximizing total phenolics, total flavonoids contents and antioxidant activity of Moringa oleifera leaf extract by the appropriate extraction method*. Industrial Crops and Products, 44, 566–571. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.09.021>
- Wang, F. T., Wang, L. N., Xu, J., Huang, K. J., & Wu, X. (2021). *Synthesis and modification of carbon dots for advanced biosensing application*. Analyst, 146(14), 4418–4435. <https://doi.org/10.1039/d1an00466b>

- Welch, E. C., Powell, J. M., Clevinger, T. B., Fairman, A. E., & Shukla, A. (2021). *Advances in Biosensors and Diagnostic Technologies Using Nanostructures and Nanomaterials*. *Advanced Functional Materials*, **31**(44), 1–38. <https://doi.org/10.1002/adfm.202104126>
- Yang, G., & Park, S. J. (2019). *Conventional and microwave hydrothermal synthesis and application of functional materials: A review*. *Materials*, **12**(7). <https://doi.org/10.3390/ma12071177>
- 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 and Innovation*, **26**, 102336. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102336>
- Zakarias, S., Refli., Minsyahril, B., Redi, K., Bernandus., Jhonson, T. (2025). Pembuatan Karbon Nanodot Berbasis Kulit Buah Naga dan Pemanfaatannya Sebagai Sumber Nutrisi Pada Pertumbuhan Tanaman Sawi. *Jurnal Fisika: Fisika Sains dan Aplikasinya*, **10**. <https://doi.org/10.35508/fisa.v10i1.20980>
- Zhang, Y., Zhang, H., Zhang, Z., Liu, C., Sun, C., Zhang, W., & Marhaba, T. (2018). *PH Effect on Heavy Metal Release from a Polluted Sediment*. *Journal of Chemistry*, **18**. <https://doi.org/10.1155/2018/7597640>
- Zhao, Y., Huang, X., Tan, X., Yu, T., Li, X., Yang, L., & Wang, S. (2016). *Fabrication of BiOBr nanosheets@TiO₂ nanobelts p-n junction photocatalysts for enhanced visible-light activity*. *Applied Surface Science*, **365**, 209–217. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.12.249>
- Zhou, J., Sheng, Z., Han, H., Zou, M., & Li, C. (2012). *Facile synthesis of fluorescent carbon dots using watermelon peel as a carbon source*. *Materials Letters*, **66**(1), 222–224. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2011.08.081>
- Zuo, R., Du, G., Zhang, W., Liu, L., Liu, Y., Mei, L., & Li, Z. (2014). *Photocatalytic degradation of methylene blue using TiO₂ impregnated diatomite*. *Advances in Materials Science and Engineering*, **14**. <https://doi.org/10.1155/2014/170148>