

**FOTOKATALITIK DEGRADASI ZAT WARNA METHYLENE BLUE
MENGGUNAKAN KOMPOSIT Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Bidang Studi Kimia**



RAHFY FARAHDIBA

08031281722067

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2021**

HALAMAN PENGESAHAN

FOTOKATALITIK DEGRADASI ZAT WARNA *METHYLENE BLUE* MENGGUNAKAN KOMPOSIT $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Bidang Studi Kimia

Oleh:

RAHFY FARAHDIBA

08031281722067

Indralaya, Juli 2021

Pembimbing I

Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M. Si
NIP. 196808271994022001

Pembimbing II

Fahma Riyanti, M.Si
NIP. 197204082000032001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Hermansyah, Ph. D
NIP. 197111191997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi dengan judul “Fotokatalitik Degradasi Zat Warna *Methylene Blue* Menggunakan Komposit Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Sidang Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 30 Juni 2021 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, Juli 2021

Ketua :

1. Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M. Si.

NIP. 196808271994022001



Anggota :

1. Fahma Riyanti, M. Si.

NIP. 197204082000032001



2. Dr. Suheryanto, M.Si.

NIP. 196006251989031006



3. Dr. Ady Mara, M. Si.

NIP. 196404301990031003



4. Dr. Heni Yohandini, M. Si.

NIP. 197011152000122004



Mengetahui



PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Rahfy Farahdiba

NIM : 08031281722067

Fakultas/ Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/ Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain.

Semua informasi yang dimuat dalam skripsi ini yang berasal dari penulis lain baik yang dipublikasi maupun tidak, telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar. Semua isi dari skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan benar

Indralaya, Juli 2021

Penulis,



Rahfy Farahdiba

NIM. 08031281722067

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertandatangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Rahfy Farahdiba
NIM : 08031281722067
Fakultas/ Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/ Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan,

Saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya hak bebas royalty non-ekslusif (non-exclusively royalty-free right) atas karya ilmiah saya yang berjudul: “Fotokatalitik Degradasi Zat Warna *Methylene Blue* Menggunakan Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ ”. Dengan hak bebas royalty non-ekslusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, edit/memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Indralaya, Juli 2021

Penulis,



Rahfy Farahdiba

NIM. 08031281722067

SUMMARY

DEGRADATION PHOTOCATALYTIC OF *METHYLENE BLUE* USING Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ COMPOSITE

Rahfy Farahdiba : Supervised by Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si. and Fahma Riyanti, M.Si.

Chemistry Department, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University.

xii + 78 pages, 26 pictures, 4 tables, dan 19 attachments.

The research of Degradation Photocatalytic of *Methylene Blue* Using Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ Composite had been done. The application of Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ was used in order to degrade *methylene blue* dyes by using UV light. Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ was characterized using XRD, SEM-EDS, VSM, and UV-Vis DRS. The result of XRD characterization showed a sharp peak intensity at $2\theta = 35.87^\circ$ with crystal size 12.10 nm. The result of characterization using SEM-EDS showed that Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ had morphology as round elongated and uniform with composition of elements Fe (5.29%), Si (3.89%), O (46%), dan Ti (44.81%). The result of characterization using VSM obtained the magnetization saturation value of Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ is 55.27 emu/g. The result of characterization using UV-Vis DRS obtained the band gap energy value of Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ is 1.9183 eV. Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ composite obtained pH_{pzc} at 5.5. Degradation using Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ towards *methylene blue* showed the optimum condition at pH 6, with concentration 25 mg/L, under UV light irradiation time for 60 minutes obtained the result of degradation is 93.26%. The result of degraded *methylene blue* was analyzed using Thin Layer Chromatography with R_f value is 0.68.

Keywords : Photocatalytic, degradation, characterization, Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂, *methylene blue*

Citation : 90 (2007-2020)

RINGKASAN

FOTOKATALITIK DEGRADASI ZAT WARNA *METHYLENE BLUE* MENGGUNAKAN KOMPOSIT Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂

Rahfy Farahdiba : Dibimbing oleh Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si. dan Fahma Riyanti, M.Si.

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya.

xii + 78 halaman, 26 gambar, 4 tabel, dan 19 lampiran.

Penelitian mengenai Fotokatalitik Degradasi Zat Warna *Methylene Blue* Menggunakan Komposit Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ telah dilakukan. Aplikasi Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ dilakukan untuk mendegradasi zat warna *methylene blue* menggunakan bantuan sinar UV. Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ dikarakterisasi menggunakan XRD, SEM-EDS, VSM, dan UV-Vis DRS. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan intensitas puncak yang tajam pada $2\theta = 35,87^\circ$ dengan ukuran kristal sebesar 12,10 nm. Hasil karakterisasi menggunakan SEM-EDS menunjukkan Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ memiliki morfologi bulat memanjang dan seragam dengan komposisi unsur Fe (5,29%), Si (3,89%), O (46%), dan Ti (44,81%). Hasil karakterisasi menggunakan VSM diperoleh nilai magnetisasi saturasi Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ sebesar 55,23 emu/g. Hasil karakterisasi menggunakan UV-Vis DRS diperoleh nilai energi celah pita Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ sebesar 1,9183 eV. pH_{pzc} komposit Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ yang dihasilkan sebesar 5,5. Kondisi terbaik degradasi menggunakan Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ terhadap *methylene blue* terjadi pada pH 6, konsentrasi 25 mg/L, dan waktu penyinaran UV selama 60 menit diperoleh hasil degradasi sebesar 93,26%. Hasil *methylene blue* yang terdegradasi dianalisis menggunakan KLT dengan nilai R_f sebesar 0,68.

Kata kunci : Fotokatalitik, degradasi, karakterisasi, Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂, *methylene blue*

Situs : 90 (2007-2020)

HALAMAN PERSEMBAHAN

“Tidaklah mungkin bagi matahari mengejar bulan dan malam pun tidak dapat mendahului siang. Masing-masing beredar pada garis edarnya.”

– **(Ya sin 36:40)** –

“You just focused on the bad stuff when all you had to do was let go of the past and keep moving forward.”

– **(Lewis-Meet the Robinsons, 2007)** –

“After all this time? Always.”

– **(Profesor Snape-Harry Potter, 2007)** –

“Udah nikmatin aja, ntar juga bakal rindu”

– **(Ibu, ∞)** –

Skripsi ini kupersembahkan kepada ibu bapak, abang, seluruh keluargaku, dosen pembimbing dan dosen PA, teman-temanku, dan seisi alam semesta yang sudah membantuku.

Terakhir, paling utama kupersembahkan kepada diriku yang telah berjuang hingga detik ini. Terima kasih sudah mampu bertahan.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta’ala yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Fotokatalitik Degradasi Zat Warna *Methylene Blue* Menggunakan Komposit Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂”. Penyusunan skripsi ini adalah sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelas Sarjana Sains pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya. Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si dan Ibu Fahma Riyanti, M.Si yang telah memberikan banyak bimbingan, masukan, motivasi serta pengalaman kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada :

1. Allah Subhanahu Wa Ta’ala yang selalu menemani penulis dengan segala kasih sayang dan ampunan-Nya.
2. Ibu dan Bapak yang selalu sayang sama teteh dan selalu ada di hari-hari teteh.
3. Abang yang selalu sabar dengan tingkah laku teteh. Pun Yuk Merly yang sudah memberi pengalaman-pengalaman kuliahnya ke teteh.
4. Eyang Kakung dan Eyang Putri yang selalu mendukung teteh, memberi nasehat dan selalu sayang sama teteh :)
5. Keluarga besar yang selalu memberi dukungan dan motivasi. Serta yang selalu bertanya “Kapan lulus?” “Kapan sidang?” “Kapan wisuda?” akhirnya pertanyaan tersebut sudah terjawab hohoho.
6. Om Fid dan Bunda Iin serta Om Adad dan Tante Emi yang selalu memberi dukungan lebih.
7. Bapak Hermansyah, Ph. D selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
8. Bapak Dr. Hasanudin, M. Si selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
9. Bapak Dr. Addy Rachmat, M. Si selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
10. Ibu Fahma Riyanti, M. Si selaku Dosen Pembimbing Akademik.

11. Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M. Si dan Ibu Fahma Riyanti, M. Si selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir penulis. Terima kasih untuk semua ilmu, dedikasi serta masukan yang diberikan selama tugas akhir.
12. Bapak Dr. Suheryanto, M. Si, Bapak Dr. Ady Mara, M. Si, dan Ibu Dr. Heni Yohandini, M. Si selaku Dosen Pengaji sidang sarjana. Terima kasih atas semua ilmu dan masukannya selama penyusunan skripsi.
13. Seluruh staf dosen jurusan kimia FMIPA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
14. Analis Laboratorium Kimia FMIPA (Ibu Nur, Ibu Niar, dan Ibu Yanti).
15. Admin Jurusan Kimia (Mba Novi dan Kak Iin) yang telah banyak membantu dan sabar menghadapi penulis dalam menyelesaikan administrasi selama kuliah hingga akhir kuliah.
16. Tim Komposit (Kak Erna, Putu, Yohanna, Vio, dan Arcel) yang selalu saling iri dan dengki. Terima kasih atas keseruan selama penelitian. Terima kasih sudah selalu saling mendukung walau sebenarnya gengsi. Semangat dan istirahatlah jika lelah. Jangan sompong-sombong eoh kalau sudah menggapai mimpi masing-masing. Jangan lupa teruslah pesimis.
17. Kak Permata, terima kasih banyak kak sudah selalu ada di saat aku butuh. Selalu baik sama aku dan keluarga aku terutama eyang. Terima kasih kak sudah banyak ngertiin aku. Semangat terus kak. Semoga aku bisa bantu kakak banyak juga di masa yang akan datang.
18. Defi yang selalu setia menungguku di bis dan Zuhro yang selalu mau-mau diajak kemanapun. See you on top, guys.
19. Puja, Ayu, Karis, Destri, dan Sinta yang selalu jadi tempat aku merasa terhibur terutama dengan celotehan tidak penting, menonton bersama serta masak ramyeon di masa-masa lelah kuliah terutama saat skripsian. Semoga persahabatan ini langgeng terus sampai kita tua.
20. Verina, walau aku kecewa tapi aku tetep sayang. Terima kasih sudah selalu mendengar keluh kesah aku. Selalu memberi nasehat dan selalu membisaskan diri diajak kemanapun. Aku sayang elo walau kemusuhan.
21. Teman-teman MIA 6 yang selalu cawa. Terima kasih sudah membuatku tidak akan mau mempercayai kalian lagi. Hohoho

22. Nadya, Fella, dan Reni yang selalu baik menjawab semua pertanyaan aku yang kebingungan. Semoga kalian selalu sehat dan sukses selalu.
23. Teman-teman Angkatan 2017 yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu terima kasih sudah berjuang dan terjebak bersama dalam jurusan ini.
24. Kepada kakak-kakak tingkat Angkatan 2016, 2015, dan 2014 serta adik-adik Angkatan 2018 dan 2019 yang tidak bisa disebutkan satu per satu yang selalu memberikan semangat dan dukungan.
25. Seo Dal Mi, Nam Do San, dan Han Ji Pyeong yang muncul di waktu yang tepat di saat aku sedang kehilangan motivasi. Serta seluruh rekan di Neo Culture Technology yang telah menjadi penyemangat di saat aku lelah.
26. Keluarga besar di Jakarta dan di Bandung yang selalu memberi semangat dari kejauhan.
27. Semua orang dan seisi alam semesta yang telah membantu dan terlibat dalam penelitian dan penyusunan skripsi ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Semoga bantuan kalian dibalas dengan kebaikan oleh Allah Subhanahu Wa Ta'ala. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, maka dari itu penulis meminta maaf dan memerlukan saran dan masukan dari para pembaca. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Indralaya, Juli 2021

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
SUMMARY	vi
RINGKASAN	vii
HALAMAN PERSEMAHAN	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Fotodegradasi.....	5
2.2 Zat Warna	5
2.2.1 Zat Warna <i>Methylene Blue</i>	6
2.3 Degradasi Zat Warna <i>Methylene Blue</i> Menggunakan Fotokatalitik ..	7
2.4 Magnetit (Fe_3O_4).....	9
2.5 Titania (TiO_2).....	10
2.6 Silika (SiO_2).....	12
2.7 Komposit Fe_3O_4/SiO_2	13
2.8 Komposit $Fe_3O_4/SiO_2/TiO_2$	13

2.9	XRD	14
2.10	SEM-EDS	16
2.11	VSM.....	17
2.12	UV-Vis DRS	18
2.13	pHpzc	19
2.14	Kromatografi Lapis Tipis (KLT)	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21	
3.1	Waktu dan Tempat.....	21
3.2	Alat dan Bahan.....	21
3.2.1	Alat.....	21
3.2.2	Bahan	21
3.3	Prosedur Penelitian	22
3.3.1	Sintesis Fe ₃ O ₄ (Hariani <i>et al.</i> , 2013)	22
3.3.2	Sintesis Fe ₃ O ₄ /SiO ₂	22
3.3.3	Sintesis Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /TiO ₂	22
3.3.4	Karakterisasi Material Komposit Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /TiO ₂	23
3.3.4.1	X-Ray Diffraction (XRD)	23
3.3.4.2	Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS)	23
3.3.4.3	Vibrating Sample Magnetometer (VSM)	24
3.3.4.4	UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS)	24
3.3.5	Penentuan pH <i>Point Zero Charge</i>	24
3.3.6	Penentuan Konsentrasi Zat Warna <i>Methylene Blue</i>	24
3.3.6.1	Pembuatan Larutan Standar <i>Methylene Blue</i> mg/L.....	24
3.3.6.2	Penentuan Kurva Kalibrasi Zat Warna <i>Methylene Blue</i>	25
3.3.7	Penentuan Kondisi Terbaik Degradasi Zat Warna <i>Methylene Blue</i> oleh Komposit Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /TiO ₂	25
3.3.7.1	Pengaruh pH Fotodegradasi	25
3.3.7.2	Pengaruh Konsentrasi Zat Warna	25
3.3.7.3	Pengaruh Waktu Kontak	26
3.3.8	Kromatografi Lapis Tipis (KLT)	26
3.3.9	Analisis Data	26

3.3.9.1 Uji Keberhasilan Sintesis Komposit Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /TiO ₂ ..	26
3.3.9.2 Uji Aktivitas Fotokatalitik Komposit Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /TiO ₂ Terhadap Degradasi Zat Warna <i>Methylene Blue</i>	27
3.3.9.3 Hasil Fotodegradasi Terbaik Dianalisis Menggunakan KLT (Kromatografi Lapis Tipis)	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Hasil Sintesis Fe ₃ O ₄	29
4.2 Hasil Sintesis Fe ₃ O ₄ /SiO ₂	29
4.3 Hasil Sintesis Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /TiO ₂	30
4.4 Hasil Karakterisasi Material	31
4.4.1 Hasil Karakterisasi Fe ₃ O ₄ , Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ , dan Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /TiO ₂ menggunakan XRD	31
4.4.2 Hasil Karakterisasi Fe ₃ O ₄ , Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ , dan Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /TiO ₂ menggunakan SEM-EDS	33
4.4.3 Hasil Karakterisasi Fe ₃ O ₄ , Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ , dan Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /TiO ₂ menggunakan VSM	35
4.4.4 Hasil Karakterisasi Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ dan Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /TiO ₂ menggunakan UV-Vis DRS	36
4.5 pH <i>Point Zero Charge</i> (pHpzc) Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /TiO ₂	38
4.6 Hasil Penentuan Kondisi Terbaik Degradasi Zat Warna <i>Methylene Blue</i>	39
4.6.1 Pengaruh pH Zat Warna	39
4.6.2 Pengaruh Konsentrasi Zat Warna.....	40
4.6.3 Pengaruh Waktu Penyinaran	41
4.7 Hasil Analisis Zat Warna <i>Methylene Blue</i> yang Terdegradasi Menggunakan KLT	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	44
5.1 Kesimpulan	44
5.2 Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	45

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Puncak difraksi XRD $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$	16
Tabel 2. Data XRD pada sudut 2θ , intensitas puncak, dan ukuran partikel dari Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$, dan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$	33
Tabel 3. Data XRD EDS unsur-unsur penyusun Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$, dan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$	34
Tabel 4. Nilai magnetisasi saturasi dan medan magnet pada Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$, dan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$	36

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Struktur <i>methylene blue</i>	7
Gambar 2. Mekanisme reaksi degradasi <i>methylene blue</i> dengan metode fotokatalis	8
Gambar 3. Struktur magnetit	9
Gambar 4. Ilustrasi sintesis komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$	13
Gambar 5. Ilustrasi komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$	14
Gambar 6. Pola XRD nanomagnetik Fe_3O_4	14
Gambar 7. Pola XRD TiO_2	15
Gambar 8. Pola XRD SiO_2	15
Gambar 9. Pola XRD (a) Fe_3O_4 ; (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$; (c) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$	16
Gambar 10. Hasil karakterisasi (a) Fe_3O_4 ; (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$; (c) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ menggunakan SEM	17
Gambar 11. Hasil karakterisasi (a) Fe_3O_4 ; (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$; (c) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ menggunakan EDS.....	17
Gambar 12. Hasil karakterisasi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ menggunakan VSM	18
Gambar 13. Hasil pengukuran serapan sinar $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ dan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ dengan UV-Vis DRS	19
Gambar 14. Hasil karakterisasi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ menggunakan pzc.....	19
Gambar 15. Fe_3O_4 hasil sintesis yang didekatkan dengan magnet eksternal	29
Gambar 16. $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ hasil sintesis yang didekatkan dengan magnet eksternal.....	30
Gambar 17. $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ hasil sintesis yang didekatkan dengan magnet eksternal (a) sebelum dikalsinasi; (b) setelah dikalsinasi.....	30
Gambar 18. Difraktogram dari (a) Fe_3O_4 ; (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$; (c) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$	31
Gambar 19. Morfologi SEM pada perbesaran 10.000x permukaan (a) Fe_3O_4 ; (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$; (c) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$	33
Gambar 20. Kurva histerisis Fe_3O_4 , Fe_3O_4 , dan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$	35
Gambar 21. Energi celah pita (a) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$; (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$	37
Gambar 22. Grafik pH _{pzc} $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$	38
Gambar 23. Kurva persentase konsentrasi zat warna terdegradasi terhadap pengaruh variasi pH.....	39

Gambar 24.	Kurva persentase konsentrasi zat warna terdegradasi terhadap pengaruh variasi konsentrasi	41
Gambar 25.	Kurva persentase konsentrasi zat warna terdegradasi terhadap pengaruh variasi waktu penyinaran	42
Gambar 26.	Kromatogram dengan fase gerak etil asetat : metanol (1:9) saat disinari UV λ 254 nm (a) setelah didegradasi; (b) sebelum didegradasi.....	43

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Diagram Alir Penelitian.....	54
Lampiran 2. Hasil Karakterisasi Fe_3O_4 Menggunakan XRD.....	56
Lampiran 3. Hasil Karakterisasi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ Menggunakan XRD	58
Lampiran 4. Hasil Karakterisasi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ Menggunakan XRD	60
Lampiran 5. Morfologi Permukaan Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$, $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ Menggunakan SEM	62
Lampiran 6. Hasil Karakterisasi Fe_3O_4 Menggunakan SEM-EDS	63
Lampiran 7. Hasil Karakterisasi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ Menggunakan SEM-EDS	64
Lampiran 8. Hasil Karakterisasi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ Menggunakan SEM EDS...	65
Lampiran 9. Hasil Karakterisasi Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$, $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ Menggunakan VSM.....	66
Lampiran 10. Hasil Karakterisasi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ Menggunakan UV-Vis DRS	68
Lampiran 11. Hasil Karakterisasi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ Menggunakan UV-Vis DRS	69
Lampiran 12. pH <i>Point Zero Charge</i> (pHpzc) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$	70
Lampiran 13. Panjang Gelombang Zat Warna <i>Methylene Blue</i>	71
Lampiran 14. Penentuan Kurva Kalibrasi Zat Warna <i>Methylene Blue</i>	72
Lampiran 15. Penentuan Kondisi Terbaik Degradasi Zat Warna <i>Methylene Blue</i> Menggunakan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ terhadap Pengaruh pH	73
Lampiran 16. Penentuan Kondisi Terbaik Degradasi Zat Warna <i>Methylene Blue</i> Menggunakan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ terhadap Pengaruh Konsentrasi	75
Lampiran 17. Penentuan Kondisi Terbaik Degradasi Zat Warna <i>Methylene Blue</i> Menggunakan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ terhadap Pengaruh Waktu Penyinaran	77
Lampiran 18. Hasil Analisis Zat Warna <i>Methylene Blue</i> Menggunakan KLT ...	79
Lampiran 19. Gambar Penelitian.....	80

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini para peneliti sedang mengembangkan suatu metode alternatif yang dapat digunakan untuk meminimalisir bahaya dari kandungan zat warna yang berasal dari limbah tekstil yang dibantu oleh radiasi sinar UV dan fotokatalis (Diantariani dkk, 2016). Adapun metode yang diharapkan efektif untuk diterapkan dalam mendegradasi zat warna menjadi senyawa yang lebih sederhana dan aman terhadap lingkungan salah satunya adalah fotodegradasi. Fotodegradasi merupakan suatu proses degradasi kimia menggunakan bantuan katalis dan cahaya (Bhernama dkk, 2015). Umumnya fotodegradasi hanya mampu terjadi jika terdapat bantuan katalis semikonduktor seperti TiO_2 , ZnO , CdS , dan lain sebagainya (Titdoy dkk, 2016).

TiO_2 adalah senyawa dioksida yang tidak bersifat toksik, tahan terhadap karat, serta merupakan senyawa yang stabil (Tussa'adah dan Astuti, 2015). Untuk meningkatkan efisiensi proses fotokatalitik, maka TiO_2 dapat dikompositkan menggunakan bahan lain seperti Fe_3O_4 yang merupakan katalis magnetik sehingga proses pemisahan katalis dari larutan dapat menggunakan magnet eksternal tanpa penyaringan. Pada penelitian sebelumnya, sintesis nanokatalis magnetik $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ telah berhasil dilakukan dan diujikan terhadap zat warna sintetis yakni *methylene blue*. Namun, untuk meningkatkan aktivitas material katalis yang digunakan dan untuk mengetahui perubahan karakteristik yang akan terjadi, maka dilakukan penelitian lebih lanjut dengan melakukan penambahan material pendukung seperti SiO_2 ke dalam komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ (Wardiyati dkk, 2016). Selain sebagai lapisan penghalang, SiO_2 berfungsi juga untuk mereduksi energi celah pada TiO_2 sehingga mempermudah proses aktivasi, serta untuk meningkatkan stabilitas termal dan morfologi yang lebih homogen (Ardiyanti dkk, 2019).

Berdasarkan penelitian Wardiyati dkk, (2016), sintesis komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ dilakukan dalam tiga tahap. Tahap pertama, sintesis Fe_3O_4 dengan $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebagai prekursor. Tahap kedua, sintesis $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ menggunakan TEOS sebagai prekursor SiO_2 . Tahap ketiga, proses pelapisan TiO_2

pada komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ menggunakan TBOT sebagai prekursornya. Namun, prekursor TBOT pada penelitian ini diganti menggunakan prekursor TBT.

Methylene blue merupakan jenis senyawa kompleks aromatik heterosiklik bersifat kationik (Syahvalensi dkk, 2019) yang memiliki struktur benzena yang sulit untuk diuraikan pada lingkungan serta berbahaya bagi kesehatan. Apabila zat warna ini terakumulasi dalam tubuh dapat menyebabkan luka bakar pada mata bahkan dapat memicu terjadinya cedera permanen, apabila terhirup dapat menyebabkan kesulitan bernapas, dan apabila tertelan akan menghasilkan sensasi seperti terbakar disertai mual, muntah, keringat berlebih dan methemoglobinemia (Rafatullah *et al.*, 2010).

Untuk mengetahui kondisi terbaik dilakukannya fotodegradasi zat warna *methylene blue* oleh komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ maka dilakukan pengamatan pada beberapa pengaruh variasi seperti pengaruh pH, pengaruh konsentrasi zat warna, dan pengaruh waktu penyinaran. Menurut Diantariani dkk, (2014) dalam penelitiannya menyebutkan pH memiliki peran yang sangat penting pada proses fotodegradasi untuk menghasilkan radikal OH. Seiring bertambahnya jumlah ion OH^- akan meningkatkan jumlah radikal hidroksi yang terbentuk melalui proses oksidasi ion OH⁻ oleh *hole* menyebabkan semakin banyak zat warna yang terdegradasi. Pada penelitian Diantariani dkk, (2014) menunjukkan metilen biru terdegradasi pada pH 12 dengan persentase degradasi sebesar 96,91%. Adapun penelitian Winataputra dan Yusuf, (2014), saat menggunakan zat warna metilen biru terjadi peningkatan persentase degradasi seiring naiknya pH dari 4-9 dan terjadi penurunan pada pH > 9. Menurut penelitian tersebut, hal ini sesuai dengan pengaruh pH pada keadaan ionisasi titanium di mana pada pH < 7 atau saat kondisi asam, adanya ion H⁺ akan membuat permukaan TiO₂ menjadi positif sedangkan pada pH > 7 atau kondisi basa permukaan TiO₂ menjadi bermuatan negatif karena adanya pengaruh ion OH⁻. Persentase degradasi yang dihasilkan yaitu sebesar 88%. Hal tersebut dikarenakan metilen biru mempunyai struktur bermuatan positif maka reaksi degradasi lebih disukai terjadi pada kondisi basa.

Selain itu, waktu radiasi sinar UV selama proses fotodegradasi juga memberi pengaruh yang cukup besar. Sebagaimana bertambahnya waktu radiasi, maka akan semakin banyak jumlah zat warna yang terdegradasi (Widihati dkk, 2011). Adapun

dalam Winataputra dan Yusuf, (2014), penyinaran tanpa sinar UV adsorpsi dan degradasi zat warna telah mencapai persentase degradasi sebesar 83%. Sedangkan saat dilakukan radiasi sinar UV selama 40 menit reaksi fotokatalitik menjadi bertambah besar dengan persentase degradasi 98%.

Berdasarkan uraian tersebut maka pada penelitian ini dilakukan sintesis komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$. Hasil sintesis komposit tersebut diamati fasanya menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), diamati morfologi dan unsur dari komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ menggunakan *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS), ditentukan besarnya nilai magnetisasi saturasi komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ menggunakan *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) serta untuk mengetahui besarnya nilai energi celah pita hasil sintesis komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ maka dianalisis menggunakan *UV-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy* (UV-Vis DRS). Selanjutnya, komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ hasil sintesis ditentukan kondisi terbaik dilakukannya fotodegradasi zat warna *methylene blue* dengan beberapa variasi yaitu variasi pengaruh pH, konsentrasi zat warna, dan waktu penyinaran. Hasil fotodegradasi zat warna kemudian diamati menggunakan Kromatografi Lapis Tipis (KLT) dengan membandingkan zat warna hasil degradasi dan zat warna standar.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana hasil sintesis dan karakterisasi komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$?
2. Bagaimana pengaruh pH, konsentrasi zat warna, dan waktu penyinaran dalam menentukan kondisi terbaik dilakukannya fotodegradasi zat warna *methylene blue* oleh komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$?
3. Bagaimana hasil analisis zat warna *methylene blue* yang terdegradasi menggunakan KLT?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini antara lain :

1. Mensintesis komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ dan mengkarakterisasi komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ menggunakan XRD, SEM-EDS, VSM, DRS dan pHpz.

2. Menentukan kondisi terbaik degradasi zat warna *methylene blue* oleh komposit Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ pada variasi pH, konsentrasi zat warna, dan waktu penyinaran.
3. Menganalisis hasil KLT zat warna *methylene blue* yang terdegradasi dan dibandingkan dengan zat warna *methylene blue* standar.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah untuk memberi pengetahuan terhadap proses sintesis komposit Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ yang digunakan untuk mendegradasi zat warna *methylene blue* sehingga diharapkan nantinya dapat diaplikasikan dalam menangani limbah zat warna pada tekstil agar aman bagi lingkungan dan kesehatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriyeni, H., dan Utari, N. W. (2016). Identifikasi Zat Warna Rhodamin B pada Lipstik Berwarna Merah yang Beredar di Pasar Raya Padang. *Jurnal Farmasi Higea*, 8(1), 59-64.
- Alen, Y., Agresa, F. L., dan Yuliandra, Y. (2017). Analisis Kromatografi Lapis Tipis (KLT) dan Aktivitas Antihiperurisemia Ekstrak Rebung *Schizostachyum brachycladum* Kurz (Kurz) pada Mencit Putih Jantan. *Jurnal Sains Farmasi dan Klinis*, 3(2), 146-152.
- Anam, K. (2015). Isolasi Senyawa Triterpenoid dari Alga Merah (*Eucheuma cottonii*) Menggunakan Kromatografi Lapis Tipis (KLT) dan Analisisnya Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dan FTIR. *Skripsi*. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Andari, D., dan Wardhani, S. (2014). Fotokatalis TiO₂-Zeolit untuk Degradasi Metilen Biru. *Chem. Prog*, 7(1), 9-14.
- Aprilianingrum, F. A. (2016). Optimasi dan Regenerasi Fotokatalis Cal-xCoxTiO₃ pada Proses Degradasi Metilen Biru dengan Sinar UV. *Skripsi*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Ardiyanti, H., Puspitarum, D. L., Maryana, O. F. T., dan Kesuma, W. A. P. (2019). Sintesis Komposit Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ Berbasis Limbah Ampas Tebu di Wilayah Bandar Lampung dengan Kombinasi Metode Kopresipitasi dan Sol Gel untuk Aplikasi Fotokatalis. *Jurnal Pendidikan Fisika Universitas Muhammadiyah Metro*, 7(2), 203-211.
- Armin, F., Revir, B., dan Adnan, A. Z. (2015). Validasi Metode Kromatografi Lapis Tipis-Densitometri untuk Analisis Pewarna Merah Sintetik pada Beberapa Merek Saus Sambal Sachet. *Berkala Ilmiah Kimia Farmasi*, 4(2), 43-48.
- Astuti, A., dan Ningsi, S. (2017). Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Titanium Dioksida (TiO₂) Menggunakan Metode Sonokimia. *Jurnal Ilmu Fisika Universitas Andalas*, 9(1), 26–32.
- Atamnia, K., Satha, H., and Bououdina, M. (2018). Synthesis and Characterisation of TiO₂ Nanostructures for Photocatalytic Applications. *International Journal of Nanoparticles*, 10(3), 225–243.
- Atmono, T. M., Prasetyowati, R., dan Kartika, A. M. R. (2015). Pembuatan Prototipe Vibrating Sample Magnetometer untuk Pengamatan Sifat Magnetik Lapisan Tipis. *Pertemuan Dan Presentasi Ilmiah*, 57–66.
- Badr, Y., Abd El-Wahed, M. G., dan Mahmoud, M. A. (2008). Photocatalytic Degradation of Methyl Red Dye by Silica Nanoparticles. *Journal of Hazardous Materials*, 154(1–3), 245–253.

- Bhernama, B. G., Safni, S., dan Syukri, S. (2015). Degradasi Zat Warna Metanil Yellow dengan Penyinaran Matahari dan Penambahan Katalis $\text{TiO}_2\text{-SnO}_2$. *Lantanida Journal*, 3(2), 116–126.
- Blaney, L. (2007). Magnetite (Fe_3O_4): Properties, Synthesis, and Applications. *Journal of Alloys and Compounds*, 15(5), 33–81.
- Budiman, S., Suryasaputra, D., dan Ristianti, D. (2014). Fotodegradasi Zat Warna Tekstil dengan Fotokatalis TiO_2 , Al_2O_3 dan H_2O_2 . *Prosiding Seminar Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 284-288.
- Cha, J. H., Choi, H. H., Jung, Y. G., Choi, S. C., and An, G. S. (2020). Novel Synthesis of Core–Shell Structured $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ Nanoparticles via Sodium Silicate. *Ceramics International*, 46(10), 14384–14390.
- Dewi, S. H., dan Ridwan. (2012). Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Fe_3O_4 Magnetik untuk Adsorpsi Kromium Heksavalen. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 13(2), 136–140.
- Dewi, S. H., Sutanto., Fisli, A., and Wardiyati, S. (2016). Synthesis and Characterization of Magnetized Photocatalyst $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ by Heteroagglomeration Method. *Journal of Physics: Conference Series*, 739, 1–8.
- Diantariani, N P, Widihati, I. A. G., dan Megasari, I. G. A. A. (2014). Fotodegradasi Metilen Biru dengan Sinar Ultraviolet Dan Katalis ZnO . *Jurnal Kimia*, 8(1), 137–143.
- Diantariani, Ni Putu, Suprihatin, I. E., dan Widihati, I. A. G. (2016). Fotodegradasi Zat Warna Tekstil *Methylene Blue* dan *Congo Red* Menggunakan Komposit ZnO-AA dan Sinar UV. *Jurnal Kimia*, 10(1), 133–140.
- Dini, E. W. P., dan Wardhani, S. (2014). Degradasi Metilen Biru Menggunakan Fotokatalis ZnO-Zeolit . *Chem. Prog.*, 7(1), 29-33.
- Dwiasi, D. W., Setyaningtyas, T., dan Riyani, K. (2018). Penurunan Kadar Metilen Biru dalam Limbah Batik Sokaraja Menggunakan Sistem $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}_2\text{-UV}$. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 13(1), 78-86.
- El-Sherbiny, S., Morsy, F., Samir, M., and Fouad, O, A. (2014). Synthesis, Characterization, and Application of TiO_2 Nanopowders as Special Paper Coating Pigment. *Appl Nanosci*, 4, 305-311.
- Erwanto., Yulinda., dan Nabela, Q. (2020). Pengaruh Penambahan Ion Nitrat (NO_3^-) Terhadap Kinetika Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru Menggunakan Zeolit- TiO_2 . *Inovasi Teknik Kimia*, 5(2), 59-67.

- Fadillah, G., and Serunting, M. A. (2019). Preliminary Study of Photocatalytic Degradation of Methylene Blue Dye using Magnetic Alginate/Fe₃O₄ (Alg/Fe₃O₄) Nanocomposites. *Jurnal Eksakta*, 19(1), 26–34.
- Forestryana, D., dan Arnida. (2020). Phytochemical Screenings and Thin Layer Chromatography Analysis of Ethanol Extract Jeruju Leaf (Hydrolea spinosa L.). *Jurnal Ilmiah Farmako Bahari*, 11(2), 113-124.
- Garkoti, J., Shabir., and Mozumdar, S. (2017). Imidazolium Based Ionic Liquid Supported on Fe₃O₄@SiO₂ Nanoparticle as an Efficient Heterogeneous Catalyst for N-formylation of Amines. *New J. Chem*, 0(0), 1-10.
- Ghorbani, F., and Kamari, S. (2019). Core–shell magnetic nanocomposite of Fe₃O₄@SiO₂@NH₂ as an efficient and highly recyclable adsorbent of methyl red dye from aqueous environments. *Environmental Technology and Innovation*, 14, 100333.
- Grilli, M. L., Yilmaz, M., Aydogan, S., and Cirak, B. B. (2018). Room temperature deposition of XRD-amorphous TiO₂ thin films: Investigation of device performance as a function of temperature. *Ceramics International*, 44(10), 11582–11590.
- Habila, M. A., Alothman, Z. A., El-Toni, A. M., Labis, J. P., and Soylak, M. (2016). Synthesis and application of Fe₃O₄@SiO₂@TiO₂ for photocatalytic decomposition of organic matrix simultaneously with magnetic solid phase extraction of heavy metals prior to ICP-MS analysis. *Talanta*, 154, 539–547.
- Han, D., West, D., Li, X. B., Xie, S. Y., Sun, H. B., and Zhang, S. B. (2010). Impurity doping in SiO₂: Formation energies and defect levels from first-principles calculations. *Physical Review*, 82, 1-7.
- Hariani, P. L., Faizal, M., Ridwan, R., Marsi, M., and Setiabudidaya, D. (2013). Synthesis and Properties of Fe₃O₄ Nanoparticles by Co-precipitation Method to Removal Procion Dye. *International Journal of Environmental Science and Development*, 4(3), 336–340.
- Hedayat, B., Noorisepehr, M., Dehghanifard, E., Esrafil, A., and Norozi, R. (2018). Evaluation of photocatalytic degradation of 2,4-Dinitrophenol from synthetic wastewater using Fe₃O₄@SiO₂@TiO₂/rGO magnetic nanoparticles. *Journal of Molecular Liquids*, 264 (2017), 571–578.
- Indrayana, I. P. T., Tuny, M. T., Putra, R. A., Juharni., Suharyadi, E., Kato, T., and Iwata, S. (2020). Synthesis, Characterization, and Application of Fe₃O₄ Nanoparticles as A Signal Amplifier Element in Surface Plasmon Resonance Biosensing. *JoP*, 5(2), 65-74.
- Indriani, D., Fahyuan, H. D., dan Ngatijo. (2018). Uji UV-Vis Lapisan TiO₂/N₂ untuk Menentukan Band Gap Energy. *JoP*, 3(2), 6-10.

- Kiswanti, E. A. D., dan Pratapa, S. (2013). Sintesis Titanium Dioksida (TiO_2) Menggunakan Metode Logam-Terlarut Asam. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*, 3(2), 18–21.
- Kiziltas, H., Tekin, T., and Tekin, D. (2020). Synthesis, characterization of $Fe_3O_4@SiO_2@ZnO$ composite with a core-shell structure and evaluation of its photocatalytic activity. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 104160.
- Koo, N. K., Ismail, A. F., Othman, M. H. D., Rahman, M. A., and Sheng, T. Z. (2019). Preparation and Characterization of Superparamagnetic Magnetite (Fe_3O_4) Nanoparticles : A short Review. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 15(1), 23–31.
- Kumar, A., and Gajanan, P. (2017). A Review on the Factors Affecting the Photocatalytic Degradation of Hazardous Materials. *Materials Science & Engineering International Journal*, 1(3), 1-10.
- Lazim, Z. M., Mazuin, E., Hadibarata, T., and Yusop, Z. (2015). The Removal of Methylene Blue and Remazol Brilliant Blue R Dyes by Using Orange Peel and Spent Tea Leaves. *Jurnal Teknologi*, 74(11), 129-135.
- Li, Y. F., Zhang, W. P., Li, X., and Yu, Y. (2014). TiO_2 Nanoparticles with High Ability for Selective Adsorption and Photodegradation of Textile Dyes under Visible Light by Feasible Preparation. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 75(1), 86–93.
- Liu, H., Jia, Z., Ji, S., Zheng, Y., Li, M., and Yang, H. (2011). Synthesis of $TiO_2/SiO_2@Fe_3O_4$ Magnetic Microspheres and Their Properties of Photocatalytic Degradation Dyestuff. *Catalysis Today*, 175(1), 293–298.
- Maulana, M. (2018). Profil Kromatografi Lapis Tipis (KLT) Ekstrak Daun Bidara Arab (*Ziziphus spina cristii*. L) Berdasarkan Variasi Pelarut. *Skripsi*. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Meyori, F., Elvia, R., dan Candra, I. N. (2018). Kopresipitasi Dari Pasir Pantai Panjang Bengkulu. *ALOTROP, Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Kimia*, 2(1), 46–51.
- Mohabansi, N. P., Patil, V. B., and Yenkie, N. (2011) A Comparative Study on Photo Degradation of Methylene Blue Dye Effluent by Advanced Oxidation Process by Using TiO_2/ZnO Photo Catalyst. *Rasayan J. Chem*, 4(4), 814-819.
- Munasir, Luvita, N. R. D., Kusumawati, D. H., Putri, N. P., Triwikantoro, and Supardi, Z. A. I. (2018). Synthesis of PANi- SiO_2 Nanocomposite with In-Situ Polymerization Method: Nanoparticle Silica (NPS) Amorphous and Crystalline Phase. *Journal of Physics: Conference Series*, 997(1).

- Muslimah, F. A., Mustikasari, K., Yunus, R., dan Korespondensi, K. (2019). Pengaruh Aerasi Terhadap Degradasi *Congo Red* Secara Fotokimia Dengan TiO_2 dan H_2O_2 . *Sains dan Terapan Kimia*, 13(1), 29–38.
- Ngadi, N., Ee, C. C., and Yusoff, N. A. (2013). Removal Of Methylene Blue Dye By Using Eggshell Powder. *Jurnal Teknologi*, 65(1), 63-71.
- Nikmah, A., Taufiq, A., and Hidayat, A.(2019). Synthesis and Characterization of Fe_3O_4/SiO_2 nanocomposites. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 276, 1-10.
- Noval, V. E., and Carriazo, J. G. (2019). $Fe_3O_4-TiO_2$ and $Fe_3O_4-SiO_2$ Core-Shell Powders Synthesized from Industrially Processed Magnetite (Fe_3O_4) Microparticles. *Materials Research*, 22(3), 1-12.
- Nugroho, R. T., dan Imelda, F. (2017). Efektivitas Fotodegradasi Zat Warna Alizarine Red-S Menggunakan Oksidator Hidrogen Peroksida (H_2O_2) dan Fotokatalis TiO_2 . *Analytical and Environmental Chemistry*, 2(2), 26-37.
- Permana, B., Saragi, T., Saputri, M., Safriani, L., Rahayu, I., dan Risdiana. (2017). Sintesis Nanopartikel ZnO dengan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, 07(02), 17–20.
- Pratama, I., Destiarti, L., dan Nurlina. (2018). *Penurunan Kadar Timbal (II) Menggunakan Zeolit-X Sintetis dari Batu Padas*. 7(1).
- Purwanto, A., Taslimah, dan Sriatun. (2012). Sintesis dan Karakterisasi Silica Gel dari Tetraethylortosilikat (TEOS) Menggunakan Surfaktan Polyethylene Glycol (PEG) 6000 dalam Kondisi Basa. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 15(1), 1-6.
- Qin, Y., Hanbing, Z., Zhangfa, T., Zhenyu, S., and Ninghua, C. (2017). A Faccile Synthesis of $Fe_3O_4/SiO_2/ZnO$ with Superior Photocatalytic Performance of 4-nitrophenol. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(3), 2207-2213.
- Rafatullah, M., Sulaiman, O., Hashim, R., and Ahmad, A. (2010). Adsorption of Methylene Blue on Low-Cost Adsorbents: A Review. *Journal of Hazardous Materials*, 177, 70-80.
- Ramadhan, N. I., Munasir, dan Triwikantoro. (2014). Sintesis dan Karakterisasi Serbuk SiO_2 dengan Variasi pH dan Molaritas Berbahan Dasar Pasir Bancar, Tuban. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*, 3(1), 15–17.
- Ramanda, Y., Nuryono, and Kunarti, E. S. (2019). Synthesis and application of $Fe_3O_4/SiO_2/TiO_2$ Nanocomposite as a Photocatalyst in CO_2 Indirect Reduction to Produce Methanol. *Indonesian Journal of Chemistry*, 19(4), 827–834.

- Reza, K. M., Kurny, A., and Gulshan, F. (2016). Photocatalytic Degradation of Methylene Blue by Magnetite+H₂O₂+UV Process. *International Journal of Environmental Science and Development*, 7(5), 325–329.
- Riyanto, A. (2019). Preparasi dan Karakteristik Fisis Nanopartikel Magnetit (Fe₃O₄). *Jurnal Fisika Flux*, 16(1), 35–41.
- Salamat, S., Younesi, H., and Bahramifar, N. (2017). Synthesis of Magnetic Core–Shell Fe₃O₄@TiO₂ Nanoparticles from Electric Arc Furnace Dust for Photocatalytic Degradation of Steel Mill Wastewater. *RSC Advances Paper*. 7, 19391-19405.
- Samuel, J. J., and Yam, F. K. (2020). Photocatalytic Degradation of Methylene Blue Under Visible Light by Dye Sensitized Titania. *Mater.Res.Express*, 7, 1-8.
- Sani, A., Rostika, A., dan Rakhmawaty, D. (2009). Pembuatan Fotokatalis TiO₂ - Zeolit Alam Asal Tasikmalaya untuk Fotodegradasi *Methylene Blue*. *Journal of Indonesia Zeolites*, 8(1), 1411–6723.
- Sanjaya, H., Rida, P., dan Ningsih, S. K. W. (2017). Degradasi *Methylene Blue* Menggunakan Katalis ZnO-PEG dengan Metode Fotosonolisis. *Eksakta*, 18(2), 21-29.
- Santhosh, A. M., Yogendra, K., Mahadevan, K. M., and Madhusudhana, N. (2017). Photodegradation of Congo red azo dye , a Carcinogenic Textile dye by using synthesized Nickel Calciate Nanoparticles. *Int. Adv. Res. j. Sci. Eng.*, September, 51–64.
- Siddiq, A., Masih, D., Anjum, D., and Siddiq, M. (2015). Cobalt and Sulfur co-doped nano-size TiO₂ for Photodegradation of Various Dyes and Phenol. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 37, 100–109.
- Silvia, L., dan Zainuri, M. (2020). Analisis Silika (SiO₂) Hasil Kopresipitasi Berbasis Bahan Alam menggunakan Uji XRF dan XRD. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 16(1), 12.
- Sugiyana, D., dan Notodarmojo, S. (2015). Studi Mekanisme Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Azo Acid Red 4 Menggunakan Katalis Mikropartikel TiO₂. *Arena Tekstil*, 30(2), 83-93.
- Sun, M., Senthil, R. A., Pan, J., Osman, S., and Khan, A. (2018). A Facile Synthesis of Visible-Light Driven Rod-on-Rod like α -FeOOH/ α -AgVO₃ Nanocomposite as Greatly Enhanced Photocatalyst for Degradation of Rhodamine B. *Catalysts*, 8(9).
- Syahvalensi, N., Rokhmat, M., dan Wibowo, E. (2019). Pengaruh Penambahan Karbon pada Fotokatalist Berbahan Dasar TiO₂ untuk Mendegradasi *Methylene Blue*. *e-Prociding of Engineering*, 6(1), 1189-1196.

- Syam, L. M. (2017). Uji Karakteristik Nanopartikel Magnetit (Fe_3O_4) Menggunakan *X-Ray Diffraction* dan *Scanning Electron Microscopy*. Makassar: UIN Alauddin Makassar.
- Talbot, D., Abramson, S., Griffete, N., Bee, A., Talbot, D., Abramson, S., Griffete, N., and Bee, A. (2019). pH-Sensitive Magnetic Alginate/ Γ - Fe_2O_3 Nanoparticles for Adsorption/Desorption of A Cationic Dye from Water. 1-21.
- Tarcea, C. I., Pantilimon, C. M., Matei, E., Predescu, A. M., Berbecaru, A. C., Rapa, M., Turcanu, A., and Predescu, C. (2020). Photocatalytic Degradation of Methylene Blue Dye Using TiO_2 and $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ as Photocatalysts. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng*, 877, 1-13.
- Teja, A. S., and Koh, P. Y. (2009). Synthesis, Properties, and Applications of Magnetic Iron Oxide Nanoparticles. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, 55(1–2), 22–45.
- Thirumavalavan, P., Rajendran, V., and Sivaraj, R. (2018). Nano-composites for the Photo-degradation of Acid Brown- 43 Dye with Irradiation of Solar light. *Oriental Journal Chemestry*, 34(1), 2637–2642.
- Tian, Y., Wu, D., Jia, X., Yu, B., and Zhan, S. (2011). Core-Shell Nanostructure of α - $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Fe}_3\text{O}_4$: Synthesis and Photocatalysis for Methyl Orange. *Journal of Nanomaterials*, 1-5.
- Tichapondwa, S. M., Newman, J. P., and Kubheka, O. (2020). Effect of TiO_2 Phase on the Photocatalytic Degradation of Methylene Blue Dye. *Journal Pre-Proof*, 1-22.
- Titdoy, S., Wuntu, A. D., dan Kamu, V. S. (2016). Kinetika Fotodegradasi Remazol Yellow Menggunakan Zeolit A Terimpregnasi TiO_2 . *Jurnal MIPA*, 5(1), 10–13.
- Tussa'adah, R., dan Astuti. (2015). Sintesis Material Fotokatalis TiO_2 untuk Penjernihan Limbah Tekstil. *Jurnal Fisika Unand*, 4(1), 91–96.
- Ukhiyani, I., Darwis, D., dan Iqbal, I. (2017). Purifikasi dan Karakterisasi Silika (SiO_2) Berbasis Pasir Kuarsa dari Desa Pasir Putih Kecamatan Pamona Selatan Kabupaten Poso. *Natural Science: Journal of Science and Technology*, 6(3), 270–275.
- Utari, R. S. (2015). Fotodegradasi Zat Warna *Congo Red* Menggunakan Nanomagnetik Fe_3O_4 dan Pengaruh Penambahan H_2O_2 . *Skripsi*. Indralaya : Universitas Sriwijaya.
- Villegas, V. A. R., Ramírez, J. I. D. L., Guevara, E. H., Sicairos, S. P., Ayala, L. A. H., and Sanchez, B. L. (2019). Synthesis and Characterization of Magnetite

- Nanoparticles for Photocatalysis of Nitrobenzene. *Journal of Saudi Chemical Society*, 24(2), 223–235.
- Wang, X., Han, S., Zhang, Q., Zhang, N., and Zhao, D. (2018). Photocatalytic Oxidation Degradation Mechanism Study of Methylene Blue Dye Waste Water with GR/iTO₂. *MATEC Web of Conferences*, 238, 1-5.
- Wang, Y., Sun, D., Liu, G., and Jiang, W. (2015). Synthesis of Fe₃O₄@SiO₂@ZnO Core-Shell Structured Microspheres and Microwave Absorption Properties. *Advanced Powder Technology*, 26(6), 1537–1543.
- Wardiyati, S., Adi, W. A., dan Winatapura, D. S. (2016). Pengaruh Penambahan SiO₂ Terhadap Karakteristik dan Kinerja Fotokatalitik Fe₃O₄/TiO₂ pada Degradasi Methylene Blue. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 38(1), 31.
- Wardiyati, S., Fisli, A., dan Dewi, S. H. (2017). Eliminasi Senyawa Azobenzene pada Limbah Batik Menggunakan Nanokatalis Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ dan Sinar Matahari. *M. P. I*, 11(1), 69-76.
- Widihati, I., Diantariani, N., dan Nikmah, Y. (2011). Fotodegradasi Metilen Biru dengan Sinar UV dan Katalis Al₂O₃. *Jurnal Kimia*, 5(1), 31–42.
- Widjajanti, E., Tutik, R., dan Utomo, M. P. (2011). Pola Adsorpsi Zeolit Terhadap Pewarna Azo Metil Merah dan Metil Jingga. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*, 115-121.
- Winatapura, D. S., dan Yusuf, S. (2014). Sintesis Komposit Fe₃O₄-SiO₂-TiO₂ dan Aplikasinya untuk Mendegradasi Limbah Zat Warna Methylene Blue. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 15(3), 147–152.
- Wulandari, I. O., Wardhani, S., dan Purwonugroho, D. (2014). Sintesis dan Karakterisasi Fotokatalis ZnO pada Zeolit. *Kimia Student Journal*, 1(2), 241.
- Xie, E., Zheng, L., Li, X., Wang, Y., Dou, J., Ding, A., and Zhang, D. (2019). One-step Synthesis of Magnetic-TiO₂-Nanocomposites with High Iron Oxide-Composing Ratio for Photocatalysis of Rhodamine 6G. *PLoS ONE*, 14(8), 1–19.
- Xue, C., Zhang, Q., Li, J., Chou, X., Zhang, W., Ye, H., Cui, Z., and Dobson, P. J. (2013) High Photocatalytic Activity of Fe₃O₄-SiO₂-TiO₂ Functional Particles with Core-Shell Structure. *Journal of Nanomaterials*, 1-8.