

**DEGRADASI FOTOKATALITIK ZAT WARNA
PROCION RED MX-8B MENGGUNAKAN
KOMPOSIT $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia**



Oleh :

USWATUN KHOIROH

08031381621058

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

HALAMAN PENGESAHAN

**DEGRADASI FOTOKATALITIK ZAT WARNA *PROCION RED MX-8B*
MENGUNAKAN KOMPOSIT $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia

Oleh :

USWATUN KHOIROH
08031381621058

Pembimbing I



Fahma Riyanti, M.Si
NIP. 197204082000032001

Indralaya, 19 Maret 2021
Pembimbing II



Dra. Fatma, M.S
NIP. 196207131991022001



HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi ini dengan judul "Degradasi Fotokatalitik Zat Warna *Procion Red MX-8B* Menggunakan Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$ " telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Karya Ilmiah Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada Tanggal 16 Maret 2021 dan diperbaiki, diperiksa serta disetujui sesuai masukan yang diberikan.

Indralaya, 19 Maret 2021

Ketua :

1. **Fahma Riyanti, M. Si.**
NIP. 197204082000032001


()

Anggota :

2. **Dra. Fatma, M. S.**
NIP. 196207131991022001
3. **Dr. Bambang Yudono, M. Sc.**
NIP. 196102071989031004
4. **Dr. Desnelli, M. Si**
NIP. 196912251997022001
5. **Dr. Ferlina Hayati, M. Si**
NIP. 197402052000032001

()

()

()

()



Mengetahui,



iii

Universitas Sriwijaya

iii

Universitas Sriwijaya

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Uswatun Khoiroh
NIM : 08031381621058
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 dipublikasikan atau 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 sebenarnya.

Indralaya, Maret 2021

Penulis



Uswatun Khoiroh
NIM. 08031381621058

**HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Uswatun Khoiroh
NIM : 08031381621058
Fakultas/Jurusan : MIPA/ Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “hak bebas royalti non-eksklusif (*non-exclusively royalty-free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul: “Degradasi Fotokatalitik Zat Warna *Procion Red MX-8B* Menggunakan Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$ ”. Dengan hak bebas royalti non-eksklusif 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.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, Maret 2021

Yang menyatakan,



Uswatun Khoiroh
NIM. 08031381621058

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini sebagai tanda syukur ku kepada:

Allah SWT

Ku persembahkan karya ini kepada :

- * *Diriku sendiri* yang telah berjuang dan bertahan hingga titik ini, tidak kenal menyerah walau lelah dan terima kasih telah bekerja sama dengan baik, kedepannya akan lebih banyak rintangan yang harus diri ini lalui.
- * *Kedua Orang Tuaku* (Ayah Amir, S. Pd. dan Ibu Rosdiana, A. Ma. Pd.)
- * *Saudara/i-ku* (Amanda Dwi Lestari, Rahmat Amrullah, dan Azzahra Aisyah)
- * *Pembimbing Skripsi dan Penelitian* (Ibu Fahma Riyanti, M. Si., Ibu Dra. Fatma, M. S, dan Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M. Si.)
- * *Keluarga Besaraku*
- * *Sahabat-sahabatku*
- * *Almamaterku*. Universitas Sriwijaya

Motto :

"Catch upon your dreams"

"If you dream a thing more than once,
it's sure to come true" –Aurora

"So indeed, with every difficulty there is relief.
Indeed, with every difficulty there is relief." Q.S. 94: 5-6

"Belajar mandiri. Satu hingga dua langkah sendiri.
Asal jangan berhenti, nanti juga akan sampai"

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Degradasi Fotokatalitik Zat Warna *Procion Red MX-8B* Menggunakan Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$ ”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tuaku, Ayah dan Ibu yang telah memberikan kasih sayang yang tak terhingga serta semangat yang tak terhitung serta senantiasa mendo'akan setiap langkahku... gelar ini kupersembahkan untuk ayah dan ibuku tersayang.
2. Bapak Hermansyah, Ph. D selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Dr. Hasanudin, M. Si selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.
4. Ibu Fahma Riyanti, M. Si sebagai pembimbing pertama skripsi yang telah memberikan ilmu dan waktunya untuk membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi. Terima kasih atas bantuan ibu, semoga Allah membalasnya dengan pahala tak terhingga.
5. Ibu Dra. Fatma, M. S sebagai pembimbing kedua skripsi yang telah memberikan ilmu serta waktunya kepada penulis. Terima kasih atas bantuan dan masukan dari ibu, semoga Allah membalasnya dengan pahala tak terhingga.
6. Ibu Prof. Poedji Loekitowati Hariani, M. Si sebagai pembimbing skripsi dan penelitian yang telah membantu penulis sejak awal proposal hingga tahap akhir menuju sidang dan memperoleh gelar sarjana. Terima kasih telah bersedia direpotkan oleh penulis atas pertanyaan-pertanyaan dan juga selalu memberi masukan yang sangat bermanfaat bagi penulis. Semoga Allah selalu melimpahkan rezeki dan pahala tak terhingga kepada ibu.

7. Bapak Dr. Muhammad Said, M. T sebagai pembimbing akademik yang selalu memotivasi penulis setiap semesternya dan memberikan pelajaran hidup yang bermakna dari awal perkuliahan hingga penulis dapat memperoleh gelar sarjana.
8. Bapak Dr. Bambang Yudono, M. Sc, Ibu Dr. Desnelli, M. Si dan Ibu Dr. Ferlina Hayati, M. Si sebagai dosen penguji sidang sarjana yang telah memberikan ilmu dan masukan hingga tersusunnya skripsi ini.
9. Seluruh Dosen dan Staf serta Analis Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis selama masa perkuliahan.
10. Admin Jurusan Kimia; Mba Novi, Kak Iin dan Kak Teju. Terima kasih telah banyak membantu penulis dalam hal administrasi selama perkuliahan hingga penulis menyelesaikan studi.
11. Adik-adikku; Amanda Dwi Lestari, Rahmat Amrullah dan Azzahra Aisyah yang aku sayangi dan aku banggakan. Terima kasih telah mendo'akan serta memberikan semangat selama ini. Semoga perjalanan kalian dalam menyelesaikan studi selalu dimudahkan oleh Allah swt.
12. Sahabat-sahabatku; Defi Yulianti Sari, Gusti Yeni R.I, Riska Anggraini dan Revika Fatriani serta Almh. Cindy Laurenza. Terima kasih telah memberikan dukungan dan semangat sejak SMK hingga saat ini. Semoga kedepannya persahabatan kita tetap seperti ini hingga Jannah-Nya dan do'a baik yang kita rencanakan masing-masing dipermudah.
13. Sahabatku; Ajeng Rizki Sakinah. Terima kasih atas segala bantuan dan kesediaannya selama ini dan Dita juga Shinta yang selalu memberikan semangat sejak Bimbel hingga saat ini. Walaupun kita terpisah oleh jarak semoga senantiasa saling mendo'akan yang terbaik.
14. Partner ENJ-ku; Nadia dan Cut. Terima kasih telah kebersamaan saat susah maupun senang selama ekspedisi hingga perjalanan skripsi. Ternyata kita sefrekuensi hampir dalam segala hal, bahagia dipertemukan dengan kalian diujung masa studiku.
15. Teman sejak maba; Luvita Andarini. Terima kasih atas kesediaan untuk direpotkan selama ini, pengertian dan perhatiannya, all the best for you.

16. Keluarga Cemara Lab. KF; Melati, Kristina, Lepa, Sastriani, Yusri, Kharimah, Penti, Dian PS, Puji, Neni, Fitri dan Qodria. Terima kasih telah bersama melalui penelitian dalam suka dan duka, takkan terlupakan cerita kita selama ngelab dan lembur di KF.
17. Tim Penelitian Prof. Poedji; Kak Widya Twiny, Yasinta, Dian, Sabilla, Erna, Putu, Farah, Arcella, Yohana dan Vio.
18. Teman seperjuangan Lab. Biokim Squad; Khairani, Dyah, Nur, Rani, dan Andrean, terima kasih atas semangatnya selama ini.
19. Teman-temanku; Intan, Normah, Chika, Widya, Novie, Yuni, Desi, Ayu Hartati, Seli, Demi, Winni, Bella, Devi, Hilal, Fahmi, Dhoan, Ali dan Faisal. Terima kasih atas kebaikan kalian, see you all on top!
20. Saudara/i-ku di Ekspedisi Nusantara Jaya 2019; 24 amazing persons. Terima kasih atas memori berkesan yang kita ciptakan bersama, pelajaran hidup yang amat berharga serta suka dan duka 40 hari bersama kalian. See you again my team, my family.
21. Teman-teman seperjuangan Kimia 2016 FMIPA Universitas Sriwijaya.
22. Last but not least; Erik Extrada. Terima kasih untuk selalu ada.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna dikarenakan terbatasnya pengalaman dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis memohon maaf atas segala kesalahan dan kekurangan. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Indralaya, 19 Maret 2021

Uswatun Khoiroh
NIM. 08031381621058

ABSTRACT

PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF *PROCION RED MX-8B* DYES USING Fe₃O₄/SiO₂/ZnO COMPOSITES

Uswatun Khoiroh : Supervised by Fahma Riyanti, M. Si., and Dra. Fatma, M. S.
Chemistry Department, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya
University, xi + 70 pages, 16 pictures, 3 tables, 17 attachments.

The research of photocatalytic degradation of *procion red MX-8B dyes* using Fe₃O₄/SiO₂/ZnO composites has been done. The Fe₃O₄/SiO₂/ZnO composite was synthesized by the coprecipitation method with Fe₃O₄ as the composite core then coated with SiO₂ and finally coated with ZnO. The application of Fe₃O₄/SiO₂/ZnO synthesis was used to degrade *procion red MX-8B* dyes by UV light. Fe₃O₄/SiO₂/ZnO composite were characterized using XRD, SEM-EDS, and VSM. The results of characterization using XRD, Fe₃O₄/SiO₂/ZnO composite showed a sharp peak intensity at $2\theta = 34.41^\circ$ and had a crystal size of 51.87 nm. The SEM-EDS analysis results showed that the surface of the composite is porous and has irregular spheres with the composition elements of Fe (13.12%), Si (15.70%), O (30.35%), and Zn (22.99%). The results of VSM obtained the magnetization saturation value of composites Fe₃O₄/SiO₂/ZnO was 48.13 emu/g. The optimum conditions of Fe₃O₄/SiO₂/ZnO composites for degradation *procion red MX-8B* dyes occurred at 180 minutes contact time at pH 6, the optimum concentration *procion red MX-8B* dyes was 35 mg/L and the composite Fe₃O₄/SiO₂/ZnO weight was 0.04 g with a degradation effectiveness of 75.889%.

Keywords : Fe₃O₄/SiO₂/ZnO Composite, *procion red MX-8B*, photocatalytic, degradation

Citation : 69 (1989-2020)

ABSTRAK

DEGRADASI FOTOKATALITIK ZAT WARNA *PROCION RED MX-8B* MENGUNAKAN KOMPOSIT $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$

Uswatun Khoiroh: Dibimbing oleh Fahma Riyanti, M. Si., dan Dra. Fatma, M. S.
Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas
Sriwijaya, xvii + 71 halaman, 16 gambar, 3 tabel dan 17 lampiran.

Penelitian tentang degradasi fotokatalitik zat warna *procion red MX-8B* menggunakan komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$ telah dilakukan. Sintesis komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$ dilakukan dengan metode kopresipitasi dengan Fe_3O_4 sebagai inti komposit kemudian dilapisi dengan SiO_2 dan terakhir dilapisi dengan ZnO . Aplikasi dari sintesis $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$ digunakan untuk mendegradasi zat warna *procion red MX-8B* dengan bantuan sinar UV. Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$ dikarakterisasi menggunakan XRD, SEM-EDS, dan VSM. Hasil karakterisasi menggunakan XRD, komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$ menunjukkan intensitas puncak yang tajam pada $2\theta = 34,41^\circ$ dan memiliki ukuran kristal sebesar 51,87 nm. Hasil analisa SEM-EDS menunjukkan permukaan komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$ berpori serta memiliki bulatan yang tidak beraturan dengan komposisi unsur penyusun Fe (13,12%), Si (15,70%), O (30,35%), dan Zn (22,99%). Hasil karakterisasi menggunakan VSM didapatkan nilai magnetisasi saturasi komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$ sebesar 48,13 emu/g. Kondisi optimum degradasi komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$ terhadap zat warna *procion red MX-8B* terjadi pada waktu kontak penyinaran selama 180 menit dengan pH 6, konsentrasi optimum zat warna *procion red MX-8B* pada 35 mg/L dan berat komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$ sebanyak 0,04 g dengan efektivitas degradasi sebesar 75,889%.

Kata kunci : Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$, *procion red MX-8B*, fotokatalitik,
degradasi

Kutipan : 69 (1989-2020)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRACT	x
ABSTRAK	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Limbah Industri Tekstil.....	4
2.2 Zat Warna Azo <i>Procion Red MX-8B</i>	4
2.3 Magnetit (Fe_3O_4)	5
2.4 Silika (SiO_2)	6
2.5 Seng Oksida (ZnO)	7
2.6 Komposit $\text{Fe}_3\text{SO}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$	7
2.7 Metode Kopresipitasi	8
2.8 Degradasi Fotokatalitik Zat Warna	9
2.9 Karakterisasi.....	11
2.9.1 Spektrofotometri <i>UV-Visible</i>	11

2.9.2 X-Ray Diffraction (XRD).....	12
2.9.3 Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS).....	14
2.9.4 Vibrating Sample Magnetometer (VSM).....	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	16
3.1 Waktu dan Tempat.....	16
3.2 Alat dan Bahan	16
3.2.1 Alat	16
3.2.2 Bahan	16
3.3 Prosedur Penelitian	16
3.3.1 Sintesis Fe ₃ O ₄	16
3.3.2 Sintesis Komposit Fe ₃ O ₄ /SiO ₂	17
3.3.3 Sintesis Komposit Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /ZnO	17
3.3.4 Karakterisasi	17
3.3.4.1 X-Ray Diffraction (XRD)	17
3.3.4.2 Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS)	18
3.3.4.3 Vibrating Sample Magnetometer (VSM)	18
3.3.5 Penentuan pH <i>Point Zero Charge</i> (pH _{pzc}).....	18
3.3.6 Penentuan Konsentrasi Zat Warna <i>Procion Red MX-8B</i>	19
3.3.6.1 Pembuatan Larutan Induk Zat Warna <i>Procion Red MX-8B</i> 1000 mg/L.....	19
3.3.6.2 Pembuatan Larutan Standar Zat Warna <i>Procion Red MX-8B</i> 100 mg/L.....	19
3.3.6.3 Penentuan Kurva Kalibrasi Zat Warna <i>Procion Red MX-8B</i>	19
3.3.7 Penentuan Kondisi Optimum Degradasi Zat Warna <i>Procion Red MX-8B</i>	19
3.3.7.1 Pengaruh Lama Waktu Kontak	19
3.3.7.2 Pengaruh Konsentrasi Zat Warna	20
3.3.7.3 Pengaruh Berat Komposit	20
3.4 Analisis Data	20
3.4.1 Karakterisasi Material	20
3.4.2 Efektivitas Degradasi Fotokatalitik	21

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1 Sintesis Fe ₃ O ₄	22
4.2 Sintesis Komposit Fe ₃ O ₄ /SiO ₂	23
4.3 Sintesis Komposit Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /ZnO	24
4.4 Karakterisasi Material	25
4.4.1 Hasil Karakterisasi Fe ₃ O ₄ , Komposit Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ , Komposit Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /ZnO dengan XRD	25
4.4.2 Hasil Karakterisasi Fe ₃ O ₄ , Komposit Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ , Komposit Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /ZnO dengan SEM-EDS	27
4.4.1 Hasil Karakterisasi Fe ₃ O ₄ , Komposit Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ , Komposit Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /ZnO dengan VSM.....	29
4.5 pH <i>Point Zero Charge</i> (pH PZC) Komposit Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /ZnO	30
4.6 Kondisi Optimum Degradasi Zat Warna <i>Procion Red MX-8B</i>	31
4.6.1 Pengaruh Lama Waktu Penyinaran	31
4.6.1 Pengaruh Konsentrasi Zat Warna	33
4.6.1 Pengaruh Berat Komposit	34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	36
5.1 Kesimpulan	36
5.2 Saran	36
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN.....	43
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur <i>procion red MX-8B</i>	5
Gambar 2. Proses Pembentukan Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$	8
Gambar 3. Mekanisme reaksi degradasi fotokatalitik zat warna <i>congo red</i>	10
Gambar 4. Fotoreaktor untuk mendegradasi zat warna <i>procion red MX-8B</i>	11
Gambar 5. Pola XRD (a) ZnO , (b) Fe_3O_4 dan (c) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$	13
Gambar 6. Kurva VSM (a) Fe_3O_4 (b) Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ (c) Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$	15
Gambar 7. Fe_3O_4 hasil sintesis yang berinteraksi dengan magnet eksternal.....	22
Gambar 8. Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ hasil sintesis yang berinteraksi dengan magnet eksternal.....	23
Gambar 9. Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$ hasil sintesis yang berinteraksi dengan magnet eksternal	24
Gambar 10. Difraktogram (a) Fe_3O_4 (b) Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ (c) Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$	25
Gambar 11. Morfologi SEM pada perbesaran 20000x (a) Fe_3O_4 , (b) Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$, (c) Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$	27
Gambar 12. Kurva Histeresis (a) Fe_3O_4 , (b) Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$, (c) Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$	29
Gambar 13. Grafik pH _{pzc} Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$	31
Gambar 14. Kurva Pengaruh Lama Waktu Penyinaran	32
Gambar 15. Kurva Pengaruh Variasi Konsentrasi	33
Gambar 16. Kurva Pengaruh Variasi Berat Komposit.....	34

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Hasil Karakterisasi XRD pada Sudut 2θ , Intensitas Puncak dan Ukuran Partikel dari Sintesis Fe_3O_4 , Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$, dan Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$	26
Tabel 2. Data EDS Unsur-unsur Penyusun Sintesis Fe_3O_4 , Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$, dan Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$	28
Tabel 3. Nilai Magnetisasi Saturasi dan Medan Magnet pada Sintesis Fe_3O_4 , Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$, dan Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$	30

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Alir Penelitian.....	44
Lampiran 2. Hasil Karakterisasi Fe ₃ O ₄ Menggunakan XRD.....	46
Lampiran 3. Hasil Karakterisasi Komposit Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ Menggunakan XRD ..	48
Lampiran 4. Hasil Karakterisasi Komposit Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /ZnO Menggunakan XRD	50
Lampiran 5. Hasil Karakterisasi Fe ₃ O ₄ Menggunakan SEM-EDS	52
Lampiran 6. Hasil Karakterisasi Komposit Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ Menggunakan SEM-EDS.....	53
Lampiran 7. Hasil Karakterisasi Komposit Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /ZnO Menggunakan SEM-EDS.....	54
Lampiran 8. Hasil Karakterisasi Fe ₃ O ₄ Menggunakan VSM	55
Lampiran 9. Hasil Karakterisasi Komposit Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ Menggunakan VSM..	56
Lampiran 10. Hasil Karakterisasi Komposit Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /ZnO Menggunakan VSM.....	57
Lampiran 11. Penentuan pH <i>Point Zero Charge</i> (pH PZC) Komposit Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /ZnO	58
Lampiran 12. Penentuan Panjang Gelombang <i>Procion Red MX-8B</i>	59
Lampiran 13. Penentuan Kurva Kalibrasi Zat Warna <i>Procion Red MX-8B</i>	60
Lampiran 14. Penentuan Kondisi Optimum Penyerapan Zat Warna <i>Procion Red MX-8B</i> Menggunakan Komposit Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /ZnO Terhadap Pengaruh Waktu Kontak	61
Lampiran 15. Penentuan Kondisi Optimum Penyerapan Zat Warna <i>Procion Red MX-8B</i> Menggunakan Komposit Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /ZnO Terhadap Pengaruh Variasi Konsentrasi	64
Lampiran 16. Penentuan Kondisi Optimum Penyerapan Zat Warna <i>Procion Red MX-8B</i> Menggunakan Komposit Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /ZnO Terhadap Pengaruh Variasi Konsentrasi	67
Lampiran 17. Gambar Penelitian	69

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri tekstil di Indonesia mengalami peningkatan yang tidak seimbang dengan pengolahan limbah cair yang dihasilkan (Naimah dkk, 2014). Zat warna adalah salah satu limbah yang dihasilkan oleh industri tekstil. Limbah yang mengandung zat warna tersebut apabila dibuang ke ekosistem dapat menimbulkan sumber polutan yang berbahaya bagi lingkungan (Wijaya dkk, 2005). Proses pengolahan limbah industri tekstil yang mengandung zat warna telah dilakukan, diantaranya metode adsorpsi (Sari dkk, 2017), metode biodekolorisasi menggunakan bakteri *Bacillus cereus* (Retno dkk, 2020) dan metode degradasi fotokatalitik (Wahi *et al*, 2005).

Metode adsorpsi kurang efektif untuk mengatasi limbah zat warna dikarenakan zat warna yang diadsorpsi akan terakumulasi di dalam adsorben sehingga dapat menimbulkan masalah baru bagi lingkungan. Metode biodekolorisasi menggunakan bakteri kurang efisien untuk mengatasi limbah zat warna dikarenakan memerlukan waktu yang lama. Sedangkan metode degradasi fotokatalitik dapat mengurai zat warna menjadi senyawa sederhana yang tidak berbahaya dan memiliki beberapa kelebihan diantaranya, sifat toksik dari logam berat yang terdapat di dalam limbah zat warna dapat berkurang, proses yang relatif cepat serta dapat digunakan untuk jangka panjang. Proses fotokatalitik menggunakan kombinasi antara proses fotokimia dan katalis yang dapat menguraikan senyawa-senyawa organik dengan bantuan sinar UV. Keberhasilan metode degradasi fotokatalitik tergantung pada fotokatalis yang bersifat semikonduktor (Perdana dkk, 2014).

Balarak *et al* (2019) menyatakan bahwa bahan-bahan semikonduktor yang dapat digunakan sebagai fotokatalis antara lain adalah ZnO, TiO₂, SnO₂, Ag₂O, CdS, Fe₂O₃, NiO. Salah satu semikonduktor yang baik digunakan adalah seng oksida (ZnO) karena dapat meningkatkan reaksi fotokatalitik dengan adanya energi *band gap* sebesar 3,40 eV dan menghasilkan elektron untuk membentuk radikal hidroksil (\bullet OH) yang dapat mendegradasi zat warna (Perdana dkk, 2014).

Diantariani (2014) melaporkan bahwa semikonduktor ZnO yang ditambahkan dengan bahan magnetik berupa Fe₃O₄ yang mampu mendegradasi zat warna metilen biru sampai 94,67%. Penambahan Fe₃O₄ dapat meningkatkan kinerja fotokatalis. Fe₃O₄ merupakan jenis superparamagnetik karena memiliki momen magnet spontan sehingga dapat terdispersi dengan baik dalam air dan mudah untuk dikumpulkan kembali menggunakan magnet eksternal (Wardiyati dkk, 2016).

Penggabungan Fe₃O₄ dengan fotokatalis ZnO memiliki kelemahan yaitu dapat mengurangi efek katalitik dari fotokatalis ZnO karena ion besi dapat merusak struktur kristal ZnO. Oleh karena itu, diperlukan modifikasi dengan menambahkan lapisan penahan antara Fe₃O₄ dengan ZnO yang dapat mempertahankan efektivitas katalis ZnO maupun fungsi Fe₃O₄ agar relatif lebih stabil misalnya dengan menggunakan silika (SiO₂). Silika digunakan sebagai lapisan penahan karena memiliki sifat yang stabil luas permukaan yang tinggi (Wardiyati dkk, 2016). Silika lebih stabil pada kondisi asam dan dapat menghubungkan Fe₃O₄ sebagai inti komposit sehingga kinerja Fe₃O₄ dan ZnO meningkat (Nikmah *et al*, 2019). Sintesis Fe₃O₄/SiO₂/ZnO dilakukan dengan metode kopresipitasi digunakan pada pembuatan Fe₃O₄ karena dapat menghasilkan Fe₃O₄ dengan ukuran partikel yang relatif kecil yaitu berkisar antara 5 nm sampai dengan 20 nm (Hariyani *et al*, 2013) serta metode ini lebih aman dan sederhana karena dapat dilakukan pada suhu kamar.

Pada penelitian ini komposit Fe₃O₄/SiO₂/ZnO yang disintesis digunakan untuk mendegradasi zat warna *procion red MX-8B* yang merupakan zat warna bersifat reaktif karena dapat bereaksi secara substitusi dengan serat kain sehingga membentuk ikatan ester yang memiliki reaktifitas tinggi dibandingkan zat warna azo lainnya (Kusumaningsih *et al*, 2012). Berdasarkan uraian permasalahan tersebut, maka pada penelitian ini dilakukan sintesis komposit Fe₃O₄/SiO₂/ZnO. Material hasil komposit yang telah disintesis dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS)* dan *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)*. Sifat fotokatalitik dari sintesis komposit Fe₃O₄/SiO₂/ZnO diuji pada proses degradasi fotokatalitik zat warna *procion red MX-8B* menggunakan sinar UV dengan variabel berat katalis, konsentrasi zat warna dan lama waktu penyinaran.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang di atas, masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$ hasil sintesis?
2. Bagaimana pengaruh lama waktu penyinaran, konsentrasi zat warna dan berat komposit terhadap kemampuan material komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$ dalam mendegradasi zat warna *procion red MX-8B*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mensintesis dan mengkarakterisasi komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$ dengan menggunakan XRD, SEM-EDS, dan VSM.
2. Menentukan kondisi optimum kemampuan komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$ dalam mendegradasi zat warna *procion red MX-8B* dengan variabel pengaruh lama waktu penyinaran, konsentrasi zat warna dan berat komposit yang digunakan.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini bertujuan untuk memberi informasi tentang proses sintesis komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnO}$ serta aplikasinya yang dapat digunakan sebagai alternatif dalam mengolah limbah cair yang mengandung zat warna *procion red MX-8B*.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, T. E., Ahmad, B., dan Jantan, M. 2016. Pengaruh Konsentrasi TiO₂ dan Konsentrasi Limbah pada Proses Pengolahan Limbah Pewarna Sintetik Procion Red dengan Metode UV/Fenton/TiO₂. *Jurnal Teknik Kimia*. 22(1): 65-72.
- Ali, M., Khalid, A., Anton P., Geralda, V., and Erik, G. 2016. Application of Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectroscopy and Atomic Force Microscopy in Stroke Affected Brain Tissue. *Swift Journal of Medicine and Medical Sciences*. 2(2): 011-024.
- Almu'minin, A. S., Haryati, T., dan Mulyono, T. 2016. Sintesis dan Karakterisasi Film Lapis Tipis TiO₂ sebagai Pendegradasi Pewarna Tekstil Procion Red MX-8B. *Jurnal Ilmu Dasar*. 17(2): 65-72.
- Anam, C., Sirojudin dan Firdausi, K. 2007. Analisis Gugus Fungsi pada Sampel Uji Bensin dan Spiritus Menggunakan Metode Spektroskopi FTIR. *Jurnal Berkala Fisika*. 10(1): 79-85.
- Andari, N. D., Wardhani, S. 2014. Fotokatalis TiO₂-Zeolit untuk Degradasi Metilen Biru. *Chem Prog*. 79(1): 9-14.
- Ardiansyah, A. 2015. Sintesis Nanosilika dengan Metode Sol-Gel dan Uji Hidrofobitasnya pada Cat Akrilik. *Skripsi*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Atmono, T. M., Rita, P., dan Angie, M. R. K. 2015. Pembuatan Prototipe Vibrating Sample Magnetometer untuk Pengamatan Sifat Magnetik Lapisan Tipis. *Prosiding Pertemuan dan Persentasi Ilmiah-Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir 2015-Pusat Sains dan Teknologi Akselerator-BATAN Yogyakarta*. ISSN 0216-3128. Hal. 57-66.
- Balarak, D., and Ferdos, K. 2019. Photocatalytic Degradation of Amoxicillin Using UV/Synthesized NiO from Pharmaceutical Wastewater. *Indones, J. Chem*. 19(1): 211-218.
- Bukit, N., Erna, F., Pintor, S., dan Tresia, S. 2015. Analisis Difraksi Nanopartikel Fe₃O₄ Metode Kopesipitasi dengan Polietilen Glikol 6000. *Prosiding Seminar Nasional Fisikam(E-Journal) SNF2015*. 4: 163-166.
- Cahyana, A., Ahmad, M., dan Cari. 2014. Analisa SEM (Scanning Electron Microscope) pada Kaca TZN yang Dikristalkan Sebagian. *Prosiding Mathematics and Sciences Forum*. 23-26.
- Chandra, D. 2012. Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Tekstil Rhodamin B Menggunakan Zeolit Terimpregnasi TiO₂. *Skripsi*. Universitas Airlangga: Surabaya.

- Chandra, D., Hindryawati, N., dan Koesnapardi, S. 2019. Degradasi Metilen Biru dengan Metode Fotokatalitik Berdasarkan Variasi Berat Katalis Zeolit WO_3 . *Jurnal Kimia FMIPA UNMUL*.
- Christina, M., Mu'misatun, S., Rany, S., dan Djoko, M. 2007. Studi Pendahuluan Mengenai Degradasi Zat Warna Azo (Metil Orange) dalam Pelarut Air Menggunakan Mesin Berkas Elektron 350 Kev/10 Ma. *JFN*. 1(1): 31-44.
- Delfinas, V. 2014. Studi Pelapisan Nanokristal TiO_2 - SiO_2 /Kitosan pada Katun Tekstil dan Aplikasinya sebagai Senyawa Antibakteri *Staphylococcus Aureus*. *Skripsi*. Universitas Andalas: Padang.
- Devi, L. G., S. Girish, K., and K. Mohan, R. 2013. Poto fenton like process $\text{Fe}^{3+}/(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8/\text{UV}$ for the Degradation of Di Azo Dye Congo Red using Low Iron Concentration. *Central European Journal of Chemistry*. 7(3): 468-477.
- Devika, V., Mohandass, S., Nusrath, T., and Arts, K. 2013. Fourier Transform Infra Red (FT-IR) Spectral Studies of *Foeniculum Vulgare*. *International Research Journal of Pharmacy*. 4(3): 203-206.
- Diantariani, N., Widihati, I., dan Megasari. 2014. Fotodegradasi Zat Warna Tekstil Methylene Blue dan Congo Red Menggunakan Komposit ZnO -AA dan Sinar UV. *Jurnal Kimia*. 10(1): 133-140.
- Dinesh, V.P., *et al.* 2014. Plasmon-Mediated Highly Enhanced Photocatalytic Degradation of Industrial Textile Effluent Dyes using Hybrid $\text{ZnO}@\text{Ag}$ Core-shell Nanorods. *The Royal Society of Chemistry Journal*.
- Elena, J., and Manea, D. 2012. Application of X-Ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscopy (SEM) Methods to the Portland Cement Hydration Processes. *Journal of Applied Engineering Sciences*. 2(15): 35-42.
- Gao, B., Qin, Y., Yan, W., and Wei, Z. 2006. Color Removal from Dye-containing Wastewater by Magnesium Chloride. *Journal of Environmental Management*. 82(2007): 167-172.
- Hariani, P. L., Muhammad, F., Ridwan, Masri and Dedi, S. 2013. Synthesis and Properties of Fe_3O_4 Nanoparticles by Co-precipitation Method to Removal Procion Dye. *International Journal of Environmental Science and Development*. 3(3): 336-340.
- Haryati, T., Andarini, N., dan Mardhiyah, S. 2014. Pengaruh Suhu Sol-Gel dan Pelarut Polyetilen Glycol (PEG) pada Aktivitas Fotokatalis ZnO - TiO_2 sebagai Pendegradasi Limbah Cair Pewarna Tekstil. *Jurnal Penelitian Kimia*. 10(2): 149-156.
- Haryono, Muhammad, F., Christi, L., dan Atiek, R. 2018. Pengolahan Limbah Zat Warna Tekstil Terdispersi dengan Metode Elektrofoltasi. 3(1): 94-105.

- Hendayana, S. 1994. *Kimia Analitik Instrumental Edisi Ke Satu*. Semarang: IKIP Semarang Pres.
- Ibrahim, I., Zikry, A., dan Mohamed, A. 2010. Preparation of Spherical Silica Nanoparticles: Stober Silica. *Journal of American Science*. 6(11): 985-989.
- Junaidi. 2017. Spektrofotometer UV-Vis untuk Estimasi Ukuran Nanopartikel Perak. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. 5(1): 97-102.
- Kusumaningsih, T., Handayani, D. S., dan Lestari, Y. 2012. Pembuatan Mikrokapsul Kitosan Gel Tersambung Silang Etilen Glikol Diglisidil Eter (Psf-Egde-Cts) sebagai Adsorben Zat Warna Procion Red MX-8B. *Jurnal Penelitian Kimia*. 8(1): 47-56.
- Mahdavian, M. and Attar M. 2006. Another Approach in Analysis of Paint Coatings with EIS Measurement: Phase Angle at High Frequencies. *J. of Corrosion Science*, 48(12): 4152–4157.
- Mairoza, A., dan Astuti. 2016. Sintesis Nanopartikel Fe₃O₄ dari Batuan Besi Menggunakan Asam Laurat sebagai Zat Aditif. *Jurnal Fisika Unand*. 5(3): 283-286.
- Maryanti, B., As'ad, S., dan Slamet, W. 2011. Pengaruh Alkalisasi Serat Kelapa-Poliester Terhadap Kekuatan Tarik. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 2(2): 2011.
- Merdekani, S. 2013. Sintesis Partikel Nanokomposit Fe₃O₄/SiO₂ dengan metode Kopresipitasi. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir*. 472-477.
- Muhajir, M., Muhammad, A., dan Dwi A. 2016. Analisis Kekuatan Tarik Bahan Komposit Matriks Resin Berpenguat Serat Alam dengan Berbagai Varian Tata Letak. *Jurnal Teknik Mesin*. 24(2): 1-8.
- Muhammad, A. 2011. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Seng Oksida (ZnO) dengan Metode Proses Pengendapan Kimia Basah dan Hidrotermal untuk Aplikasi Fotokatalisis. *Skripsi*. Depok: Universitas Indonesia.
- Naimah, S., Silvie, A., Bumiarto, N., Novi, N., dan Agustina, A. 2014. Degradasi Zat Warna Pada Limbah Cair Industri Tekstil Dengan Metode Fotokatalitik Menggunakan Nanokomposit TiO₂ – Zeolit. *Jurnal Kimia Kemasan*. 36: 225-236.
- Nasution, N. dan Fitri, A. 2018. Sintesis Nanopartikel TiO₂ Fasa Rutile dengan Metode Kopresipitas. *Jurnal Ilmu Fisika dan Teknologi*. 2(2): 18-25.
- Nikmah, A., Ahmad, T., and Arif H. 2019. Synthesis and Characterization of Fe₃O₄/SiO₂ Nanocomposites. *International of Conference on Life Sciences and Technology Journal*. 276(2019): 1-10.
- Ningrum, Y. P. 2018. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Silika (SiO₂) dari Limbah Geothermal sebagai Fluorescent Fingerprint Powder. *Skripsi*. Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.

- Ningsih, S., Umar, K., dan Utari, N. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel ZnO Doped Cu²⁺ Melalui Metoda Sol-Gel. *Jurnal Eksakta*. 18(2): 39-49.
- Novarini, E., dan Tatang, W. 2011. Sintesis Nanopartikel Seng Oksida (ZnO) Menggunakan Surfaktan Sebagai Stabilisator dan Aplikasinya pada Pembuatan Tekstil Anti Bakteri. *Jurnal Balai Besar Tekstil*. 26(2): 81-87.
- Perdana, N. D., Sri, W., dan Muhammad. 2014. Pengaruh Penambahan Hidrogen Peroksida (H₂O₂) Terhadap Degradasi Methylene Blue dengan menggunakan Fotokatalis ZnO-Zeolit. *Kimia Student Journal*. 2(2): 576-582.
- Permana, B., Saragi, T., Saputri, M., Safriani, L., Rahayu, I., dan Risdiana. 2017. Sintesis Nanopartikel Magnetik dengan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*. 7(2): 17-20.
- Permata, D., Diantariani, N., dan Widihati, I. 2016. Degradasi Fotokatalitik Fenol Menggunakan Fotokatalis ZnO dan Sinar UV. *Jurnal Kimia*. 10(2): 263-269.
- Purwanto, A., Taslimah, dan Sriatun. 2012. Sintesis dan Karakterisasi Silica Gel dari Tetraetilortosilikat (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 Facile Synthesis of Fe₃O₄/SiO₂/ZnO with Superior Photocatalytic Performance of 4-nitrophenol. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 5(3): 2207-2213.
- Rahimah, Ahmad, F., Yelmida, Nurfajriani, dan Zakwan. 2019. Synthesis and Characterization Nanomagnetite by Co-precipitation. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology*. 2(2): 90-96.
- Ramadhan, N., Munasir, dan Triwikantoro. 2014. Sintesis dan Karakterisasi Serbuk SiO₂ dengan Variasi pH dan Molaritas Berbahan Dasar Pasir Bancar, Tuban. *Jurnal Sains dan Seni POMITS*. 3(1): 2337-3520.
- Retno. 2020. Biodekolorisasi Zat Warna *Procion Red* Menggunakan Bakteri *Bacillus cereus*. *Skripsi*. Indralaya: Universitas Sriwijaya.
- Richardson, J.T. 1989. *Principles of Catalyst Development*. New York: Plenum Press.
- Riyani, K., Tien, S., dan Dian, W. 2012. Pengolahan Limbah Cair Batik Menggunakan Fotokatalis TiO₂-Dopan-N dengan Bantuan Sinar Matahari. *Valensi*. 2(5): 581-587.
- Sari, M., Puji, L., dan Risfidian, M. 2017. Penggunaan Karbon Aktif dari Ampas Tebu sebagai Adsorben Zat Warna *Procion Merah* Limbah Cair Industri Songket. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 7(1): 37-40

- Seddigi, Z. S., Saleh, A. A., Shahid P. A., Ekram, D., Abdullah, A. A. dan Shakeel, A. 2013. Kinetics and Photodegradation Study of Aqueous Methyl tert-Butyl Ether Using Zinc Oxide: The Effect of Particle Size. *International Journal of Photoenergy*. 2013: 1-8.
- Sugiyana, D., dan Suprihanto, N. 2015. Studi Mekanisme Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Azo Acid Red 4 Menggunakan Katalis Mikropartikel TiO₂. *Jurnal Arena Tekstil Indonesia*. 3(2): 83-94.
- Suryadi. 2011. Sintesis dan Karakterisasi Biomaterial Hidrosiapatit dengan Proses Pengendapan Basa. *Tesis*. Depok: Universitas Indonesia.
- Teja, A. S., and Pei-Yoong, K. 2009. Synthesis, Properties and Applications of Magnetic Iron Oxides Nanoparticles. *Science Direct*. 22(2009): 22-45.
- Taib, S., dan Suharyadi, E. 2015. Sintesis Nanopartikel Magnetite (Fe₃O₄) dengan Template Silika (SiO₂) dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya. *Indonesian Journal of Application Physics*. 5(1): 23-30.
- Teja, A. S., and Pei-Yoong, K. 2009. Synthesis, Properties and Applications of Magnetic Iron Oxides Nanoparticles. *Science Direct*. 22(2009):22-45.
- Trianasari, Manurung, P., dan Pulung, K. 2017. Analisis dan Karakterisasi Kandungan Silika (SiO₂) sebagai Hasil Ekstraksi Batu Apung (*Pumice*). *Jurnal Teori dan Aplikasi Silika*. 5(2):179-186.
- Verma, A., Rajesh, R., and Puspendu, B. 2011. A Review on Chemical Coagulation/Flocculation Technologies for Removal of Colour from Textile Wastewaters. *Journal of Environmental Management*. 93(2012): 154-168.
- Wahi, R., William, W., Yunping, L., Michelle, L., Joshua, C., Whitney, N., and Vicki, L. 2005. Photodegradation of Congo Red Catalyzed by Nanosized TiO₂. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*. 242(2005): 48-56.
- Wang, Y., Danping, S., Gongzong, L., and Wei, J. 2015. Synthesis of Fe₃O₄@SiO₂@ZnO core-shell structured microspheres and microwave absorption properties. *Advanced Powder Technology Journal*. 26(2016): 1537-1543.
- Wardiyati, S., Wisnu, A. A., dan Didin, S. W. 2016. Pengaruh Penambahan SiO₂ terhadap Karakteristik dan Kinerja Fotokatalitik Fe₃O₄/TiO₂ pada Degradasi Methylene Blue. *Jurnal Kimia Kemasan*. 38(1): 31-40.
- West, A. 1999. *Basic Solid State Chemistry: Second Edition*. England: John Wiley & Sons.
- Wijaya, K., Iqmal, T., dan Nanik, H. 2005. Sintesis Fe₂O₃-Montmorilonit dan Aplikasinya Sebagai Fotokatalis Untuk Degradasi Zat Pewarna Congo Red. *Jurnal Kimia Indonesia*. 5(1): 41-47.

- Winatapura, D., dan Yusuf, S. 2012. Sintesis Komposit Fe₃O₄-SiO₂-TiO₂ dan Aplikasinya Untuk Mendegradasi Limbah Zat Warna *Methylene Blue*. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 15(3): 147-152.
- Xiaowei, L., et al. 2020. Preparation and Photocatalytic Activity of Fe₃O₄@SiO₂@ZnO: La. *Journal of Rare Earths*. 4(7): 1-9.
- Yahdiana. 2011. Studi Degradasi Zat Warna Tekstil Congo Red dengan Metode Fotokatalitik Menggunakan Suspensi TiO₂. *Skripsi*. Depok: Universitas Indonesia.
- Yang, J., Jian, W., Xiuyan, L., Dandan, W., and Hang, S. 2016. Synthesis of Urchin-like Fe₃O₄@SiO₂@ZnO/CdS Core Shell Microspheres for the Repeated Photocatalytic Degradation of Rhodamin B Under Visible Light. *Journal of Catalysis Sciences and Technology*.
- Yulianti, E., dan Mujamilah. 2005. Sifat Magnetik Bahan Komposit Berbasis Serbuk Magnet NdFeB Hasil Milling dan Polimer Termoplastik LLDPE. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 6(2): 36-41.
- Zawrah M. F., El-khesen., dan Abd-el-aali H. M. 2009. Facile and Economic Synthesis of Silica Nanoparticles. *Journal of Ovonic Research*. 5(5): 129-1