

**SINTESIS CoFe₂O₄/SiO₂/Ag UNTUK ADSORPSI ZAT WARNA
METILEN BIRU DAN UJI ANTIBAKTERI**

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

SKRIPSI



**ANGGUN DITA DYAH GAYATRI
08031181823018**

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2022**

HALAMAN PENGESAHAN

SINTESIS CoFe₂O₄/SiO₂/Ag UNTUK ADSORPSI ZAT WARNA METILEN BIRU DAN UJI ANTIBAKTERI

SKRIPSI

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

Oleh:

ANGGUN DITA DYAH GAYATRI
08031181823018

Indralaya, 15 November 2022

Pembimbing I



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

Pembimbing II



Dr. Eliza, M.Si.
NIP. 196407291991022001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D

NIP. 197111191997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi dengan judul “Sintesis CoFe₂O₄/SiO₂/Ag Untuk Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru dan Uji Antibakteri”, telah diseminarkan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 26 Oktober 2022 dan telah diperbaiki, diperiksa serta disetujui sesuai masukan yang diberikan.

Indaralaya, 15 November 2022

Ketua :

1. Dra. Julinar, M.Si

NIP. 196507251993032002



Sekertaris :

1. Dr. Ferlinahayati, M.Si

NIP. 197402052000032001



Pembimbing:

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

NIP. 196808271994022001



2. Dr. Eliza, M. Si

NIP. 196407291991022001



Penguji:

1. Dra. Fatma, M. S

NIP. 196207131991022001



2. Dr. Ady Mara, M. Si

NIP. 196404301990031003



Mengetahui,



PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Anggun Dita Dyah Gayatri
NIM : 08031181823018
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 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.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 15 November 2022

Yang menyatakan,



Anggun Dita Dyah Gayatri
NIM. 08031181823018

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama Mahasiswa : Anggun Dita Dyah Gayatri
NIM : 08031181823018
Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan saya menyetujui untuk memberika kepada Universitas Sriwijaya “Sintesis CoFe₂O₄/SiO₂/Ag Untuk Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru dan Uji Antibakteri”. Dengan hasil bebas royalty non-ekslusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, edit/memformatkan, mengolah dalam bentuk pangakalan 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, 15 November 2022

Yang menyatakan,



Anggun Dita Dyah Gayatri
NIM. 08031181823018

SUMMARY

SYNTHESIS OF CoFe₂O₄/SiO₂/Ag FOR METHYLENE BLUE DYE ADSORPTION AND ANTIBACTERIAL TEST

Anggun Dita Dyah Gayatri : Supervised by Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si. and Dr. Eliza, M.Si.

Department Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Science, Sriwijaya University

Research has been carried out on the synthesis of CoFe₂O₄/SiO₂/Ag for adsorption of methylene blue dye and antibacterial test. The results of the synthesis were characterized using XRD, SEM-EDS and VSM. The results of XRD characterization showed the highest intensity was located at $2\theta = 35.82^\circ$ with a crystal size of 7.34 nm. The results of SEM-EDS characterization showed heterogeneous morphology with constituent elements include of Co (8.66%), Fe (16.67), O (38.33%), Si (0.97%) and Ag (25.90%). The results of the VSM characterization of the hysteresis curve resulted in a saturation magnetization of CoFe₂O₄/SiO₂/Ag of 41.82 emu/g. CoFe₂O₄/SiO₂/Ag have a pH_{pzc} value at 8.

The optimum condition for the adsorption of CoFe₂O₄/SiO₂/Ag to methylene blue is pH 9 with a dye concentration of 20 mg/L and a contact time of 40 minutes with an adsorption percentage of 95.37%. The adsorption isotherm of CoFe₂O₄/SiO₂/Ag against methylene blue corresponds to the Freundlich isotherm with a regression value of 0.9222. The adsorption kinetics of CoFe₂O₄/SiO₂/Ag against methylene blue followed a pseudo second-order adsorption kinetics model with a regression value of 0.9987. CoFe₂O₄/SiO₂/Ag has antibacterial properties that can inhibit the activity of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* bacteria with a minimum inhibitory concentration (MIC) of 0.625 μ g/mL. A better zone of inhibition was produced by *Staphylococcus aureus* bacteria.

Keywords: CoFe₂O₄/SiO₂/Ag, adsorption, antibacterial, methylene blue dye.

RINGKASAN
SINTESIS CoFe₂O₄/SiO₂/Ag UNTUK ADSORPSI ZAT WARNA
METILEN BIRU DAN UJI ANTIBAKTERI

Anggun Dita Dyah Gayatri: Dibimbing oleh Prof. Dr. Poedji Loekitowati
Hariani, M.Si dan Dr. Eliza, M.Si.
Jurusian Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas
Sriwijaya

Telah dilakukan penelitian tentang sintesis CoFe₂O₄/SiO₂/Ag untuk adsorpsi zat warna metilen biru dan uji antibakteri. Hasil sitensis dikarakterisasi menggunakan XRD, SEM-EDS dan VSM. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan intensitas tertinggi pada $2\theta = 35,82^\circ$ dengan ukuran kristal sebesar 7,34 mm. Hasil karakterisasi SEM-EDS menunjukkan morfologi yang heterogen dengan elemen penyusun Co (8,66%), Fe (16,67%), O (38,33%), Si (0,97%) dan Ag (25,90%). Hasil karakterisasi VSM dari kurva histerisis menghasilkan magnetisasi saturasi CoFe₂O₄/SiO₂/Ag sebesar 41,82 emu/g. CoFe₂O₄/SiO₂/Ag memiliki pH_{pzc} sebesar 8.

Kondisi optimum adsorpsi CoFe₂O₄/SiO₂/Ag terhadap metilen biru berada pada kondisi pH 9 dengan konsentrasi zat wana 20 mg/L dan waktu kontak selama 40 menit dengan persen adsorpsi sebesar 95,37%. Isoterm adsorpsi CoFe₂O₄/SiO₂/Ag terhadap metilen biru sesuai dengan isoterm Freundlich dengan nilai regresi sebesar 0,9222. Kinetika adsorpsi CoFe₂O₄/SiO₂/Ag terhadap metilen biru mengikuti model kinetika adsorpsi *pseudo* orde dua dengan nilai regresi sebesar 0,9987. CoFe₂O₄/SiO₂/Ag memiliki sifat antibakteri yang dapat menghambat aktivitas bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus* dengan konsentrasi hambat minimum (KHM) sebesar 0,625 µg/mL. Zona hambat yang lebih baik dihasilkan oleh bakteri *Staphylococcus aureus*.

Kata kunci: CoFe₂O₄/SiO₂/Ag, adsorpsi, antibakteri, zat warna metilen biru.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dalam hidup, kamu akan bertemu dua jenis orang, orang yang membangunmu dan orang yang menjatuhkanmu. Namun pada akhirnya kamu akan berterima kasih pada mereka berdua.

Semua mimpi kita bisa jadi kenyataan, jika kita memiliki keberanian untuk mengejarnya.

Sebuah permata tidak akan dapat dipoles tanpa gesekan, demikian juga seseorang tidak akan menjadi sukses tanpa tantangan

Skripsi ini sebagai tanda syukurku kepada:

- ❖ Allah SWT
- ❖ Nabi Muhammad SAW

Dan kupersembahkan kepada:

- ❖ Pembimbing tugas akhir
- ❖ Mama dan papa yang selalu memberi semangat, doa dan motivasi kepadaku
- ❖ Abang, kakak, adikku dan seluruh keluarga besarku
- ❖ Almamater (Universitas Sriwijaya)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah mempermudah segala urusan sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul: “Sintesis CoFe₂O₄/SiO₂/Ag Untuk Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru dan Uji Antibakteri”.. Skripsi ini dibuat sebagai tugas akhir yang menjadi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

Melalui kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si dan Ibu Dr. Eliza, M.Si yang telah memberikan bimbingan, motivasi, saran dan petunjuk dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah memberikan rahmat dan nikmatNya yang begitu besar.
2. Bapak Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Dekan Fakultas MIPA Universitas Sriwijaya.
3. Ibu Prof. Dr, Muharni, M. Si. selaku ketua jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Addy Rachmat M, Si. selaku sekretaris jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
5. Ibu Dr. Eliza, M.Si selaku dosen pembimbing akademik, terimakasih sudah membimbing dari semester satu sampai semester akhir.
6. Ibu Dra. Fatma, M.S dan Bapak Dr. Ady Mara, M. Si selaku dosen pembahas dan penguji sidang sarjana. Terimakasih atas masukan dan banyak bantuan yang telah diberikan.
7. Ibu Dra. Julinar, M.Si dan Ibu Dr. Ferlinahayati, M. Si. selaku ketua dan sekretaris saat sidang akhir. Terimakasih untuk bantuan, masukkan, motivasi dan semangatnya
8. Seluruh Dosen FMIPA Kimia Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, mendidik serta membimbing selama masa kuliah.

9. Mbak Novi dan Kak Iin selaku admin kimia terimakasih mbak dan kakak yang sudah selalu sabar dalam membantu administrasi proses perkuliahan hingga tugas akhir.
10. Mama dan papa yang selalu memberi dukungan dan semangat sampai akhir
11. Abangku Ardiarandy Prabowo yang dulu sering menjemputku dimasa kuliah, Kakakku yang paling baik Gilang Satria Wiranata yang banyak memberi motivasi kepadaku dan adikku Chalisa Emeralda Bilqis yang selalu mau menemaniku dan mau direpotkan.
12. Keluarga besarku yang selalu mendukung dan mendoakan
13. Sahabatku, Tias Anisa Kemuning terimakasih selalu memberi semangat, selalu ada saat diperlukan dan selalu mau direpotkan. Anisa Fitri Amatullah terimakasih sudah mau berteman denganku dan selalu ada disaat aku membutuhkanmu. Sri Anita Andini, terimakasih mau berteman dengan aku jalur nisa dan mengajakku untuk mengambil tugas akhir dibidang ini. Semoga kita kedepannya sukses dan bias terus bersama-sama.
14. Teman-teman tugas akhir satu dosen pembimbing Anisa, Tias, Anita, Veronicha, Salsa, Dayah, dan Azizah terimakasih sudah selalu memberikan motivasi dan semangat. Suskes kedepannya untuk kita semua.
15. Teman-teman tugas akhir satu lab Sicho, Vika, Nurul, Dinda, Aini, Galuh, Ela, Dwi Hamel dan Iqbal Surya terimakasih untuk kata-kata motivasi dan semangatnya setiap masuk lab.
16. Teman-teman satu PAku Sukma, Siti, tiara, suteja dan prima yang selalu kompak kalau mau konsul ke ibu.
17. Rekan kerja di SDN 29 Talang Kelapa yang selalu memberi semangat dan motivasi.
18. Teman pp ku kak zakiatun nadia dan try nanda yang senantiasa mengajak pulang bareng.
19. Teman-temanku ariqah, afril, yuk mia, try nanda dan sukma terimakasih untuk dukungannya.

20. Kak Demi ayu selaku kakak asuh, terimakasih karena kakak sudah banyak membantu terlebih saat masih menjadi mahasiswa baru.
21. Suminah, Umi Nurlailia dan Fia selaku adik asuh, terimakasih untuk dukungannya.
22. Teman-teman satu Angkatan 2018, terimakasih untuk banyak bantuan dan informasi-informasi yang bermanfaat. Semoga sukses selalu.
23. Kakak tingkat 2017, 2016, 2015 dan 2014, serta adik tingkat Angkatan 2019, 2020,2021 yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terimakasih untuk semangat dan motivasinya.
24. Untuk semua orang baik yang telah mendoakan, baik yang kukenal atau tidak. Semoga doa-doa baik kalian berbalik untuk kalian juga.
Terima kasih.

Indralaya, 15 November 2022
Penulis,

Anggun Dita Dyah Gayatri

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
SUMMARY	vi
RINGKASAN	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
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 Limbah Industri Tekstil	5
2.2 Zat Warna Metilen Biru	5
2.3 Cobalt Ferrit (CoFe_2O_4)	6
2.4 Silikon dioksida (SiO_2)	7
2.5 Perak (Ag).....	8
2.6 Adsorpsi	9
2.7 Isoterm Adsorpsi.....	9
2.8 Kinetika Adsorpsi	10
2.9 Spektrofotometri UV-Vis ..	11
2.10 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	11
2.11 <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS)</i>	13

3.8.3 Pembuatan Suspensi Bakteri Uji	22
3.8.4 Uji Aktivitas Antibakteri	22
3.9 Analisis Data.....	23
3.9.1 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	23
3.9.2 <i>Scanning Electron Microscopy-Energi Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS)</i>	23
3.9.3 <i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i>	23
3.9.4 Uji Antibakteri.....	23
3.9.5 Isoterm dan Kinetika Adsorpsi Metilen Biru (Liu <i>et al</i> , 2015).....	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Sintesis Nanomagnetik CoFe ₂ O ₄	25
4.2 Sintesis Nanomagnetik CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂	25
4.3 Sintesis Nanomagnetik CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag.....	26
4.4 Karakterisasi Material.....	27
4.4.1 Hasil Karakterisasi CoFe ₂ O ₄ , CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ dan CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag dengan XRD	27
4.4.2 Hasil Karakterisasi CoFe ₂ O ₄ , CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ dan CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag dengan SEM-EDX ..	28
4.4.3 Hasil Karakterisasi CoFe ₂ O ₄ , CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ dan CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag dengan VSM.....	30
4.5 pH Point Zero Charge (pH PZC) Komposit CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag .	32
4.6 Penentuan Kondisi Optimum Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru	33
4.6.1 Pengaruh pH Zat Warna.....	33
4.6.2 Pengaruh Konsentrasi Zat Warna	34
4.6.3 Pengaruh Waktu Kontak	35
4.7 Hasil Penentuan Isoterm Adsorpsi CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag Terhadap Metenil Biru	35
4.8 Hasil Penentuan Kinetika Adsorpsi CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag Terhadap Metilen Biru.....	36
4.9 Hasil Uji Anti Bakteri pada CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag.....	37
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	40

5.1 Kesimpulan	40
5.2 Saran.....	40
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN.....	46
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur Metilen Biru	6
Gambar 2. Struktur spinel kubus ferrite.....	7
Gambar 3. ilustrasi difraksi sinar-X.....	12
Gambar 4. Gambar SEM sampel (A) CoFe ₂ O ₄ dan (B) CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag yang telah disintesis	14
Gambar 5. Kurva Histeristik CoFe ₂ O ₄ dan CoFe ₂ O ₄ / SiO ₂	14
Gambar 6 Hasil sintesis CoFe ₂ O ₄ yang diuji menggunakan magnet eksternal.	25
Gambar 7 Hasil sintesis CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ yang diuji menggunakan magnet eksternal.....	26
Gambar 8. Hasil sintesis CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag yang diuji menggunakan magnet eksternal.....	26
Gambar. 9 Difraktogram CoFe ₂ O ₄ , CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ dan CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag	27
Gambar 10.Morfologi SEM dengan mapping disperse logam pada komposit CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag	29
Gambar 11.Morfologi SEM dengan pembesaran 10.000× (a) CoFe ₂ O ₄ , (b) CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ , (c) CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag	29
Gambar 12.Kurva Histerisis (a) CoFe ₂ O ₄ , (b) CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ , (c) CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag.....	31
Gambar 13.Grafik pHpzC komposit CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag.....	32
Gambar 14.kurva penentuan pH optimum	33
Gambar 15. Kurva penentuan konsentrasi optimum.....	34
Gambar 16 Kurva penentuan waktu kontak optimum	35
Gambar 17. Hasil uji antibakteri CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag	38

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Data JCPDS nanopartikel CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag	13
Tabel 2.	Perbandingan Intensitas Puncak dan Ukuran Kristal dari CoFe ₂ O ₄ , CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ dan CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag	29
Tabel 3.	Data EDX CoFe ₂ O ₄ , CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ dan CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag.....	30
Tabel 4.	Data hasil Analisis VSM CoFe ₂ O ₄ , CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ dan CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag.....	32
Tabel 5.	Data Isoterm Adsorpsi Freundlich dan Isoterm Adsorpsi Langmuir pada komposit CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag	35
Tabel 6.	Data Kinetika Adsorpsi <i>pseudo</i> orde satu dan Kinetika Adsorpsi <i>pseudo orde dua</i> pada komposit CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag.....	36
Tabel 7.	Data zona hambat bakteri <i>Escherichia coli</i>	38
Tabel 8.	zona hambat bakteri <i>Staphylococcus aureus</i>	38

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Diagram Alir Penelitian.....	47
Lampiran 2	Reaksi Pembentukan CoFe ₂ O ₄	49
Lampiran 3	Hasil Karakterisasi Komposit CoFe ₂ O ₄ Menggunakan XRD...	50
Lampiran 4.	Hasil Karakterisasi Komposit CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ dengan Menggunakan XRD	52
Lampiran 5.	Hasil Karakterisasi Komposit CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag Menggunakan XRD.....	54
Lampiran 6	Hasil Karakterisasi Komposit CoFe ₂ O ₄ Menggunakan SEM - EDS	56
Lampiran 7	Hasil Karakterisasi Komposit CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ Menggunakan SEM-EDS	57
Lampiran 8	Hasil Karakterisasi Komposit CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag Menggunakan SEM-EDS	58
Lampiran 9	Hasil Karakterisasi Komposit CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag Menggunakan VSM.....	59
Lampiran 10	Data pH _{pzc}	60
Lampiran 11	Penentuan Kurva Kalibrasi Zat Warna Metilen Biru	61
Lampiran 12	Penentuan pH Optimum Komposit CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag Terhadap Zat Warna Metilen Biru	Error! Bookmark not found
Lampiran 13	Penentuan Konsentrasi Optimum Komposit CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag Terhadap Zat Warna Metilen Biru	65
Lampiran 14	Penentuan Waktu Kontak Optimum Komposit CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag Terhadap Zat Warna Metilen Biru	66
Lampiran 15	Perhitungan Isoterm Adsorpsi Metilen Biru Oleh Komposit CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag	68
Lampiran 16	Perhitungan Kinetika Adsorpsi Metilen Biru Oleh Komposit CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ /Ag	71
Lampiran 17	Perhitungan Zona Hambat Uji Antibakteri.....	74
Lampiran 18.	Gambar Hasil Adsorpsi	78

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Zat warna yang dipergunakan sebagai bahan pencelup pada industri tekstil merupakan bahan pencemar yang memiliki sifat karsinogenik sehingga dapat mengakibatkan penyakit bila berada dilingkungan dengan jangka waktu yang lama (Widjajanti dkk, 2011). Metilen biru adalah senyawa yang cukup banyak digunakan didalam industri tekstil. Metilen biru memiliki rumus molekul $C_{16}H_{18}ClN_3S$. Senyawa tersebut memiliki sifat toksik yang dapat menyebabkan mutasi genetic, iritasi kulit, iritasi pencernaan, sianosis bahkan dapat berpengaruh pada reproduksi. (Nurbaiti dkk, 2021).

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengolah limbah cair dari industri tekstil. Adsorpsi merupakan salah satu metode yang sering digunakan (Widjajanti dkk, 2011). Adsorpsi merupakan metode yang sangat efisien dan ekonomis untuk mengurangi zat pewarna dari limbah cairan industri tekstil (Ayawei N *et al.*, 2017). Terdapat beberapa jenis adsorben yang digunakan dalam kajian adsorpsi gas diantaranya zeolit (Saleh dkk., 2015); karbon aktif (Martin dkk., 2010); dan silika gel (Wang *et al.*, 2012).

Nanopartikel jenis MFe_2O_4 telah dimanfaatkan untuk pengolahan air limbah dan memiliki sifat adsorpsi yang sangat baik. Nanopartikel magnetik juga memiliki luas permukaan yang cukup besar, mudah dan juga murah untuk disintesis (Hariani and Fahma, 2014). Penggunaan nanopartikel magnetik memiliki keunggulan karena pemisahan nanopartikel dapat dengan mudah dipisahkan secara magnetik (Dewi dan Ridwan, 2012).

Penelitian nanopartikel MFe_2O_4 mengalami perkembangan yang pesat dikarenakan penggunaannya secara luas (Wahyudi dkk, 2011). Dari berbagai jenis nanopartikel, material magnetik spinel ferit telah menarik perhatian banyak peneliti dikarenakan memiliki sifat magnetik, listrik dan juga optiknya yang unik serta mempunyai aplikasi dalam berbagai bidang (Elsya dkk, 2019). Nanopartikel $CoFe_2O_4$ (*cobalt ferrite*) merupakan contoh material yang banyak diteliti. Selain memiliki sifat yang superparamagnetik (Setiadi dkk, 2013).

Nanopartikel magnetik CoFe_2O_4 dipilih sebagai adsorben karena memiliki beberapa keunggulan diantaranya, sifat listrik dan kemagnetannya yang baik maka dapat digunakan dalam berbagai bidang (Suharyadi dkk, 2015). Nanopartikel CoFe_2O_4 memiliki ukuran yang kecil sehingga dapat menyebabkan CoFe_2O_4 mengalami aglomerasi. Untuk menghindari terjadinya aglomerasi, CoFe_2O_4 perlu di *coating* dengan bahan lain seperti SiO_2 . Silika digunakan sebagai bahan peng*coating* karena stabil pada dispersi cairan, interaksi antar partikel dapat dikontrol dan permukaan mudah modifikasi (Sulanjari dkk, 2014). Superhidrofobik merupakan salah satu sifat material silika yang saat ini terus dikembangkan karena memiliki kemampuan anti beku, tahan panas dan anti kontaminan (Rochmat dkk, 2016).

Adanya limbah di dalam perairan dapat menyebabkan terjadinya pencemaran air. Pencemaran secara biologis yang terjadi di perairan salah satunya dengan adanya bakteri yang bersifat patogen seperti bakteri *Escherichia coli* dan bakteri *Staphylococcus aureus*. Bakteri *Escherichia coli* adalah salah satu bakteri Gram negatif yang memiliki bentuk seperti batang dan merupakan salah satu jenis bakteri aerob. Sedangkan bakteri *Staphylococcus aureus* merupakan salah satu jenis bakteri Gram positif yang sering menyerang manusia atau hewan mamalia lainnya. Bakteri *S. aureus* dan *E. coli* adalah bakteri yang memiliki sifat patogen atau bisa mengakibatkan penyakit pada manusia dan hewan (Karlina dkk, 2013).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Gingasu *et al* (2016) nanopartikel CoFe_2O_4 telah memiliki sifat antibakteri yang bagus . Namun, sifat antibakterinya akan naik ketika digabungkan dengan logam-logam mulia contohnya perak (Ag) atau emas (Au). Ketika nanopartikel perak ditambahkan ke CoFe_2O_4 yang telah dilapis dengan SiO_2 , sifat antibakterinya akan menjadi meningkat (Tjiang dkk, 2019). Nanopartikel perak merupakan senyawa antibakteri yang cukup kuat karena memiliki sifat yang reaktif secara kimia dan cukup mudah terionisasi serta kemampuan antibakteri nanopartikel perak bisa membunuh semua mikroorganisme yang patogenik dan belum ada laporan bahwa adanya mikroba yang resisten terhadap perak (Damayanti and Titik, 2019).

Penelitian ini mensintesis komposit $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{Ag}$. Selanjutnya, nanopartikel yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan *Xray Diffractometry* (XRD), *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) dan juga *Scanning Electron Microscope* (SEM). Nanopartikel CoFe_2O_4 juga digunakan sebagai adsorben untuk mengadsorpsi zat warna sintetik metilen biru dan dilakukan uji antibakteri.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang dipelajari pada penelitian ini, diantaranya:

1. Bagaimana keberhasilan dari sintesis dan karakterisasi pada nanopartikel $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{Ag}$?
2. Bagaimana kemampuan dari nanopartikel $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{Ag}$ dalam mengadsorpsi zat warna metilen biru berdasarkan variabel pH, konsentrasi zat warna dan waktu kontak?
3. Bagaimana kinetika dan isoterm adsorpsi metilen biru dengan menggunakan komposit $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{Ag}$?
4. Bagaimana kemampuan antibakteri dari nanopartikel $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{Ag}$ dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk:

1. Mensintesis komposit $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{Ag}$ dan mengkarakterisasi dengan menggunakan XRD, SEM-EDS, VSM dan pHpz.
2. Menentukan kemampuan dari komposit $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{Ag}$ dalam mengadsorpsi zat warna metilen biru dengan variabel pH optimum, konsentrasi zat warna metilen biru dan pengaruh waktu kontak.
3. Menentukan kinetika dan isoterm adsorpsi metilen biru dengan menggunakan komposit $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{Ag}$.
4. Mengkaji kemampuan komposit $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{Ag}$ dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk memberi pengetahuan tentang proses sintesis dari nanopartikel $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{Ag}$ terhadap pengaplikasiannya pada adsorpsi zat warna dan menghambat pertumbuhan dari bakteri. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat mengatasi masalah limbah cair dari zat warna industri tekstil, sehingga tidak berbahaya bagi lingkungan sekitar

DAFTAR PUSTAKA

- Asri, N. S. and Edi. 2020. Preparation of CoFe₂O₄/SiO₂ Magnetic Nanoparticles as Adsorbent of Ni and Cu ions from Aqueous Solution. *Proceedings of the 5th International Symposium on Frontier of Applied Physics (ISFAP 2019)*, 1-7.
- Ayawei, N., Augustus, E., Seimokumo, S. A. and Wankasi, D. 2017. Adsorption of Congo Red a Basic Dye By Zn/Fe-Co₃. *International journal of Research in Chemistry and Environment*. 7(3), 18-26.
- Barrow, G. 1979. *Physical Chemistry 4th Ed.* Tokyo: Mc Graw Hill International Book Company.
- Chen, S. S. Xu, H., Xu, H. j., Yu, G. J., and Gong, X. L. 2015. Fecile Ultrasonic Assistant Method for Fe₃O₄@SiO₂-Ag Nanospheres with Excellent Antibacterial Activity. *Journal Dalton Transaction*. 1(1): 1-25.
- Cotton dan Wilkinson. 1989. *Kimia Anorganik Dasar Terjemahan Sahati Sunarto dari Basic Inorganic Chemistry (1976)*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia Press.
- Damayanti, N. E. dan Titik, T. 2019. Pemanfaatan Nanosilver Sebagai Antibakteri Dalam Forumulasi Whitening Cream Terhadap *Staphylococcus aureus*. *UNESA Journal of Chemistry*. 8(2), 53-61.
- Dewi, S. H., dan Ridwan. 2012. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Fe₃O₄ Magnetik Untuk Adsorpsi Kromium Heksavalen. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 13(2), 137-138.
- Elsya, S. A. R. E., Zulhadjri dan Syukri, A. 2019. Pendekatan Green Synthesis Nanopartikel CuFe₂O₄ dengan Bantuan Ekstrak Daun Gambir Dan Sifat Antibakterinya. *Jurnal Kimia Kemasan*. 41(2): 55-64
- Fiorillo, F., Cinzia, B., Son, B., Ahlers, H., Roland, G., Franca, A., Yapi, L., Lin, A., Eros, P., Robert, S., Thomas, O. and Hall, M. J. 2014. International comparison of measurements of hard magnets with the Vibrating Sample Magnetometer. *International Comparison of Applied Electromagnetics and Mechanics*. 44(1): 245-252.
- Hakim, L., Made, D. dan Muhammad, N. 2019. Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C Dengan Menggunakan X-Ray Diffraction (X-RD) Di Kota Palangkaraya. *Jurnal Jejaring Matematika dan Sains*. 1(1): 44-51.
- Handayani, M dan Eko, S. 2009. Uji Persamaan Langmuir dan Freundlich Pada Penyerapan Limbah Chrom (Vi) Oleh Zeolit. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir PTNBR – BATAN Bandung*, 130-136.
- Hariani, P. L and Fahma, R. 2014. Magnetic CuFe₂O₄ Nanoparticles for Adsorpstion of Cr(VI) from Aqueous Solution. *Advanced Materials Research*. 896(1): 104-107.

- Hayati, R. dan Astuti. 2015. Sintesis Nanopartikel Silika Dari Pasir Pantai Purus Padang Sumatera Barat Dengan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Fisika Unand.* 4(3): 282-287.
- Jannah, A., Dhinarty, U.R., Anik, M. 2018. Uji Aktivitas Antibakteri Rambut Jagung Manis (*Zea mays ssaccarata Strut*) terhadap Bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. *Journal of Chemistry.* 5(4): 132-137.
- Karlina, C. Y., Muslimin, I, dan Guntur,T. 2013. Aktivitas Antibakteri Ekstrak herba Krokot (*Portulaca oleracea L.*) Terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. *Lentera Bio.* 2(1) : 87-93.
- Kasim, S., Paulina, T., Ruslan dan Romianto. 2020. Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Daun Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) Sebagai Bioreduktor. *Jurnal Riset Kimia.* 6(2): 126-133.
- Khandelwal, N., Gurpreet, K., Naveen, K., Tiwari, A. 2014. Application Of Silver Nanoparticles In Viral Inhibition: A New Hope For Antivirals. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures.* 9(1): 175-186.
- Kirupakar, B.R., Vishwanath, B., Sree, M. P. and Deenaadayalan. 2016. Vibrating Sample Magnetometer and Its Application In Characterisation Of Magnetic Property Of The Anti Cancer Drug Magnetic Microspheres. *International Journal of Pharmaceutics and Drugs Analysis.* 4(5): 227-233.
- Kooti, M., Gharineh, S., Merhkhah, M., Shake, A. and Motamedi, H. 2015. Preparation and antibacterial activity of $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{Ag}$ composite impregnated with streptomycin. *Chemical Engineering Journal.* 259 (1): 34-42.
- Lee, S. H., and Bong, H. J. 2019. Silver Nanoparticels: Synthesis and Application for Nanomedicine. *International Journal of Molecular Sciences.* 20(865): 1-23.
- Lingga, A. R., Usman, P. dan Evy, R. 2015. Uji Aktibakteri Ekstrak Batang Kecombrang (*Nicolaia speciosa Horan*) Terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. *JOM Faperta.* 1(3): 1-15.
- Liu, Y., Chao, L., Jian, S., Haizhen, L., Zebin, S. and Shiqiang, Y. 2015. Enhanced Adsorption Removal of Methyl Orange from Aqueous Solution by Nanostructured Proton-containing $\delta\text{-MnO}_2$. *Journal of Materials Chemistry A.* 3(1): 5674-5682.
- Luntungan, C. L., Henry, F. A. and Vanda, S. K. 2019. Sintesis Nanopartikel Kobalt Ferrit (CoFe_2O_4) Menggunakan Ekstrak Daun Binahong (*Anresera cordifolia* (Ten) Steenis) dan Aplikasinya Sebagai Antibakteri. *Chem Prog.* 12(1): 33-38.
- Magani, A.K., Trina, E.T., Beivy, J.K. 2020. Uji Antibakteri Nanopartikel Kitosan terhadap Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. *Jurnal BIOS LOGOS.* 10(1): 8-12.

- Martin, Awaludin., Bambang, Suryawan., Muhammad, I. A., Nasruddin. 2010. Adsorpsi Isotermal CO₂ Bertekanan Tinggi pada Karbon Aktif dengan Metoda Volumetrik. *Makara, Teknologi.* 14(2): 128–132.
- Masruhin, Rismawati. R. dan Syamsuddin, Y. 2018. Penjerapan Logam Berat Timbal (Pb) Dengan Menggunakan Lignin Hasil Isolasi Jerami Padi. *Journal of Chemical Process Engineering.* 3(1):11-20.
- McCabe, Warren, L., Julian, C. S. and Peter, H. 2005. *Units Operations of Chemical and Process Design Edisi ketujuh.* New York: McGraw-Hill.
- Mulja, M. dan Suharman. 1995. *Analisis Instrumental.* Surabaya: Airlangga University Press.
- Nurlaili, T., Laeli, K. dan Rita, D. R. 2017. Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Ayam Sebagai Adsorben Zat Warna Methyl Orange Dalam Larutan. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia.* 2(2), 11-14.
- Pandelaki, E.C.J., Audy, D.W., Henry, F.A. 2018. Aktivitas Antibakteri Komposit Ag – Tulang Ikan Cakalang pada *Staphylococcus aureus*. *Jurnal Mipa Unsrat Online.* 7 (2): 29-32.
- Pitaloka, A. B., Widya, E. K., Afif, S. H., Wahidatun, A., Syarul, R. dan Malik, A. R. 2020. Sintesis Nanopartikel Perak Melalui Reduksi Spontan Menggunakan Reduktor Alami Ekstrak Kulit Lemon Serta Karakterisasinya Sebagai Antifungi Dan Antibakteri. *Jurnal Integrasi Proses.* 9(2): 34-43.
- Pratama, I., Lia, D. dan Nurlina. 2018. Penurunan Kadar Timbal (III) Menggunakan Zeolit-X Sintesis dari Batu Padas. *Jurnal Kimia Khatulistiwa.* 7(1): 53-58.
- Purnamaningsih, N. A., Hadibah, K. dan Sri, A. 2017. Uji Aktivitas Antibakteri Ekstrak Temulawak (*Curcuma Xanthorrhiza*) Terhadap Bakteri *Escherichia Coli* Atcc 11229 dan *Staphylococcus Aureus* Atcc 25923. *Jurnal Penelitian Saintek.* 22(2): 140-147.
- Puspitasari, L., Syukri, A. dan Zulhadjri. 2019. Ekstrak Daun Andalas sebagai Capping Agent dalam Green Hydrothermal Synthesis Nanopartikel Mangan Ferrit dan Aplikasinya sebagai Antibakteri. *Chimica et Natura Acta.* 7(1): 20-26.
- Rai, M., Kateryna, K., Avinash, I., Nelson, D., Stefania, G. and Massimiliano, G. 2014. Broad-Spectrum Bioactivities Of Silver Nanoparticles: The Emerging Trends And Future Prospects. *Appl Microbiol Biotechnol.* 98(1): 1951-1961.
- Ramli, Riri, J. Dan Ambran, H. 2017. Analisis Struktur Nano Dari Lapisan Tipiscobalt Ferrite Yang Dipreparasi Dengan Metode Sputtering. *EKSAKTA.* 18(1): 46-53.
- Raval, A., Panchal, N. dan Jotania, R. 2013. Structural Properties and Microstructure of Cobalt Ferrite Particles Synthesized by A Sol-Gel Auto Combustion Method. *International Journal of Modern Physics: Conference Series,* 22(1), 558-563.

- Rochmat, A., Marta, P., Fia, F. Dan Arie , B. 2016. Karakteristik SiO₂-Getah Flamboyan (*Delonix regia*) sebagai Material Coating Pencegah Korosi. *Jurnal TEKNIKA*. 12(1): 83-92.
- Rohayati, Z., Mega, M. F., Jumardin, R., Yulan dan Riyanto. 2017. Pengolahan Limbah Industri Tekstil Berbasis Green Technology Menggunakan Metode Gabungan Elektrodegradasi dan Elektrodekolorisasi dalam Satu Sel Elektrolisis. *Chimica et Natura Acta*. 5(2): 95-100.
- Saleh, Abdullah., Dede, A, P., Riki Yuliandita. 2015. Pengaruh Komposisi Adsorben Campuran (Zeolit-Semen Putih) dan Waktu Adsorpsi Produk Gas Metana terhadap Kualitas Biogas sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Teknik Kimia*. 3(21): 1-6.
- Saputri, C. A. 2020. Kapasitas Adsorpsi Serbuk Nata De Coco (Bacterial Sellulose) Terhadap Ion Pb²⁺ Menggunakan Metode Batch. *Jurnal Kimia*. 14(1): 71-76.
- Setiadi, E. A., dkk. 2013. Sintesis Nanopartikel Cobalt Ferrite (CoFe₂O₄) dengan Metode Kopresipitasi dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya. *Indonesian Journal of Applied Physics*. 3(1), 55-62.
- Sihite, E. B. dan Budiarto. 2019. Analisis Pengaruh Penuaan dan Media Pendingin Terhadap Kekerasan dan Strukturmikro Paduan Cuhfco. *Jurnal Kajian Ilmiah*. 19(3): 231-238..
- Singh, S. and Neeraj, K. 2018. Low Feld Magneto-Tunable Photocurrent In CoFe₂O₄ Nanostructure Flms For Enhanced Photoelectrochemical Properties. *Scientific RepOrts*. 8(6522): 1-8.
- Suaib, Henry, F. A. dan Harry, S, J. K. 2019. Sintesis Nanopartikel Cobalt Ferrite (CoFe₂O₄) Dengan Metode Kopresipitasi dan Aplikasinya Sebagai Fotokatalis. *Chem. Prog.* 1MIUJMN2(1), 49-53.
- Suhartati, T. 2017. *Dasar-Dasar Spektrofotometri Uv-Vis Dan Spektrometri Massa Untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik*. Bandar lampung : AURA CV. Anugrah Utama Raharja.
- Suharyadi, E., Femila, A. N. dan Nining, S. A. 2015. Adsorpsi Logam Tembaga (Cu), Besi (Fe) dan Nikel (Ni) dalam Limbah Cair Buatan Menggunakan Nanopartikel Cobalt Ferrite (CoFe₂O₄). *Jurnal Fisika Indonesia*. 19(55): 23-27.
- Suharyadi, E., Muflihatun dan Siti, S. 2015. Sintesis Nanopartikel Nickel Ferrite (NiFe₂O₄) dengan Metode Kopresipitasi dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya. *Jurnal Fisika Indonesia*. 19(55): 20-25.
- Suirta, I. W. 2010. Sintesis Senyawa orto-Fenilazo-2-Naftol sebagai Indikator dalam Titrasi. 4(1): 27-34.
- Sulanjari, Winda, N.S., Annisa, A.A., Edi, S., Takeshi, K. Dan satosi, I. 2014. Kajian Sifat Kemagnetan pada Nanopartikel Cobalt Ferrite (CoFe₂O₄) yang

- dicoating dengan Polyethylene Glykol (PEG-4000) dan Silika. *Jurnal Fisika Indonesia*. 18(54): 103-107.
- Sulastri, S. dan Susila, K. 2010. Berbagai Macam Senyawa Silika: Sintesis, Karakterisasi dan Pemanfaatan. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta*, 211-216.
- Sulastri, S., Nuryono, Indriana, K. dan Eko, S. K. 2014. Kinetika dan Keseimbangan Adsorpsi Ion Kromium (Iii) dalam Larutan pada Senyawa Silika dan Modifikasi Silika Hasil Sintesis dari Abu Sekam Padi. *Jurnal Penelitian Saintek*. 19(2): 33-44.
- Tjiang, D., Henry, F. A dan Harry, S. J. K. 2019. Sintesis Nanopartikel Ag/CoFe₂O₄ Menggunakan Ekstrak Daun Binahong (Anredera Cordifolia (Ten) Steenis) dan Aplikasinya Sebagai Fotokatalis Untuk Mendegradasi Zat Warna Methylene Blue. *Chem Prog*. 12(02): 59-66.
- Veluchamy, P., Balakrishnan, P. and Suresh, G. 2015. Effect of Concentration Structural,Magnetic Properties of CoFe₂O₄. *International Journal Of Scientific Research*. 4(8): 127-129.
- Wahyudi, T., Doni, S. dan Qomarudin, H. 2011. Sintesis Nanopartikel Perak Dan Uji Aktivitasnya Terhadap Bakteri E. Coli Dan S. Aureus. *Jurnal Arena Tekstil*. 26(1), 55-60.
- Wang, Ke., Hongyan, Shang., Lin, Li., Xinlong Yan., Chenguang, Liu., Qingfang, Zha. 2012. Efficient CO₂ Capture on Low-Cost Silica Gel Modified by Polyethyleneimine. *Journal of Natural Gas Chemistry*. 21(04): 319–323.
- Wardiyati, S., Adel, F. dan Ridwan. 2011. Penyerapan Logam Ni Dalam Larutan Oleh Nanokomposit Fe₃O₄ -Karbon Aktif. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 12(3): 224-228.
- Widjajanti, E., Marfuatun dan Dewi, Y. 2013. Pola adsorpsi pewarna azo oleh biosorben dari kulit pisang (Adsorption behaviour of azo dyes by banana peel biosorbents). *Jurnal Sains Dasar*. 2(2): 8-16.
- Widjajanti, E., Regina, T. P. dan M. Pranjoto, U. 2011. Pola Adsorpsi Zeolit Terhadap Pewarna Azo Metil Merah dan Metil Jingga. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta*, 115-122.