



KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
PROGRAM PASCASARJANA

Jl. Padang Selasa No. 524, Bukit Besar Palembang 30139
Telp. (0711) 352132-354222, Fax. (0711) 317202, 320310
Email: ppsunsri@mail.ppsunsri.ac.id Homepage: www.pps.unsri.ac.id

KEPUTUSAN
DIREKTUR PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS SRIWIJAYA
NOMOR : 1165 /UN9.2/DT/2011

tentang

PENGANGKATAN PROMOTOR DAN CO-PROMOTOR MAHASISWA
PROGRAM DOKTOR (S3) ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS SRIWIJAYA

DIREKTUR PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS SRIWIJAYA


- Memperhatikan : Surat Permohonan Ketua Program Studi Doktor (S3) Ilmu Lingkungan nomor: 117/UN9.2.15/KM/2011 tanggal 13 Juli 2011 tentang permohonan pembuatan SK pembimbing disertasi.
- Menimbang : a. Bahwa dalam rangka pelaksanaan kegiatan pembelajaran dan pembimbingan mahasiswa perlu dibimbing dan diarahkan sesuai dengan bidang ilmu, sehubungan dengan itu maka perlu ditetapkan dan ditugaskan dosen untuk pembimbingnya;
b. Bahwa sehubungan dengan butir a diatas perlu diterbitkan Keputusan sebagai pedoman dan landasan hukumnya.
- Mengingat : 1. Undang-Undang No. 20 tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional;
2. Peraturan Pemerintah RI No. 66 Tahun 2010, tentang Perubahan atas Peraturan Pemerintah No. 17 Tahun 2010 tentang Pengelolaan dan Penyelenggaraan Pendidikan;
3. Keputusan Presiden RI No 105/M tahun 2007 tanggal 23 Oktober 2007 tentang Pengangkatan Rektor Unsri;
4. Keputusan Mendikbud RI No. 232/U/2000 tentang Penyusunan Kurikulum Pendidikan Tinggi dan Hasil Belajar Mahasiswa;
5. SK Dirjen Dikti No. 3750/D/T/K-N/2009 tentang Perpanjangan Ijin Penyelenggaraan Program Studi;
6. Keputusan Rektor Unsri No. 104/H9/KP/2008 tentang Pengangkatan Direktur PPs Unsri Periode 2008-2012.

MEMUTUSKAN

- Menetapkan
Pertama : Menunjuk Promotor dan Co-Promotor mahasiswa Program Doktor (S3) Ilmu Lingkungan sebagai berikut:

NAMA/NIM	NAMA DOSEN
Poedji Loekitowati Hariani 20103602021	Promotor : Dr. Ir. H. M. Faizal, DEA. Co-Promotor I : Prof. Dr. Ridwan Co-Promotor II : Ir. Marsi, M.Sc., Ph.D. Co-Promotor III : Dr. Dedi Setiabudidaya, M.Sc.

- Kedua : Segala biaya yang mungkin timbul sebagai akibat dari penetapan keputusan ini, dibebankan kepada anggaran yang disediakan oleh PPs Unsri.
- Ketiga : Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan dengan ketentuan segala sesuatu akan diubah dan/atau diperbaiki sebagaimana mestinya apabila ternyata terdapat kekeliruan dalam penetapan ini.

Ditetapkan di : Palembang
Pada tanggal : 20 Juli 2011
Direktur,

Prof. Dr. dr. H.M.T. Kamaluddin, M.Sc., SpFK.
NIP. 19520930 198201 1 001

Tembusan :

1. Rektor (sebagai laporan)
2. Para Asdir
3. Ketua Program Doktor (S3) Ilmu Lingkungan
4. Promotor dan Co-Promotor
5. Yang bersangkutan

**PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI SONGKET
MENGUNAKAN KOMPOSIT Fe_3O_4 -KARBON AKTIF
DARI CANGKANG KELAPA SAWIT**

DISERTASI

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
Doktor (Dr.)**

pada

**Program Studi Doktor (S3) Ilmu Lingkungan
Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya**

Oleh:

**POEDJI LOEKITOWATI HARIANI
NIM. 20103602021**



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
NOVEMBER 2013**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Disertasi : Pengolahan Limbah Cair Industri Songket Menggunakan Komposit Fe₃O₄-Karbon Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit

Nama mahasiswa : Poedji Loekitowati Hariani

NIM : 20103602021

Program Studi : Ilmu Lingkungan

Bidang Kajian Utama : Agri Industri Energi

Menyetujui:

Dr. Ir. M. Faizal, DEA
Promotor

Prof. Dr. Ridwan
Co-Promotor I

Dr. Ir. Marsi, M.Sc
Co-Promotor II

Dr. Dedi Setiabudidaya, M.Sc
Co-Promotor III

Ketua Program Studi,
Ilmu Lingkungan

Prof. Dr. Ir. Eddy Ibrahim, M.S
NIP. 196211221991021001

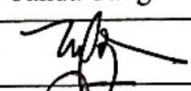

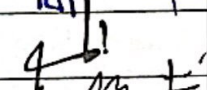
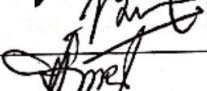
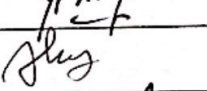
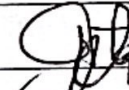
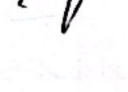

Direktur Program Pascasarjana
Universitas Sriwijaya



Prof. Dr. Hilda Zulkifli, M.Si, DEA
NIP. 195304141979032001

HALAMAN PERSETUJUAN KOMISI PENGUJI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

No	Nama Dosen Penguji	Jabatan Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1	Dr. M. Faizal, DEA	Promotor		
2	Prof. Dr. Ridwan	Co-Promotor I		
3	Dr. Ir. Marsi, M.Sc	Co-Promotor II		
4	Dr. Dedi Setiabudidaya, M.Sc	Co-Promotor III		
5	Prof. Dr. Robiyanto H. Susanto, M.Agr.Sc	Penguji		
6	Dr. Ir. Susila Arita, DEA	Penguji		
7	Dr. Suheryanto, M.Si	Penguji		
8	Dr. Eko Sugiharto, DEA	Penguji Tamu		

Menerangkan bahwa :

Nama : Poedji Loekitowati Hariani
NIM : 20103602021
Program Studi : Ilmu Lingkungan
Bidang Kajian Utama : Agri Industri Energi
Judul Disertasi : Pengolahan Limbah Cair Industri Songket Menggunakan Komposit Fe₃O₄-Karbon Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit

Telah memperbaiki Disertasi hasil ujian berdasarkan saran komisi penguji.

Palembang, November 2013
Ketua Program Studi Ilmu Lingkungan,



Prof. Dr. Ir. Eddy Ibrahim, M.S.
NIP. 196211221991021001

ABSTRACT

Songket (Specific traditional cloth of Palembang resident) industrial wastewater has potentially polluted the environment due to synthetic dyes content and other pollutant represented by COD, BOD and TSS. The estimated 92,000-115,000 L of songket industrial wastewater are discharged into the environment every day. This study aimed to get songket industrial wastewater treatment systems using Fe_3O_4 -activated carbon composites. The composite is a magnetic adsorbent. The wastewater treatment system using magnetic adsorbent has the advantage of fast processing and the separation is practically done using permanent magnet without filtering. The activated carbon was made from palm shell using 5 % H_3PO_4 as activator while the Fe_3O_4 was synthesized by co-precipitation from FeCl_2 and FeCl_3 . The best composite composition is done by combining the Fe_3O_4 with the activated carbon. The best composite is obtained with the ratio of the Fe_3O_4 to the activated carbon of 1:2. Then, the composite is used to absorb procion red dye with variable: initial dye concentration, pH, temperature, contact time and weight of the composite. The results showed that the temperature does not significantly affect the number of procion red dye adsorbed by the composite. The optimum condition of the adsorption was obtained using initial concentration of 150 mg L^{-1} procion dye, temperature 30°C , pH 6, 40 mg of weight of composite and 45 minutes contact time. The application Fe_3O_4 -activated carbon composite (1:2) on songket industrial wastewater has effectively decreased procion dye by 94.339 %, COD by 88.814 % and TSS by 96.084 %. The kinetics of procion red dye adsorption on the composites follow first order and Freundlich isotherm. The best eluent for desorption procion red dye in the composite was ethanol with 6 hours of contact time. At three times of redesorption, the amount of procion red dye is released by ethanol more than 75 %. The test of LC_{50} -24 hours showed that the songket industrial wastewater has value of 5.583 % on the test *Oreochromis niloticus* animals. After processing using the composite, no toxic effect being observed. Therefore the Fe_3O_4 -activated carbon composite effectively and safely can be used to treat songket industrial wastewater.

Keywords: composite, Fe_3O_4 , activated carbon, procion red dye, wastewater treatment

ABSTRAK

Limbah cair industri songket berpotensi mencemari lingkungan karena mengandung zat warna sintetik, mempunyai nilai COD, BOD dan TSS yang tinggi. Diperkirakan 92.000-115.000 L limbah cair industri songket dibuang ke lingkungan setiap harinya. Penelitian ini bertujuan mendapatkan kondisi optimum pengolahan limbah cair industri songket menggunakan komposit Fe_3O_4 -karbon aktif. Komposit tersebut merupakan adsorben yang bersifat magnetik. Pengolahan limbah menggunakan adsorben bersifat magnetik mempunyai kelebihan yaitu proses pengolahan cepat dan pemisahan dilakukan secara praktis menggunakan magnet permanen tanpa penyaringan. Karbon aktif dibuat dari cangkang kelapa sawit menggunakan aktivator H_3PO_4 5 % sedangkan Fe_3O_4 disintesis secara kopresipitasi dari senyawa $FeCl_2$ dan $FeCl_3$. Untuk mendapatkan komposisi komposit terbaik dilakukan kombinasi perbandingan Fe_3O_4 dengan karbon aktif. Hasil penelitian diperoleh komposit terbaik dengan perbandingan Fe_3O_4 : karbon aktif = 1:2. Komposit ini selanjutnya digunakan untuk menyerap zat warna procion merah dengan variabel konsentrasi awal zat warna, pH larutan, temperatur, berat komposit dan waktu kontak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur tidak berpengaruh secara signifikan terhadap banyaknya zat warna yang dapat diadsorpsi oleh komposit. Kondisi optimum adsorpsi diperoleh pada konsentrasi awal zat warna 150 mg L^{-1} , temperatur 30°C , pH larutan 6, berat komposit 40 mg dan waktu kontak 45 menit. Aplikasi komposit Fe_3O_4 -karbon aktif (1:2) untuk pengolahan limbah cair industri songket menghasilkan efektivitas penurunan zat warna procion merah sebesar 94,339 %, TSS 88,814 % dan COD 96,084 %. Kinetika adsorpsi zat warna procion merah pada komposit mengikuti orde satu dan isotherm Freundlich. Eluen terbaik untuk mendesorpsi zat warna yang terikat pada komposit adalah etanol dengan waktu kontak 6 jam. Pada tiga kali perulangan desorpsi menggunakan etanol banyaknya zat warna procion yang terdesorpsi masih lebih dari 75 %. Hasil penentuan nilai LC_{50} diketahui bahwa limbah cair industri songket mempunyai nilai LC_{50} -24 jam sebesar 5,583 % terhadap hewan uji ikan nila, setelah dilakukan pengolahan menggunakan komposit menunjukkan efek tidak toksik. Berdasarkan hasil penelitian tersebut maka komposit Fe_3O_4 -karbon aktif efektif dan aman digunakan untuk pengolahan limbah cair industri songket.

Kata kunci : komposit, Fe_3O_4 , karbon aktif, zat warna procion merah, pengolahan limbah cair

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas Karunia dan Hidayah-Nya penyusunan makalah seminar kemajuan dengan judul **"Pengolahan Limbah Cair Industri Songket Menggunakan Komposit Fe_3O_4 -Karbon Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit"** ini dapat diselesaikan. Penelitian disertasi ini merupakan salah satu syarat akademik untuk memperoleh gelar doktor pada Program Studi Ilmu Lingkungan, Pascasarjana Universitas Sriwijaya, Palembang.

Pelaksanaan penelitian, proses penelitian dan penulisan disertasi ini dapat berjalan baik karena adanya dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, perkenankan penulis untuk menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus dan penghargaan yang setingginya kepada Promotor yaitu Dr. Muhammad Faizal, DEA, dan Co-Promotor yaitu Prof. Dr. Ridwan, Dr. Marsi, M.Sc, dan Dr. Dedi Setiabudidaya, M.Sc.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan juga kepada :

1. Rektor Universitas Sriwijaya, yang telah memberikan izin untuk melanjutkan studi program doktor di program Studi Ilmu Lingkungan Pascasarjana Universitas Sriwijaya
2. Direktur Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya beserta staf atas segala fasilitas dan kemudahan yang diberikan selama menempuh pendidikan program doktor
3. Ketua Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Sriwijaya beserta staf atas segala fasilitas, bantuan administrasi dan kelancaran selama menempuh pendidikan program doktor

4. Dosen penguji tamu Dr. Eko Sugiharto, DEA, dari Kimia Lingkungan Universitas Gadjah Mada dan dosen pembahas dari Ilmu Lingkungan yaitu Prof. Dr. Ir. Robiyanto H. Susanto, M.Agr.Sc., Dr. Hj. Susila Arita, DEA., Dr. Suheryanto, M.Si., Dr. Ir. Adipati Napoleon, MP., Dr. Phil. Arinapril, dan Dr. Ir. Dwi Putro Priadi, M.Sc. yang telah banyak memberikan saran untuk kesempurnaan disertasi
5. Dekan Fakultas MIPA yang telah memberikan izin melanjutkan studi program doktor di program Studi Ilmu Lingkungan Pascasarjana Universitas Sriwijaya
6. Ketua Jurusan Kimia yang telah memberikan izin melanjutkan studi program doktor, bantuan dan fasilitas laboratorium untuk melaksanakan penelitian
7. Dosen pengajar Program Doktor Ilmu Lingkungan yang telah banyak memberikan ilmu selama menempuh pendidikan doktor
8. Rekan tim penelitian Fahma Riyanti, M.Si dan mahasiswa S1 yang telah membantu penelitian Jadid, Andre, Shanti dan Heni
9. Rekan-rekan kuliah angkatan 2010 atas segala bantuan, dan kerjasama dalam penyelesaian disertasi
10. Suami tercinta Dr. Salni, M.Si dan anak-anakku Muhammad Alfath Salvano, Muhammad Alfarizi Salvikran dan Nafira Duhita Sativani atas bantuan, pengertian dan dukungan selama menempuh program doktor
11. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, namun ikut membantu dalam penyelesaian disertasi baik langsung maupun tidak langsung

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa disertasi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis menghargai saran dan kritik yang membangun dari semua pihak untuk kesempurnaan disertasi ini. Semoga penelitian ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan khususnya Ilmu Lingkungan, bagi industri yang menghasilkan limbah cair yang mengandung zat warna sintetik. Kemajuan industri tanpa didukung pengelolaan lingkungan yang baik akan sia-sia.

Palembang, November 2013

Penulis

HALAMAN PENGANTAR.....	ii
HALAMAN PERSetujuan KOMISI PENYUSUN.....	iii
HALAMAN PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRAK.....	viii
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
DAFTAR UTLAH DAN SINGKATAN.....	xxi
PADA PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Perumusan Masalah.....	2
C. Tujuan Penelitian.....	3
D. Manfaat Penelitian.....	3
E. Hipotesis Penelitian.....	10

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL DEPAN.....	i
HALAMAN SAMPUL BELAKANG.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN KOMISI PENGUJI.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
ABSTRAK.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Perumusan Masalah.....	7
C. Tujuan Penelitian.....	8
D. Manfaat Penelitian.....	9
E. Hipotesis Penelitian.....	10

BAB II	TINJAUAN PUSTAKA.....	11
	A. Zat Warna.....	11
	B. Sebaran Industri Songket di Kota Palembang.....	13
	C. Dampak Limbah Cair Industri Songket terhadap Lingkungan.....	14
	D. Penanganan Limbah Cair yang Mengandung Zat Warna.....	17
	E. Komposit Fe ₃ O ₄ - Karbon Aktif.....	19
	F. Interaksi Zat Warna dengan Komposit Fe ₃ O ₄ - Karbon Aktif.....	34
	G. Adsorpsi.....	35
	H. Kinetika Reaksi Adsorpsi.....	37
	I. Desorpsi.....	42
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN.....	44
	A. Waktu dan Tempat.....	44
	B. Tahapan Penelitian.....	44
	C. Bahan dan Alat.....	45
	D. Prosedur Kerja.....	46
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	57
	A. Kualitas Karbon Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit.....	58
	B. Karakteristiki Fe ₃ O ₄ dan Komposit Fe ₃ O ₄ -Karbon Aktif.....	62
	C. Kemampuan Adsorpsi Komposit Fe ₃ O ₄ -Karbon Aktif (1:2) Terhadap Zat Warna Procion Merah.....	81
	D. Kondisi Optimum Pengaruh Interaksi Antar Variabel terhadap Jumlah Zat Warna Procion yang Teradsorpsi oleh Komposisi Fe ₃ O ₄ -Karbon Aktif (1:2).....	101

E. Aplikasi Komposit Fe ₃ O ₄ -Karbon Aktif (1:2) untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Songket.....	103
F. Hasil Penentuan LC ₅₀ Limbah Cair Industri Songket pada Ikan Nila.....	105
G. Kinetika Reaksi Adsorpsi.....	107
H. Desorpsi Zat Warna Procion Merah dari Komposit Fe ₃ O ₄ -Karbon Aktif (1:2).....	112
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	120
A. Kesimpulan.....	120
B. Saran.....	121
DAFTAR PUSTAKA.....	122
LAMPIRAN.....	135
1. Karakteristik Kimia dan Fisika Karbon Aktif.....	135
2. Sintesis dan Karakterisasi Komposit Fe ₃ O ₄ -Karbon Aktif (1:2) dengan Metode Sol-Gel.....	136
3. Karakteristik Kimia dan Fisika Karbon Aktif.....	137
4. Karakteristik Kimia dan Fisika Komposit Fe ₃ O ₄ -Karbon Aktif.....	138
5. Karakteristik Kimia dan Fisika Komposit Fe ₃ O ₄ -Karbon Aktif.....	139
6. Karakteristik Kimia dan Fisika Komposit Fe ₃ O ₄ -Karbon Aktif.....	140
7. Karakteristik Kimia dan Fisika Komposit Fe ₃ O ₄ -Karbon Aktif.....	141
8. Karakteristik Kimia dan Fisika Komposit Fe ₃ O ₄ -Karbon Aktif.....	142
9. Karakteristik Kimia dan Fisika Komposit Fe ₃ O ₄ -Karbon Aktif.....	143
10. Karakteristik Kimia dan Fisika Komposit Fe ₃ O ₄ -Karbon Aktif.....	144
11. Karakteristik Kimia dan Fisika Komposit Fe ₃ O ₄ -Karbon Aktif.....	145
12. Karakteristik Kimia dan Fisika Komposit Fe ₃ O ₄ -Karbon Aktif.....	146
13. Karakteristik Kimia dan Fisika Komposit Fe ₃ O ₄ -Karbon Aktif.....	147
14. Karakteristik Kimia dan Fisika Komposit Fe ₃ O ₄ -Karbon Aktif.....	148
15. Karakteristik Kimia dan Fisika Komposit Fe ₃ O ₄ -Karbon Aktif.....	149
16. Karakteristik Kimia dan Fisika Komposit Fe ₃ O ₄ -Karbon Aktif.....	150
17. Karakteristik Kimia dan Fisika Komposit Fe ₃ O ₄ -Karbon Aktif.....	151
18. Karakteristik Kimia dan Fisika Komposit Fe ₃ O ₄ -Karbon Aktif.....	152
19. Karakteristik Kimia dan Fisika Komposit Fe ₃ O ₄ -Karbon Aktif.....	153
20. Karakteristik Kimia dan Fisika Komposit Fe ₃ O ₄ -Karbon Aktif.....	154
21. Karakteristik Kimia dan Fisika Komposit Fe ₃ O ₄ -Karbon Aktif.....	155

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Industri songket merupakan salah satu industri andalan di Sumatera Selatan. Kain songket telah dinyatakan sebagai warisan budaya untuk melindungi kekhasan seni dan budaya Palembang. Selain di Palembang, beberapa kota di Sumatera Selatan juga memiliki industri songket biasanya dengan motif yang berbeda. Pertumbuhan industri songket di kota Palembang cukup pesat. Menurut data Dinas Perindustrian, Perdagangan, dan Koperasi Palembang, tercatat sekitar 230 pemilik usaha kerajinan kain songket pada tahun 2010. Masing-masing industri songket memiliki 5-10 tenaga kerja bahkan ada yang memiliki tenaga kerja sampai 150 orang (Dinas Perindustrian Perdagangan dan Koperasi Kota Palembang, 2011).

Perkembangan industri songket juga didorong dengan berkembangnya kain-kain songket dengan harga relatif murah sehingga terjangkau oleh seluruh lapisan masyarakat. Dalam proses pembuatan kain songket diawali dengan proses pencelupan benang/limar untuk pewarnaan. Dalam setiap pencelupan akan dihasilkan limbah cair sekitar 40-50 L untuk satu setel limar. Setiap industri songket minimal mencelup 10 limar setiap harinya. Dengan jumlah industri 230 buah maka dalam satu hari dapat dihasilkan sekitar 92.000-115.000 L limbah cair.

Karakteristik limbah cair industri songket ditandai dengan kandungan zat warna, *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Total Suspended Solid* (TSS) yang tinggi serta pH limbah yang rendah. Pembuangan limbah cair industri songket ke lingkungan secara langsung terutama perairan berpotensi mencemari lingkungan.

Zat warna yang digunakan dalam industri songket adalah zat warna sintetik dan tergolong zat warna azo ($N=N$). Keberadaan zat warna sintetik dalam air dapat mengurangi penetrasi sinar matahari dan pasokan oksigen ke dalam air. Perombakan zat warna azo oleh bakteri dapat menghasilkan senyawa amina aromatik yang jauh lebih toksik daripada zat warna asal (Van der Zee, 2002). Zat warna azo bila dibuang di perairan akan bertahan cukup lama dan mengalami akumulasi yang nantinya memberikan efek toksik bagi organisme akuatik (Pandey *et al.*, 2007).

Hasil penelitian Said (2008) nilai COD limbah cair yang dihasilkan pada salah satu industri songket sebesar $4993,8 \text{ mg L}^{-1}$. Sedangkan hasil analisis terhadap lima limbah cair industri songket yang ada di Palembang menunjukkan kandungan COD antara $2960-4066 \text{ mg L}^{-1}$ dan BOD antara $885-1275 \text{ mg L}^{-1}$ (Lampiran 1-5). Nilai COD dan BOD tersebut telah melebihi ambang batas limbah industri tekstil dimana nilai COD maksimum 150 mg L^{-1} sedangkan BOD 60 mg L^{-1} (Peraturan Daerah Kota Palembang No 2 tahun 2003).

Sejauh ini belum ditemukan industri songket yang telah melakukan pengolahan limbah cair sebelum di buang ke perairan, meskipun penyuluhan potensi limbah cair industri songket mencemari lingkungan sudah sering dilakukan oleh instansi terkait. Oleh karena itu diperlukan metoda yang sesuai untuk pengolahan limbah cair industri songket tersebut.

Beberapa metoda dapat diaplikasikan untuk pengolahan limbah cair yang mengandung zat warna sintetik. Metoda seperti bioremediasi yang memanfaatkan mikroorganisme dapat dilakukan tetapi jika polutan yang mencemari mengandung logam terutama logam berat dalam konsentrasi tinggi maka dapat mematikan

mikroorganisme pengolah. Selain itu zat warna sintetik seringkali mempunyai sifat tahan terhadap degradasi biologi (*recalcitrance*) (Zhang., 2003). Metoda kimia juga dapat dilakukan melalui pengendapan dengan proses koagulasi dan diikuti dengan pemisahan melalui penyaringan. Kelemahan metoda ini adalah pada waktu penyaringan kemungkinan lolosnya partikel-partikel halus polutan masih cukup besar. Selain itu saringan secara reguler harus diganti akibat mengalami penyumbatan serta kerusakan karena pemakaian, sehingga sistem ini menjadi cukup mahal (Ridwan, 2010). Zhang *et al.* (2007) menyatakan pemisahan secara magnetik lebih efektif dibandingkan pemisahan secara filtrasi.

Dalam upaya pengolahan limbah cair industri songket telah dilakukan beberapa penelitian antara lain menggunakan karbon aktif dari kulit kopi untuk menyerap zat warna procion dalam limbah cair industri songket dengan daya serap 65,51 mg g⁻¹ (Hariani *et al.*, 2001), adsorpsi zat warna procion menggunakan karbon aktif dari tempurung biji kepayang menghasilkan daya serap terhadap zat warna procion dalam limbah cair industri songket sebesar 153,60 mg g⁻¹ (Hariani *et al.*, 2003). Penggunaan sekam padi memberikan efektivitas serapan terhadap zat warna procion 80,83 % dengan daya serap sebesar 124,02 mg g⁻¹ (Hariani *et al.*, 2007).

Perkembangan teknologi nano saat ini semakin luas tidak hanya di negara-negara maju tetapi juga negara sedang berkembang seperti Indonesia. Salah satu alasan makin meluasnya penelitian dan pengembangan teknologi ini adalah potensi penggunaan dan komersialisasi teknologi yang sangat besar (Savage *et al.*, 2009). Karakteristik material dapat menjadi berbeda setelah menjadi nanomaterial karena (i) nanomaterial memiliki *surface area* yang lebih besar daripada material

awalnya. Hal ini dapat meningkatkan reaktivitas kimia dan meningkatkan kekuatan elektronik, (ii) efek kuantum yang mendominasi bahan *nanoscale* terutama pengaruh optikal dan sifat magnetik material (Boparai *et al.*, 2010).

Salah satu bahan nano magnetik adalah besi oksida. Besi oksida terdiri beberapa jenis yaitu *wustite* (FeO), *maghemite* (Fe₂O₃) dan *magnetite* yaitu besi (II, III) oksida (Fe₃O₄) (Cornell and Schwertmann, 2003). Di antara jenis-jenis besi oksida tersebut maka Fe₃O₄ mempunyai sifat magnet terbesar (Sulungbudi *et al.*, 2006). Nama kimia berdasarkan sistem IUPAC adalah besi (II, III) oksida sedangkan nama umumnya adalah fero-feri oksida. Fe₃O₄ memiliki sifat superparamagnetik yang bermanfaat dalam berbagai aplikasi seperti *ferrofluids*, katalis, pigmen warna, dan diagnose medis (Cornell and Schwertmann, 2003).

Penelitian ini mempelajari sintesis partikel nano Fe₃O₄ yang selanjutnya dimodifikasi dengan mekanisme *coating* menggunakan karbon aktif dari cangkang kelapa sawit sehingga terbentuk komposit. Sifat magnetik dari Fe₃O₄ akan memberikan keuntungan karena pengambilan kembali Fe₃O₄ beserta komposisinya dapat dilakukan dengan metoda separasi magnetik. Selanjutnya komposit Fe₃O₄ - karbon aktif diaplikasikan untuk pengolahan zat warna dari limbah cair industri songket.

Penelitian dimulai dengan melakukan sintesis Fe₃O₄ dari FeCl₂ dan FeCl₃ dengan metode kopresipitasi. Metode ini dilakukan melalui pencampuran ion Fe³⁺ dan Fe²⁺ dengan penambahan larutan basa (Sun *et al.*, 2006; Liong, 2005; Sholihah, 2010). Selanjutnya dilakukan pembuatan komposit Fe₃O₄ dengan karbon aktif.

Karbon aktif yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari cangkang kelapa sawit. Penggunaan cangkang sawit sebagai karbon aktif berdasarkan potensi kelimpahan serta kemampuan daya serapnya. Cangkang sawit merupakan bagian terbesar dari limbah pabrik minyak kelapa sawit. Lahan kelapa sawit di Sumatera Selatan mencapai 690.729 ha pada tahun 2010 dengan jumlah produksi 2.082.196 ton buah kelapa sawit (Dep. Pertanian, 2011). Mengingat besarnya produksi buah kelapa sawit maka jumlah limbah cangkang sawitpun cukup melimpah. Cangkang kelapa sawit mempunyai kandungan utama selulosa sekitar 40 % (Fauzi, 2004), sehingga dapat dijadikan bahan baku karbon aktif. Guo and Lua (2003) mendapatkan karbon aktif dari cangkang kelapa sawit yang diaktivasi menggunakan H_3PO_4 mempunyai luas permukaan cukup besar yaitu $471 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, serta daya serap terhadap NO_2 sebesar 130 mg g^{-1} . Tan *et al.* (2008) menggunakan karbon aktif dari cangkang kelapa sawit yang mampu menurunkan konsentrasi zat warna metilen biru dari $303,03 \text{ mg L}^{-1}$ menjadi $243,90 \text{ mg L}^{-1}$.

Penelitian tahap selanjutnya adalah penentuan kondisi optimum reaksi, penentuan LC_{50} dan kinetika reaksi adsorpsi komposit Fe_3O_4 -karbon aktif terhadap zat warna procion merah. Variabel dalam penentuan kondisi optimum reaksi meliputi konsentrasi awal zat warna, temperatur, pH, berat komposit dan waktu kontak. Kapasitas adsorpsi ditentukan untuk mengetahui kemampuan komposit Fe_3O_4 -karbon aktif dalam mengurangi zat warna. Kondisi optimum yang telah diperoleh selanjutnya diaplikasikan dalam pengolahan limbah cair zat industri songket.

Kinetika reaksi ditentukan untuk mengetahui model kinetika reaksi yang terjadi (Langmuir, Freundlich), menentukan orde reaksi dan energi adsorpsi

sehingga diketahui reaksi yang terlibat adalah reaksi fisika, kimia atau reaksi fisika dan kimia. Setelah diperoleh kondisi optimum maka dipelajari kemungkinan pelepasan zat warna yang telah terikat pada komposit (desorpsi) dengan harapan komposit dapat diregenerasi kembali dan digunakan secara berulang. Zat pendesorpsi diharapkan dari bahan yang murah, mudah didapat serta proses sederhana sehingga nantinya dapat diaplikasikan pada industri songket. Tahap regenerasi komposit dihitung untuk menentukan kemampuan komposit setelah proses desorpsi secara berulang.

Desorpsi dilakukan dengan memvariasikan jenis pelarut, lama kontak, dan jumlah perulangan untuk pelepasan zat warna. Hema and Arivolli (2007) menyatakan adanya ketergantungan proses desorpsi zat warna pada pH. Purkait dan Gupta (2005) melepaskan zat warna *eosin* dari karbon aktif komersial dengan menggunakan surfaktan *Sodium Dodecyl Sulphate* (SDS) diperoleh efektivitas 70% dan *Di-octyl Sodium Sulphosuccinate* (DSS) dengan efektivitas 63%. Perez *et al.* (2007) melakukan desorpsi zat warna *remazol yellow* dari zeolit menggunakan beberapa eluen yaitu larutan asam, basa, etanol, isopropanol, NaCl dan fenton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa eluen terbaik untuk proses desorpsi adalah fenton. Penelitian yang dilakukan menggunakan beberapa eluen untuk mendesorpsi zat warna procion dari komposit dan ditentukan efektivitas desorpsi untuk mendapatkan eluen yang paling sesuai untuk proses desorpsi.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat diperoleh sistem pengolahan limbah khususnya zat warna sintesis yang efektif yaitu mempunyai kapasitas adsorpsi yang besar dan proses yang terjadi cepat serta murah. Keberhasilan penelitian ini

dapat menjadi contoh pada sistem pengolahan limbah cair yang lain untuk mengatasi pencemaran lingkungan.

B. Perumusan Masalah

Perkembangan industri yang cukup pesat di Sumatera Selatan khususnya Palembang selain memberikan dampak positif juga menimbulkan dampak negatif. Salah satu industri yang berpotensi menimbulkan pencemaran di Palembang adalah industri songket. Proses utama industri songket yang menghasilkan limbah cair adalah proses pewarnaan. Zat warna yang digunakan dalam proses pewarnaan ini adalah zat warna sintetis. Zat warna procion merupakan zat warna yang umum digunakan dalam pewarnaan benang songket terutama warna merah. Karakteristik limbah cair industri songket mempunyai kandungan zat warna, COD, TSS yang tinggi serta pH yang rendah. Salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk pengolahan limbah cair industri songket yang mengandung zat warna sintetik menggunakan komposit Fe_3O_4 -karbon aktif. Komposit tersebut bersifat magnetik sehingga pemisahan dapat dilakukan secara magnetik tanpa penyaringan.

Berdasarkan uraian tersebut maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana hasil karakterisasi komposit Fe_3O_4 -karbon aktif. Berapa perbandingan Fe_3O_4 :karbon aktif untuk mendapatkan komposit terbaik.
2. Bagaimana kemampuan adsorpsi komposit Fe_3O_4 -karbon aktif terbaik dalam menyerap zat warna procion merah dengan variabel reaksi meliputi pengaruh konsentrasi awal zat warna procion merah, temperatur, pH, berat komposit, waktu kontak. Sebagai pembanding digunakan karbon aktif dan Fe_3O_4 .

3. Bagaimana kondisi optimum adsorpsi komposit Fe_3O_4 -karbon aktif terhadap zat warna procion merah. Kondisi optimum yang diperoleh diaplikasikan pada limbah cair songket. Penentuan LC_{50} -24 jam limbah cair industri songket diperlukan untuk mengetahui toksisitas limbah cair industri songket sebelum dan setelah pengolahan menggunakan komposit Fe_3O_4 -karbon aktif.
4. Bagaimana model kinetika yang terjadi, untuk mendapatkan laju reaksi dan energi adsorpsi sehingga diketahui jenis reaksi yang terlibat apakah kimia, fisika atau keduanya. Selain itu apakah reaksi mengikuti isotherm Langmuir atau Freundlich untuk mendapatkan gambaran permukaan komposit Fe_3O_4 -karbon aktif.
5. Bagaimana zat warna procion merah yang terikat pada komposit dapat didesorpsi? Kajian terhadap desorpsi zat warna bertujuan untuk mengetahui apakah komposit dapat diregenerasi kembali, jika komposit dapat diregenerasi maka secara ekonomi menguntungkan karena dapat digunakan secara berulang. Kemampuan komposit digunakan secara berulang ini dinyatakan dalam bentuk tahap regenerasi.

C. Tujuan Penelitian

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan sistem pengolahan limbah cair industri songket yang efektif dengan menggunakan komposit Fe_3O_4 -karbon aktif. Secara khusus tujuan penelitian ini adalah :

1. Melakukan sintesis Fe_3O_4 dengan metode kopresipitasi, pembuatan karbon aktif dari cangkang kelapa sawit dan pembuatan komposit Fe_3O_4 -karbon aktif serta karakterisasinya (menjawab rumusan masalah 1)

2. Menentukan perbandingan karbon aktif dan Fe_3O_4 untuk mendapatkan komposit terbaik (menjawab rumusan masalah 1)
3. Menentukan kemampuan adsorpsi komposit Fe_3O_4 -karbon aktif dalam menyerap zat warna procion merah dengan variabel pengaruh konsentrasi awal zat warna, temperatur, pH, berat komposit Fe_3O_4 -karbon aktif dan waktu kontak (menjawab rumusan masalah 2)
4. Menentukan kondisi optimum adsorpsi komposit Fe_3O_4 -karbon aktif terhadap zat warna procion merah dengan interaksi antar variabel yaitu konsentrasi awal zat warna, pH, temperatur, berat komposit Fe_3O_4 -karbon aktif dan waktu kontak (menjawab rumusan masalah 3)
5. Aplikasi penggunaan komposit Fe_3O_4 -karbon aktif pada limbah cair industri songket, serta penentuan LC_{50} limbah cair industri songket menggunakan hewan uji ikan nila (menjawab rumusan masalah 3)
6. Menentukan kinetika reaksi adsorpsi komposit Fe_3O_4 -karbon aktif terhadap zat warna procion merah untuk mendapatkan laju reaksi, isotherm adsorpsi dan energi adsorpsi (menjawab rumusan masalah 4)
7. Menentukan eluen yang sesuai pada proses desorpsi, efektivitas desorpsi serta tahap regenerasi (menjawab rumusan masalah 5).

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat sebagai berikut:

1. Menghasilkan suatu kondisi optimum penyerapan zat warna procion merah dengan menggunakan komposit Fe_3O_4 -karbon aktif dari cangkang kelapa sawit

dengan variabel konsentrasi awal zat warna, temperatur, pH, berat komposit Fe_3O_4 -karbon aktif dan waktu kontak. Kondisi ini nantinya dapat diaplikasikan untuk pengolahan limbah cair industri songket.

2. Memberi solusi pengolahan limbah cair khususnya industri tekstil dan industri lain yang menghasilkan zat warna sintetik dengan metoda yang efektif.

E. Hipotesis Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan maka disusun beberapa hipotesis, sebagai berikut :

1. Komposit terbaik dapat diperoleh dengan perbandingan Fe_3O_4 dengan karbon aktif adalah 1: 3
2. Karbon aktif mempunyai kemampuan adsorpsi lebih besar dibandingkan komposit Fe_3O_4 -karbon aktif dan Fe_3O_4 . Kondisi optimum adsorpsi zat warna procion merah menggunakan komposit Fe_3O_4 -karbon aktif akan dicapai pada kondisi konsentrasi awal zat warna procion merah 150 mg L^{-1} , temperatur 70°C , pH 6, berat komposit 50 mg dan waktu kontak 75 menit
3. Interaksi konsentrasi awal zat warna, temperatur, pH larutan, berat komposit dan waktu kontak berpengaruh terhadap jumlah zat warna procion merah yang dapat diadsorpsi komposit Fe_3O_4 -karbon aktif
4. Dugaan kinetika reaksi zat warna dan komposit Fe_3O_4 -karbon aktif adalah orde satu, isotherm adsorpsi mengikuti isotherm Langmuir, interaksi yang terjadi antara zat warna dan komposit dikarenakan interaksi fisika.
5. Eluen terbaik untuk mendesorpsi zat warna procion yang terikat pada komposit adalah larutan asam.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamson, A.W. 1990. *Physical Chemistry of Surface*. John Wiley and Sons, New York.
- Al-Degs, Y.S., I.E.B. Musa, H.E.S. Amjad, and M.W. Gavin. 2008. Effect Solution pH, Ionic Strength and Temperature on Adsorption Behavior of Reaction Dyes on Activated Carbon. *Journal of Dyes and Pigments* 77: 16-23.
- Al-Degs, Y.S., M.I. El-Barghouhia, A.A. Issaa, M.A. Khraishehb and G.M. Walker. 2006. Sorption of Zn(II), Pb(II) and Co(II) using Natural Sorbents: Equilibrium and Kinetics Studies. *Water Research* 40: 2645-2658.
- Allabaster, J. and Lloyd. 1980. *Water Quality Criteria for Fish*. FAO of United Nations European Inland Fisheries Advisor Commision. Butterworth, London.
- Allwar, A.B. 2013. Porous Structure of Activated Carbon Derived from Empty Fruit Bunch by Phosporic Acid Activation under Nitrogen and Carbon Dioxide. *International Journal of Research In Chemistry and Environment* 3(2): 62-68.
- Allwar, A.B., Md. Noor and M.A.B. Mohd. Nawi. 2008. Textural of Characteristic Activated Carbon Prepared from Oil Palm Shell with $ZnCl_2$ and Pyrolysis under Nitrogen and Carbon Dioxide. *Journal of Physical Science* 19(2): 93-108.
- Alvarez, G.S. 2004. *Synthesis Characterization and Applications of Iron Oxides Nanoparticles*. Doctoral Thesis, Stockolm, Sweden.
- Arifin. 2008. *Metoda Pengolahan Warna Air, Tinjauan Literatur*. PT Tirta Kencana Cahaya Mandiri, Tangerang.
- Azbar, N., T. Yonar and K. Kestioglu. 2004. Comparison of Various Advanced Oxidation Processes and Chemical Treatment Methods for COD and Colour Removal from Polyester and Acetate Fiber Dying Effluent. *Chemosphere* 55: 81-86.
- Bansal, R.C., J.B. Donnet and F. Stoeckli. 1988. *Active Carbon*. Marcel Dekker, New York, USA.
- Berita Industri. 2013. *Indonesia Produsen Kelapa Sawit Terbesar*. Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. www.kemenperind.go.id. Akses 12 Juni 2013.
- Boparai, H.K., M. Joseph and D.M. O'Caroll. 2010. Kinetics and Thermodynamics of Cadmium Ion Removal by Adsorption onto Nano Zero Valent Iron Particles. *Journal Hazard Mater* 18: 324-328.

- Brown, M.A. and S.C. Devito. 1993. Predicting Azo Dye Toxicity. *Critical Reviews in Environmental Science Technology* 23: 249-324.
- Budiono, A., Suhartana dan Gunawan. 2010. Pengaruh Aktivasi Arang Tempurung Kelapa dan Tempurung Kelapa Sawit dengan Asam Sulfat dan Asam Posfat untuk Menyerap Fenol. Jurusan Kimia. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Bulut, Y. and H. Aydin. 2006. A Kinetic and Thermodynamic Study of Methylene Blue Adsorption on Wheat Shell. *Desalination* 194: 259-267.
- Blackburn, R.S. and S.M. Burkinshaw. 2002. A Greener to Cotton Dyeing with Excellent Wash Fastness. *Green Chemistry* 4: 47-52.
- Cao, Q., K.C. Xie, Y.K. Lu and W.R. Bao. 2006. Process Effects of Activated Carbon with Large Specific Surface Area from Corn Cob. *Bioresources Technology* 97: 110-115.
- Carliell, C.M., S.J. Barclay, Naidoo No, C.A. Buckley, Mulholland, D.A. and E. Senior. 1995. Microbial Decolorization of Reactive Red Dye under Anaerobic Condition. *Water S A* 21(1): 61-69.
- Cash Mc. E.M. 2001. *Surface Chemistry*. Oxford University Press, Oxford, USA
- Cheremisinoff, N.P. and Ellerbusch. 1983. *Carbon Adsorption Handbook*. Ann Arbor Science Publisher Inc, Ins Eng Chem, Inggris.
- Chien, S.H. and W.R. Clayton. 1980. Application of Ellovich Equation to the Kinetics of Phosphate Release and Sorption in Soils. *Journal of Soils Science* 44: 265-268.
- Christina, M., S. Mu'nisatun dan S. Rany. 2007. Studi Pendahuluan Mengenai Degradasi Zat Warna Azo (Metil Orange) dalam Pelarut Air Menggunakan Mesin Berkas Elektron 350 keV/10 Ma. *Jurnal Forum Nuklir* 1(1): 31-44.
- Coleman, R.N. and A.A. Qureshi. 1985. Microtox and Spirillum Polutants Tes For Assesing Toxicity of Environmental Samples. *Environmental Contamination Toxicology* 35: 443-451.
- Cornell, R.M. and U. Schwertmann. 2003. *The Iron Oxides Structure, Properties, Reaction, Occurrences and Uses*. Second ed. Wiley-VCH Verlag GmbH and Co, Weinheim.
- Crini, G., H.N. Peindy, F. Gimbert and C. Robert. 2007. Removal of Basic Green 4 from Aqueous Solutions by Adsorption using Cyclodextrin-Based Adsorbent: Kinetics and Equilibrium Studies. *Separation and Purification Technology* 53: 97-110.

- Danarto, Y.C. dan T. Samun. 2008. Pengaruh Aktivasi Karbon dari Sekam Padi pada Proses Adsorpsi Logam Cr(VI). *Jurnal Ekuilibrium* 7 (1): 13-16.
- Departemen Pertanian Direktorat Jenderal Perkebunan. 2011. *Statistik Perkebunan Indonesia 2009-2011*. Jakarta.
- Departemen Perindustrian. 1982. *Penelitian Pengembangan Pembuatan Arang Aktif*. Balai Besar Pengembangan dan Penelitian. Jakarta.
- Dermibas, E., K. Mehmet, S. Elif and O. Tuncay. 2004. Adsorption Kinetics for The Removal of Chromium(VI) from Aqueous Solutions on The Activated Carbon Prepared From Agricultural Wastes. *Journal of Water S A* 30 (4): 533-540.
- Dinas Perindustrian Perdagangan dan Koperasi Kota Palembang. 2011. *Industri Kecil dan Kerajinan Kota Palembang*. Palembang, Sumatera Selatan.
- Donatus, I.A. 2001. *Toksikologi Dasar*. Laboratorium Farmakologi dan Toksikologi. Fakultas Farmasi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Eaton, A.D., S.C. Lenore and E.G. Arnold. 1995. *Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th edition. American Public Health Association (APHA), Washington DC.
- El-Qada, E.N., S.J. Allen and G.M. Walker. 2006. Adsorption of Methylene Blue onto Activated Carbon Produced from Steam Activated Bituminous Coal: A Study of Equilibrium Adsorption Isotherm. *Chemical Engineering Journal* 124: 103-110.
- Erdawati. 2008. Kapasitas Adsorpsi Kitosan dan Nano Magnetik Kitosan Terhadap Ni(II). *Seminar Nasional Sains dan Teknologi II*. Universitas Lampung 17-18 November 2008.
- Fajaroh, F., S. Heru, W.W. Sugeng, R. Wahyu dan S. Endik. 2009. Sintesis Nanopartikel Magnetite dengan Metode Elektrokimia Sederhana. *Jurnal Nanosains dan Nano Teknologi*. ed khusus Agustus 2009 ISSN 1979-0880: 30-35.
- Fauzi, Y. 2004. *Kelapa Sawit*. edisi revisi. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Fisli, A., A. Ariyani, S. Wardiyati dan S. Yusuf. 2012. Adsorben Magnetik Nanokomposit untuk Menyerap Thorium. *Jurnal Sains Materi Indonesia* 13(3): 192-197.
- Fiore, S. and C.Z. Maria. 2009. Preliminary Tests Concerning Zero-Valent Iron Efficiency in Inorganic Pollutants Remediation. *American Journal of Environmental Sciences* 5(4): 555-560.

- Freman, W.H. 1963. Dipole Moments and Dipole Lengths. National Physical Laboratory, San Fransisco.
- Fungaro, D.A., M. Yamaura, T.E.M. Carvalho and J.E.A, Graciano. 2012. Zeolite from Fly Ash-Iron Magnetic Nanocomposite: Synthesis and Application as an Adsorbent for Removal of Contaminants from Aqueous Solution. Zeolites: Synthesis, Chemistry and Applications. Nova Science Publisher 1-34.
- Furlan, F.R., G.M.S. Lais, F.M. Ayres, A.U.S. Antonio and M.A.G.U.S. Selene. 2010. Removal of Reactive Dye from Aqueous Solutions Using Combined Coagulation/Flocculation and Adsorption on Activated Carbon. Resources, Conservation and Recycling 54: 283-290.
- Geo. 2007. Classes of Magnetic Materials. terhubung berkala. <http://www.geo.umn.edu.html>. Akses 27 Juli 2010.
- Gerardo, F. Goya. 2004. Handling The Particle Size And Distribution of Fe₃O₄ Nanoparticles Through Ball Milling. Journal of Solid State Communications 130: 783-787.
- Gercel, O., A. Ozcan, A.S. Ozcan, H.F. Gercel. Preparation of Activated Carbon from A Renewable Bio-Plant of *Euphorbia Rigida* by H₂SO₄ Activation and It's Adsorption Behavior in Aqueous Solution. Applied Surface Science 253(11): 4843-4852.
- Girginova, P.I., L.D. Ana, B.L. Claudia, F. Paula, O. Marta., S.A. Vitor, P. Eduarda and T. Tito. 2010. Silica Coated Magnetite Particle for Magnetic Removal of Hg²⁺ from Water. Journal of Colloid and Interface Science 345: 234-240.
- Gomez, V., M.S. Larreci and M.P. Callao. 2007. Kinetic and Adsorption Study of Acid Removal Using Activated Carbon. Chemosphere 69: 1151-1158.
- Gregg, S.J. and K.S.W. Sing. 1982. Adsorption, Surface Area and Porosity. Academic Press Inc. New York.
- Guin, D., S.V. Manorama, S. Radha and A.K. Nigam. 2006. One Pot Size and Shape Controlled Synthesis of DMSO Capped Iron Oxide Nanoparticles. Bulletin Mater Science 29(6): 617-621.
- Guo, J. and A.C. Lua. 2003. Surface Functional Groups on Oil Palm shell Adsorbents prepared by H₃PO₄ and KOH Activation and Their Effects On Adsorptive Capacity. Trans IchemE 81: 585-590
- Guo, Y. and D.A. Rockstraw. 2007. Physicochemical Properties of Carbon Prepared from Pekan Shell by Phosporic Acid Activation. Bioresource Technology 98(8): 1513-1521.