

**PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI KERTAS DENGAN
ELEKTRO-FENTON**



TESIS

Elin Marlina

30000118410017

**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2019**

LEMBAR PERSETUJUAN

TESIS

PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI KERTAS DENGAN ELEKTRO-FENTON

Disusun oleh

Elin Marlina

30000118410017

Semarang, Desember 2019


Mengetahui,

Ketua Program Studi
Magister Ilmu Lingkungan
Universitas Diponegoro

Komisi Pembimbing
Pembimbing I



Dr. Eng. Maryono, S.T., M.T
NIP. 19750811 200012 1 001



Prof. Dr. Ir. Purwanto, DEA
NIP. 196112281986031004



Dr. R. B. Sularto, SH., M. Hum
NIP. 196701011991031005

LEMBAR PENGESAHAN

PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI KERTAS DENGAN ELEKTRO-FENTON

Disusun oleh

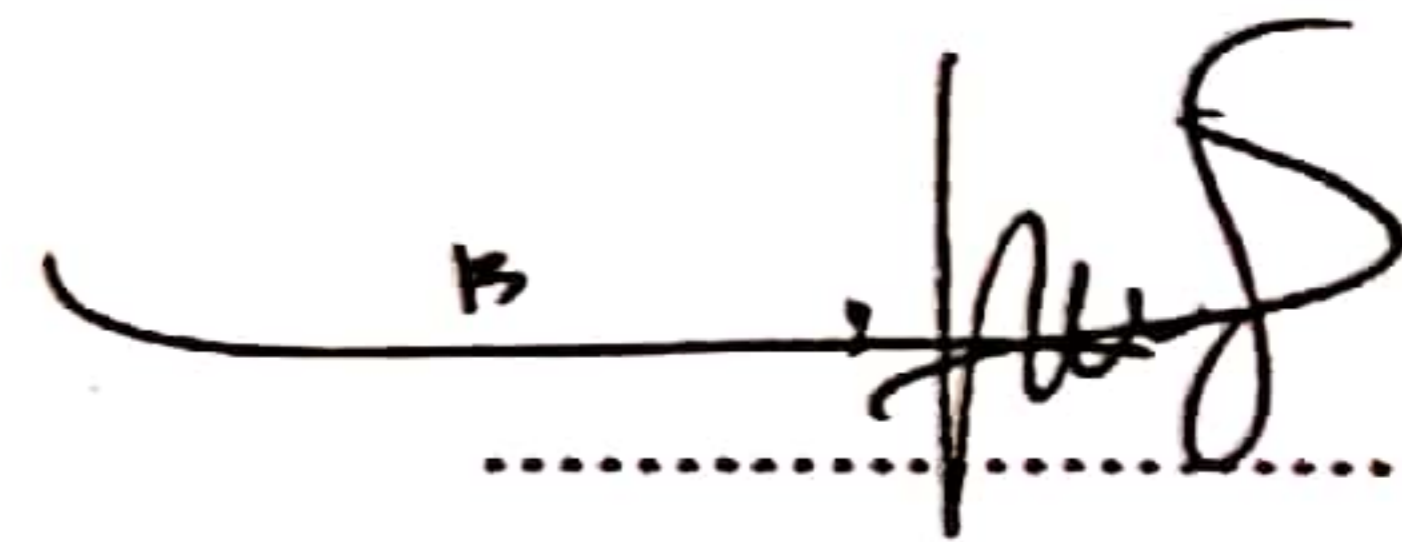
Elin Marlina
30000118410017

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
Pada Tanggal 19 Desember 2019
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

Ketua

Dr. Bambang Cahyono, M.S

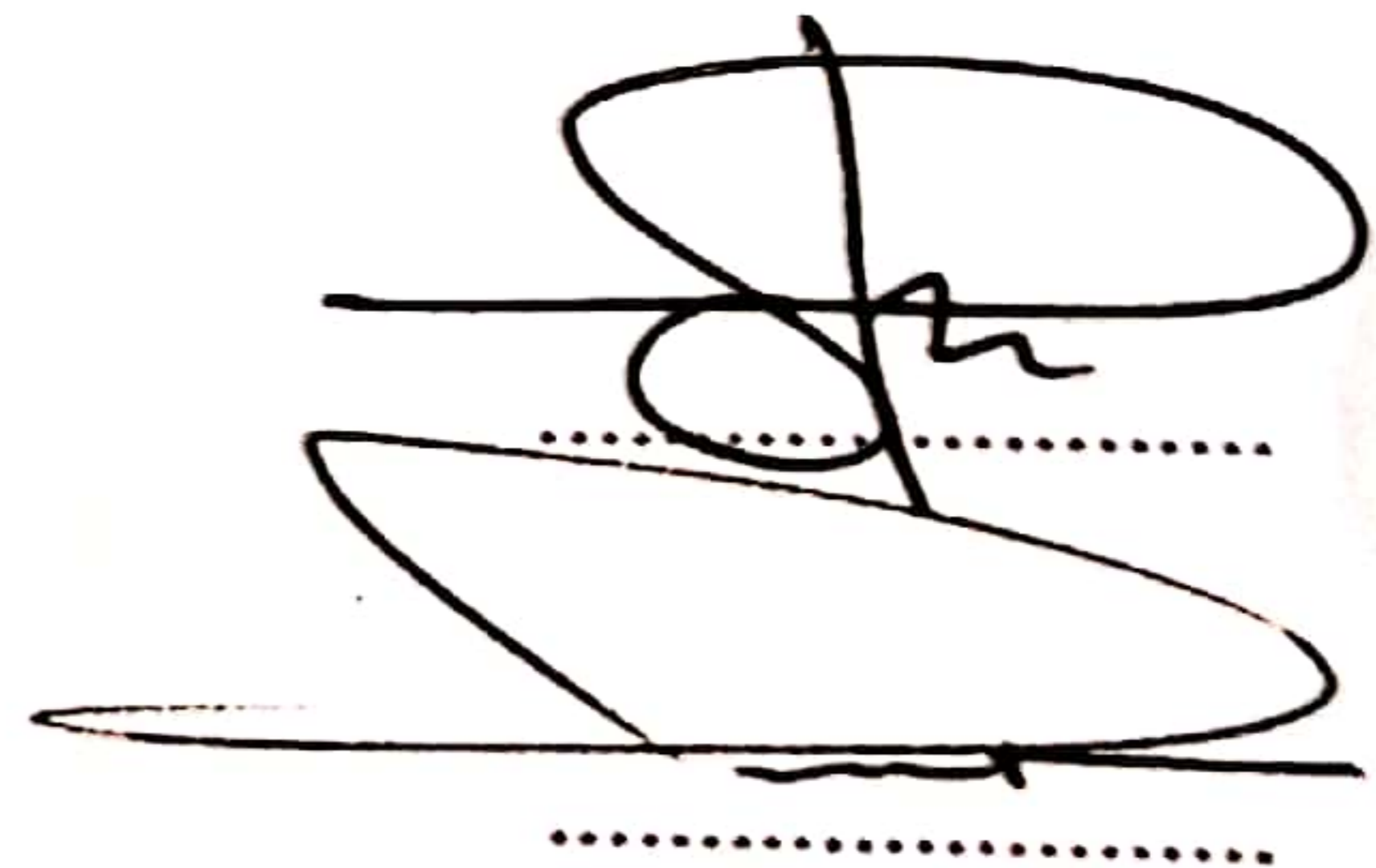
Tanda tangan

Handwritten signature of Dr. Bambang Cahyono, M.S, written in black ink over a dotted line.

Anggota

1. Dr. Ing. Suherman, S.T., M.T

2. Prof. Dr. Ir. Purwanto, DEA

Handwritten signature of Dr. Ing. Suherman, S.T., M.T, written in black ink over a dotted line.

PERNYATAAN

Dengan ini penulis, **Elin Marlina** menyatakan bahwa Tesis yang berjudul “Pengolahan Air Limbah Industri Kertas dengan Elektro-Fenton” adalah benar-benar karya asli yang penulis buat sendiri dan karya ilmiah/tesis ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar Magister (S2) di Universitas Diponegoro maupun perguruan tinggi lainnya.

Semua informasi yang dimuat dalam Tesis ini yang berasal dari karya orang lain, baik yang dipublikasikan atau tidak, telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar dan semua isi dari Tesis ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis.

Semarang, Desember 2019

Elin Marlina

RIWAYAT HIDUP



Elin Marlina, lahir di Cirebon pada tanggal 15 April 1995. Anak tunggal dari pasangan Bapak Enon Suhanan Sastralaksana (Alm) dan Ibu Een Hernawati. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di SDN Sumbakeling tahun 2007, SMPN 1 Cilimus tahun 2010, SMAN 1 Cilimus tahun 2013 dan pada tahun yang sama penulis diterima di Program Studi S1-Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universtas Diponegoro melalui jalur SNMPTN. Pada tahun 2017 penulis mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Universtas Diponegoro. Penulis melanjutkan pendidikan S-2 dan diterima di Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro pada bulan Agustus 2018 melalui Program Magister Doktor menuju Sarjana Unggul (PMDSU) dengan Beasiswa Gelar dari Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia. Tesis yang disusun penulis sebagai syarat menempuh program S-2 adalah “Pengolahan Air Limbah Industri Kertas dengan Elektro-Fenton”.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul “Pengolahan Air Limbah Industri Kertas dengan Elektro-Fenton”.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyusunan tesis ini, yaitu :

1. Prof. Dr. Ir. Purwanto, DEA selaku dosen pembimbing atas arahan, kritik serta sarannya selama penelitian dan penyusunan tesis.
2. Dr. Bambang Cahyono dan Dr. Ing. Suherman, S.T., M.T selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran untuk perbaikan penyusunan tesis.
3. Orang tua dan segenap keluarga yang selalu memberikan doa dan dukungan.
4. Semua pihak yang telah membantu terutama teman-teman Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro angkatan 54 dan 55 dalam penelitian dan penyusunan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran untuk memperbaiki tesis ini. Semoga tesis ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan khususnya di bidang ilmu lingkungan.

Semarang, Desember 2019

Penulis

DAFTAR ISI

COVER	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN.....	iv
RIWAYAT HIDUP.....	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
ABSTRAK	xii
<i>ABSTARCT</i>	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	6
1.4. Manfaat Penelitian	6
1.5. Penelitian Terkait dan Keaslian Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	13
2.1. Teknologi Elektro-Fenton.....	13
2.2. Faktor-Faktor yang Berpengaruh.....	15
2.2.1. Jenis Elektroda	15
2.2.2. pH.....	16
2.2.3. Kerapatan arus.....	17
2.2.4. Konsentrasi Fe^{2+}	18
2.2.5. Konsentrasi hidrogen peroksida.....	19
2.2.6. Laju aliran oksigen.....	19
2.2.7. Jarak antar elektroda	20
2.2.8. Suhu	20
2.2.9. Elektrolit.....	20
2.3. Jenis Reaktor Elektro-Fenton.....	21
2.3.1. Bubble reactor (BR).....	21

2.3.2.	Filter press reactor (FPR).....	22
2.3.3.	Reaktor silinder kontinu.....	23
2.3.4.	Undivided double-electrode electrochemical cell (UDEEC)	23
2.3.5.	Undivided three-electrode electrochemical cell (UTECE).....	24
2.3.6.	Double compartment cell (DCC)	25
2.4.	Aplikasi Elektro-Fenton.....	26
2.4.1.	Warna	26
2.4.2.	Lindi	27
2.4.3.	Obat - obatan	28
2.4.4.	Pupuk dan pestisida.....	29
2.4.5.	Fenol.....	29
2.4.6.	Lain – lain	30
2.5.	Air Limbah Industri Kertas.....	31
2.6.	Direct Blue 15	33
2.7.	Kinetika Penyisihan Warna dengan Elektro-Fenton.....	33
2.8.	Konsumsi Energi.....	34
2.9.	<i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	34
BAB III METODE PENELITIAN		37
3.1.	Lokasi dan Waktu Penelitian	37
3.2.	Ruang Lingkup Penelitian	37
3.3.	Rancangan Penelitian.....	37
3.3.1.	Alat dan bahan	38
3.3.2.	Rangkaian alat penelitian	39
3.4.	Teknik Pengumpulan Data.....	39
3.4.1.	pH.....	39
3.4.2.	COD	40
3.4.3.	Warna	41
3.5.	Teknik Analisis Data	41
3.5.1.	Efisiensi penyisihan warna dan COD	41
3.5.2.	Kinetika laju penyisihan warna dengan elektro-Fenton.....	42
3.5.3.	Konsumsi energi	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		44

4.1.	Karakteristik Pewarna.....	44
4.2.	Proses <i>Electrochemical Peroxidation</i>	45
4.2.1.	Pengaruh pH.....	45
4.2.2.	Pengaruh konsentrasi H ₂ O ₂	48
4.2.3.	Pengaruh kuat arus.....	51
4.3.	Proses Fered-Fenton.....	54
4.3.1.	Pengaruh pH.....	55
4.3.2.	Pengaruh konsentrasi H ₂ O ₂	58
4.3.3.	Pengaruh kuat arus.....	61
4.3.4.	Pengaruh konsentrasi Fe ²⁺	64
4.4.	Kinetika Reaksi.....	66
4.5.	Konsumsi Energi Proses Elektro-Fenton.....	68
4.6.	Analisa FTIR.....	70
BAB V PENUTUP.....		73
5.1.	Kesimpulan.....	73
5.2.	Saran.....	73
RINGKASAN.....		75
DAFTAR PUSTAKA.....		78
LAMPIRAN.....		86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Reaksi pada reaktor elektro-Fenton.....	14
Gambar 2.2. Bubble reaktor	22
Gambar 2.3. Reaktor <i>filter press (continuous batch recirculation)</i>	22
Gambar 2.4. Reaktor silinder kontinu	23
Gambar 2.5. Reaktor <i>undivided double-electrode electrochemical cell (DDEC)</i> 24	
Gambar 2.6. Reaktor <i>undivided three-electrode electrochemical cell (UTECE)</i> ..	25
Gambar 2.7. Reaktor <i>double compartment cell (DCC)</i>	26
Gambar 2.8. Struktur kimia pewarna C.I Direct Blue 15.....	33
Gambar 2.9. Plot spektrum inframerah polistirena pada persen transmitan (%)	35
Gambar 3.1. Reaktor elektro-Fenton.....	39
Gambar 3.2. Diagram alir penelitian.....	43
Gambar 4.1. Struktur kimia pewarna C.I Direct Blue 15.....	44
Gambar 4.2. Pengaruh pH pada penurunan konsentrasi warna	45
Gambar 4.3. Pengaruh pH pada penurunan konsentrasi COD.....	46
Gambar 4.4. Pengaruh konsentrasi H ₂ O ₂ pada penurunan konsentrasi warna....	49
Gambar 4.5. Pengaruh konsentrasi H ₂ O ₂ pada penurunan konsentrasi COD	50
Gambar 4.6. Pengaruh kuat arus pada penurunan konsentrasi warna.....	52
Gambar 4.7. Pengaruh kuat arus pada penurunan konsentrasi COD	53
Gambar 4.8. Pengaruh pH pada penurunan konsentrasi warna	55
Gambar 4.9. Pengaruh pH pada penurunan konsentrasi COD.....	56
Gambar 4.10. Pengaruh konsentrasi H ₂ O ₂ pada penurunan konsentrasi warna..	58
Gambar 4.11. Pengaruh konsentrasi H ₂ O ₂ pada penurunan konsentrasi COD ...	59
Gambar 4.12. Pengaruh kuat arus pada penurunan konsentrasi warna.....	61
Gambar 4.13. Pengaruh kuat arus pada penurunan konsentrasi COD	62
Gambar 4.14. Pengaruh konsentrasi Fe ²⁺ pada penurunan konsentrasi warna ...	64
Gambar 4.15. Pengaruh konsentrasi Fe ²⁺ pada penurunan konsentrasi COD.....	65
Gambar 4.16. Lanju penyisihan warna dengan elektroda Fe dan Ti/Pt	67
Gambar 4.17. Lanju penyisihan COD dengan elektroda Fe dan Ti/Pt.....	68
Gambar 4.18. Konsumsi enegrgi proses <i>electrochemical peroxidation</i>	69
Gambar 4.19. Konsumsi energi proses fered -Fenton.....	70
Gambar 4.20. Spektrum FTIR sebelum dan setelah pengolahan.....	71

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Penelitian Terkait	7
Tabel 2.1. Kondisi Optimum Arus Pada Proses Elektro-Fenton Berbagai Percobaan.....	18
Tabel 2.2. Karakteristik Air Limbah Industri Kertas	32
Tabel 2.3. Daerah Serapan Gelombang Beberapa Gugus Fungsi	36
Tabel 4.1. Karakteristik Air Limbah Industri Kertas	44
Tabel 4.2. pH dan Tegangan Akibat Perbedaan pH pada Proses <i>Electrochemical Peroxidation</i>	47
Tabel 4.3. pH dan Tegangan Akibat Perbedaan H ₂ O ₂ pada Proses <i>Electrochemical Peroxidation</i>	51
Tabel 4.4. pH dan Tegangan Akibat Perbedaan Arus pada Proses <i>Electrochemical Peroxidation</i>	54
Tabel 4.5. pH dan Tegangan Akibat Perbedaan pH pada Proses Fered-Fenton .	57
Tabel 4.6. pH dan Tegangan Akibat Perbedaan H ₂ O ₂ pada Proses Fered-Fenton	60
Tabel 4.7. pH dan Tegangan Akibat Perbedaan Arus pada Proses Fered-Fenton	63
Tabel 4.8. pH dan Tegangan Akibat Perbedaan Konsentrasi Fe ²⁺ pada Proses Fered-Fenton.....	66
Tabel 4.9. Hasil Uji FTIR Sebelum dan Setelah Pengolahan	72

ABSTRAK

Industri kertas merupakan salah satu industri yang menggunakan air dan energi dengan skala besar. Pada penelitian ini dilakukan pengolahan limbah industri kertas yang mengandung pewarna C.I Direct Blue 15 dengan menggunakan teknologi electrochemical peroxidation dan fered-Fenton. Menggunakan anoda besi dan Ti/Pt dan katoda grafit dalam satu liter limbah yang diolah. Faktor – faktor (pH, arus, konsentrasi H₂O₂, konsntrasi ion besi dan waktu) dilakukan evaluasi. Hasil percobaan menunjukkan bahwa penyisihan warna proses *electrochemical peroxidation* mencapai 100% dan COD 54% pada pH 3, arus 1 amper dengan penambahan H₂O₂ 0,0495 M. Proses fered-Fenton efektif pada pH 3, arus 1 amper dan perbandingan Fe²⁺/H₂O₂ 1:5 dengan persentase penyisihan warna 79% dan COD 65%. Proses *electrochemical peroxidation* dan fered-Fenton merupakan metode pengolahan yang baik untuk menyisihkan warna dan COD pada air limbah.

Kata kunci: C.I Direct Blue 15, fered-Fenton, *electrochemical peroxidation*, warna.

ABSTARCT

The paper industry uses a lot of water and energy. This study tested the decolorization and COD removal of C.I Direct Blue 15 from paper industry solution using an electrochemical peroxidation process and fered-Fenton. In this study using iron and Ti/Pt as anode and graphite as a cathode in one liter of solution. Factors (pH, current, H₂O₂ concentration, iron concentration and time) were evaluated. The results illustrate that the parameters applied affect the efficiency of the process. Ratio decolorization of C.I Direct Blue 15 is 100% and COD removal 54% at pH 3, current 1 A and H₂O₂ concentration 0,0495M on electrochemical peroxidation process. The fered-Fenton process decolorization up to 79% and COD removal 65% under pH 3, current 1 A and Fe²⁺/H₂O₂ 1:5 conditions. The electrochemical peroxidation process and fered-Fenton is the correct method for removing dye compounds from industrial wastes with a high removal ratio.

Keywords : C.I Direct Blue 15, fered-Fenton, electrochemical peroxidation, color.