

SKRIPSI

**EFEKTIVITAS PROSES ELEKTRO-FENTON DALAM
MENYISIHKAN SENYAWA ORGANIK COD DAN
FENOL DENGAN VARIASI RASIO REAGEN SERTA
PENAMBAHAN *CHELATING AGENT* PADA AIR
LIMBAH INDUSTRI ROKOK**



Oleh :

ADY SYAH PUTRA ARIE
NPM 22034010003

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAWA TIMUR
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
SURABAYA
2026**

**EFEKTIVITAS PROSES ELEKTRO-FENTON DALAM
MENYISIHKAN SENYAWA ORGANIK COD DAN
FENOL DENGAN VARIASI RASIO REAGEN SERTA
PENAMBAHAN *CHELATING AGENT* PADA AIR
LIMBAH INDUSTRI ROKOK**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Dalam Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T.)
Program Studi Teknik Lingkungan.

Diajukan Oleh :

ADY SYAH PUTRA ARIF
NPM: 22034010003

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN” JAWA TIMUR
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
SURABAYA**

2026

LEMBAR PERSETUJUAN

EFEKTIVITAS PROSES ELEKTRO-FENTON DALAM MENYISIHKAN SENYAWA ORGANIK COD DAN FENOL DENGAN VARIASI RASIO REAGEN SERTA PENAMBAHAN *CHELATING AGENT* PADA AIR LIMBAH INDUSTRI ROKOK

Disusun Oleh :


Ady Syah Putra Arif
NPM. 22034010003

Telah disetujui untuk mengikuti Ujian Penelitian

Menyetujui,

Pembimbing


Restu Hikmah Ayu Murti, S.ST., M.Sc.
NIP. 19930416 202506 2005

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur


Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P.
NIP. 19650403 199103 2 001

LEMBAR PENGESAHAN

EFEKTIVITAS PROSES ELEKTRO-FENTON DALAM MENYISIHKAN SENYAWA ORGANIK COD DAN FENOL DENGAN VARIASI RASIO REAGEN SERTA PENAMBAHAN CHELATING AGENT PADA AIR LIMBAH INDUSTRI ROKOK

Disusun Oleh :

Ady Syah Putra Arif
NPM. 22034910003

Telah diuji kebenaran oleh Tim Penguji dan diterbitkan pada
Jurnal Buana Sains (Terakreditasi Sinta 4)

Menyetujui,

Pembimbing

TIM PENGUJI

1. Ketua

Restu Hikmah Ayu Murti, S.ST., M.Sc.
NIP. 19930416 202506 2005

Dr. Aulia Ulfah F., S.T., M.Sc.
NIP. 19890106 202406 2002

2. Anggota

M. Abdus Salam Jawwad, S.T., M.Sc.
NIP. 19940727 202406 1001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P.
NIP. 19650403 199103 2 001

LEMBAR REVISI

EFEKTIVITAS PROSES ELEKTRO-FENTON DALAM MENYISIHKAN SENYAWA ORGANIK COD DAN FENOL DENGAN VARIASI RASIO REAGEN SERTA PENAMBAHAN *CHELATING AGENT* PADA AIR LIMBAH INDUSTRI ROKOK

Disusun Oleh :


Ady Syah Putra Arif
NPM. 22034010003

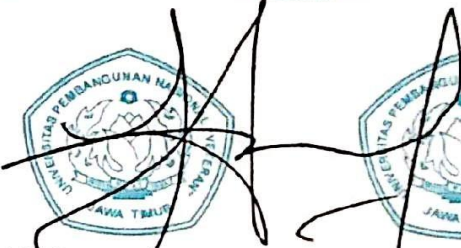
Telah direvisi dan disahkan pada tanggal 31 Agustus 2026

TIM PENILAI

KETUA

ANGGOTA


Dr. Aulia Ulfah F., S.T., M.Sc.
NIP. 19890106 202406 2002


M. Abdus Salam Jawwad, S.T., M.Sc.
NIP. 19940727 202406 1001

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ady Syah Putra Arif
NPM : 22034010003
Program : Sarjana (S1)
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Teknik dan Sains

Menyatakan bahwa dokumen skripsi ini sepenuhnya bebas dari materi karya ilmiah yang pernah diajukan untuk meraih gelar akademik di institusi mana pun. Tidak ada karya atau pendapat pihak lain yang diklaim sebagai milik saya, semua rujukan telah disitasi dengan benar sesuai kaidah penulisan ilmiah dan tercantum pada daftar pustaka.

Dengan demikian, saya menjamin orisinalitas karya ini dan sepenuhnya bebas dari tindakan plagiat. Jika di kemudian hari ditemukan bukti yang bertentangan dengan pernyataan ini, saya siap menerima sanksi akademik maupun hukum yang berlaku.

Surat pernyataan ini disusun secara jujur dan tanpa paksaan dari siapa pun, untuk digunakan sesuai dengan keperluannya.

Surabaya, 31 Agustus 2026

Yang Membuat Pernyataan

A 10,000 Rupiah revenue stamp (Meter Tempel) with a signature over it. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text "SEPULUH RIBU RUPIAH", "10000", "METER TEMPEL", and the serial number "FBD37AOX113465810".

Ady Syah Putra Arif

NPM. 22034010003

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat serta hidayah-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Efektivitas Proses Elektro-Fenton dalam Menyisihkan Senyawa Organik COD dan Fenol dengan Variasi Rasio Reagen serta Penambahan *Chelating Agent* pada Air Limbah Industri Rokok” ini dengan sebaik-baiknya. Dalam perjalanan penyusunan laporan ini, kami menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Dra. Jariyah, MP. Selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
2. Ibu Firra Rosariawari, ST., MT. Selaku Koordinator Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
3. Ibu Restu Hikmah Ayu Murti, S.ST., M.Sc. Selaku Dosen Pembimbing tugas akhir yang telah banyak memberikan arahan serta saran selama proses pengerjaan tugas akhir ini.
4. Seluruh anggota keluarga Ayah, Ibu, Kakak, dan Adik yang selalu memberikan doa dan dukungan selama proses pengerjaan tugas akhir ini.
5. Sahabat – sahabat penulis yaitu: Kevin, Faza, Candra, Rizal, Alfian, Akeyla, Lashul, Bintang, Yusuf, yang selalu memberikan bantuan, semangat, dan memotivasi untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Teman-teman Teknik Lingkungan angkatan 2022 yang turut membantu dan memberikan dukungan dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.
7. *Superman Is Dead* (SID), The Sigit, The Jeblogs, Efek Rumah Kaca, Perunggu, Kunto Aji, Raisa, Sal, dan Bernadya yang menemani penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini.
8. Terima kasih kepada diri sendiri yang telah berjuang dan bertahan dengan kaki sendiri dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Terima kasih telah membuktikan bahwa tugas akhir mampu diselesaikan sendiri tanpa ada patah hati atau jatuh cinta.

Penyusunan tugas akhir ini telah diusahakan semaksimal mungkin sebagaimana mestinya, namun penyusun menyadari bahwa masih banyak

kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini. Untuk itu, kritik dan saran yang membangun akan penyusun terima. Akhir kata, penyusun berharap agar laporan ini dapat bermanfaat dan penyusun memohon maaf apabila di dalam laporan ini terdapat kata-kata yang kurang berkenan atau kurang dipahami.

Surabaya, 31 Agustus 2026

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT.....	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Lingkup Penelitian.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Umum	5
2.1.1 Sumber dan Karakteristik Air Limbah Industri Rokok	5
2.1.2 Baku Mutu Air Limbah Industri Rokok.....	7
2.1.3 Advanced Oxidation Processes (AOPs).....	8
2.2 Landasan Teori	9
2.2.1 Elektro-Fenton.....	10
2.2.2 Faktor - Faktor yang Mempengaruhi Elektro-Fenton	12
2.2.3 <i>Chelating Agent</i>	15
2.2.4 Waktu Kontak.....	18
2.3 Penelitian Terdahulu	18
BAB 3 METODE PENELITIAN	22
3.1 Kerangka Penelitian	22
3.2 Alat dan Bahan	23
3.2.1 Alat.....	23

3.2.2	Bahan.....	23
3.3	Prosedur Kerja	24
3.3.1	Diagram Alir Prosedur Kerja	24
3.3.2	Desain dan Pembuatan Reaktor	25
3.3.3	Persiapan Air Limbah	25
3.3.4	<i>Running</i> Penelitian.....	26
3.4	Variabel Penelitian.....	27
3.4.1	Variabel Kontrol.....	27
3.4.2	Variabel Bebas.....	28
3.4.3	Variabel Terikat.....	29
3.5	Analisis Data.....	29
3.6	Jadwal Kegiatan	30
3.7	Matriks Penelitian	31
3.8	Rancangan Anggaran Biaya.....	33
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1	Hasil Penelitian	35
4.1.1	Karakteristik Air Limbah Industri Rokok	35
4.1.2	<i>Pre-Treatment</i> Prasedimentasi dan Aerasi.....	36
4.1.3	Hasil Uji Parameter COD pada Elektro – Fenton	37
4.1.4	Hasil Uji Parameter Fenol pada Elektro – Fenton.....	39
4.2	Pembahasan	41
4.2.1	<i>Pre Treatment</i> Prasedimentasi dan Aerasi	41
4.2.2	Penelitian Utama Elektro-Fenton.....	42
4.2.2.1	Parameter COD pada Elektro-Fenton	42
4.2.2.2	Pengaruh Rasio <i>Chelating Agent</i> terhadap Penyisihan COD.....	44
4.2.2.3	Pengaruh Reagen Fenton terhadap Penyisihan COD.....	46
4.2.2.4	Pengaruh Waktu Kontak terhadap Penyisihan COD.....	47

4.2.2.5 Parameter Fenol pada Elektro-Fenton.....	48
4.2.2.6 Pengaruh Rasio <i>Chelating Agent</i> terhadap penyisihan Fenol	50
4.2.2.7 Pengaruh Reagen Fenton terhadap Penyisihan Fenol	51
4.2.2.8 Pengaruh Waktu Kontak terhadap Penyisihan Fenol	52
4.2.3 Penentuan Kondisi Optimum Proses Elektro-Fenton.....	53
4.2.3.1 Kondisi Optimum untuk Penyisihan COD.....	53
4.2.3.2 Kondisi Optimum untuk Penyisihan Fenol	53
4.2.3.3 Perbandingan Kondisi Optimum COD dan Fenol	53
4.2.4 Uji Normalitas	54
4.2.4.1 Uji Normalitas Parameter COD	54
4.2.4.2 Uji Normalitas Parameter Fenol	56
4.2.5 Uji Korelasi Rasio <i>Chelating Agent</i> terhadap Penurunan Kadar COD.....	58
4.2.6 Uji Korelasi Rasio <i>Chelating Agent</i> terhadap Penurunan Kadar Fenol.....	60
4.2.7 Uji Korelasi Rasio Reagen Fenton terhadap Penurunan Kadar COD.....	61
4.2.8 Uji Korelasi Rasio Reagen Fenton terhadap Penurunan dan Kadar Fenol ..	62
4.2.9 Uji Korelasi Waktu Kontak terhadap Penurunan Kadar COD	64
4.2.10 Uji Korelasi Waktu Kontak terhadap Penurunan Kadar	65
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	67
5.1 Kesimpulan.....	67
5.2 Saran	67
DAFTAR PUSTAKA.....	69
LAMPIRAN A.....	73
LAMPIRAN B.....	76
LAMPIRAN C.....	86
LAMPIRAN D.....	95

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Industri Rokok.....	8
Tabel 2.2 Hasil Penelitian Terdahulu.....	18
Tabel 3.1 Metode Analisis Data.....	29
Tabel 3.2 Jadwal Kegiatan.....	31
Tabel 3.3 Matriks Penelitian.....	32
Tabel 3.4 Rancangan Anggaran Biaya (RAB).....	33
Tabel 4.1 Hasil Uji Parameter Awal COD dan fenol.....	35
Tabel 4.2 Hasil Uji Parameter TSS dan DO Sebelum Pre-Treatment	36
Tabel 4. 3 Hasil Uji Parameter TSS dan DO setelah Pre-Treatment	37
Tabel 4.4 Hasil Uji Parameter COD pada Elektro – Fenton.....	37
Tabel 4.5 Hasil Uji Parameter Fenol pada Elektro – Fenton.....	39
Tabel 4. 6 Uji Parameter TSS dan DO pada Proses Pre Treatment	41
Tabel 4. 7 Hasil Uji Normalitas Parameter COD	55
Tabel 4.8 Hasil Uji Normalitas Parameter Fenol.....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mekanisme Elektro-Fenton	12
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian.....	22
Gambar 3.2 Alur Prosedur Kerja	24
Gambar 3.3 Reaktor Elektro-Fenton	25
Gambar 4. 1 Grafik Penyisihan COD pada Elektro-Fenton	43
Gambar 4. 2 Grafik Penyisihan Fenol pada Elektro-Fenton	49
Gambar 4.3 Hasil Uji Normalitas Kadar COD Metode Anderson-Darling.....	55
Gambar 4.4 Hasil Uji Normalitas Kadar COD Metode Ryan-Joiner	56
Gambar 4. 5 Hasil Uji Normalitas Kadar Fenol Metode Anderson-Darling.....	57
Gambar 4.6 Hasil Uji Normalitas Kadar COD Metode Ryan-Joiner	58
Gambar 4.7 Hasil Uji Korelasi Rasio Chelating Agent : Kadar COD.....	59
Gambar 4.8 Hasil Uji Korelasi Rasio Chelating Agent : Kadar Fenol.....	60
Gambar 4.9 Hasil Uji Korelasi Reagen Fenton : Kadar COD.....	61
Gambar 4.10 Hasil Uji Korelasi Reagen Fenton : Kadar Fenol	63
Gambar 4. 11 Hasil Uji Korelasi Waktu Kontak : Kadar COD	64
Gambar 4.12 Hasil Uji Korelasi Waktu Kontak : Kadar Fenol	65

ABSTRAK

Pencemaran air limbah industri rokok umumnya dengan tingginya kadar organik seperti *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan fenol yang berasal dari proses pengolahan tembakau dan penambahan bahan *flavoring*, sehingga berpotensi menurunkan kualitas badan air penerima apabila dibuang tanpa pengolahan yang memadai. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas proses elektro-Fenton dalam menyisihkan COD dan fenol pada air limbah industri rokok yang berasal dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di wilayah Pasuruan, Jawa Timur, dengan variasi rasio reagen Fenton ($\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4$) serta penambahan *chelating agent* berupa asam sitrat ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$). Sebelum proses elektro-Fenton, air limbah melalui tahap *pre-treatment* berupa prasedimentasi dan aerasi dengan tujuan meringankan beban pencemar sebelum proses utama. Penelitian ini dilakukan menggunakan reaktor elektro-Fenton berbahan akrilik dengan elektroda besi (1 anoda dan 1 katoda) dengan variasi reagen Fenton (10:0,1 dan 10:0,3), rasio *chelating agent* (0, 1:2, dan 1:5), dan waktu kontak. (30, 60, 90, 120, 150 menit). Air limbah industri rokok memiliki kadar COD sebesar 1600 mg/L dan kadar fenol sebesar 1,66 mg/L. Pada penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa proses elektro-Fenton dengan penambahan *chelating agent* efektif meningkatkan efisiensi penyisihan COD dan fenol.

Kata Kunci: elektro-Fenton, COD, Fenol, *chelating agent*, Asam Sitrat

ABSTRACT

Wastewater pollution from the tobacco industry is generally characterized by high levels of organic compounds, such as Chemical Oxygen Demand (COD) and phenol, which originate from tobacco processing and the addition of flavoring agents; as a result, it has the potential to degrade the quality of receiving water bodies if discharged without adequate treatment. This study aims to evaluate the effectiveness of the electro-Fenton process in removing COD and phenol from tobacco industry wastewater originating from a Wastewater Treatment Plant (WWTP) in the Pasuruan region, East Java, by varying the Fenton reagent ratio ($\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4$) and the addition of a chelating agent in the form of citric acid ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$). Prior to the electro-Fenton process, the wastewater undergoes a pretreatment stage consisting of presedimentation and aeration to reduce the pollutant load before the main process. This study was conducted using an acrylic electro-Fenton reactor with iron electrodes (1 anode and 1 cathode), varying the Fenton reagent ratios (10:0.1 and 10:0.3), chelating agent ratios (0, 1:2, and 1:5), and contact times (30, 60, 90, 120, 150 minutes). Cigarette industry wastewater has a COD concentration of 1,600 mg/L and a phenol concentration of 1.66 mg/L. This study concluded that the electro-Fenton process with the addition of a chelating agent effectively improves the removal efficiency of COD and phenol.

Keywords: electro-Fenton, COD, Phenol, Chelating Agent, Citric Acid