

**PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI TEKSTIL MENGGUNAKAN KOMBINASI
METODE ELEKTROOKSIDASI DAN FITOREMEDIASI DENGAN SISTEM
KONTINYU UNTUK MENGURANGI KERUGIAN LINGKUNGAN HIDUP**

DISERTASI

**Disusun untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Mencapai Derajat Doktor
Program Studi Ilmu Lingkungan
Minat Utama Pengelolaan Air Tawar**






**Oleh
SUSENO
T721208004**

**PROGRAM DOKTOR ILMU LINGKUNGAN
PASCASARJANA
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2019**

**PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI TEKSTIL MENGGUNAKAN KOMBINASI
METODE ELEKTROOKSIDASI DAN FITOREMEDIASI DENGAN SISTEM
KONTINYU UNTUK MENGURANGI KERUGIAN LINGKUNGAN HIDUP**

DISERTASI

	Oleh		
	Suseno		
	T721208004		
Komisi Promotor	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Promotor	Prof. Dr. rer.nat. Sajidan, M.Si. NIP 196604151991031002	
Ko-Promotor I	Dr. M. Masykuri, M.Si. NIP 196811241994031001	
Ko-Promotor II	Dr. Prabang Setyono, M.Si. NIP 197205241999031002	

Telah dinyatakan memenuhi syarat

pada tanggal

Kepala Program Doktor Ilmu Lingkungan
Pascasarjana UNS




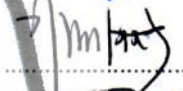

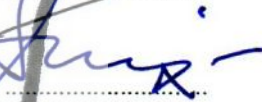




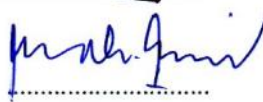
(Prof. Drs. Suranto, M.Sc., Ph.D.)
NIP. 195708201985031004

**PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI TEKSTIL MENGGUNAKAN KOMBINASI
METODE ELEKTROOKSIDASI DAN FITOREMEDIASI DENGAN SISTEM
KONTINYU UNTUK MENGURANGI KERUGIAN LINGKUNGAN HIDUP**

DISERTASI

**Oleh
Suseno
T721208004**

Tim Penguji

Jabatan	Nama Terang	Tanda Tangan
Ketua	Prof. Dr. Ir. Ahmad Yunus, MS. NIP. 196107171986011001	
Sekretaris	Prof. Drs. Sutarno, M.Sc., Ph.D. NIP. 196008091986121001	
Anggota	Prof. Drs. Suranto, M.Sc., Ph.D. NIP. 195708201985031004	
	Prof. Dr. rer. nat. Sajidan, M.Si. NIP. 196604151991031002	
	Dr. M. Masykuri, M.Si. NIP. 196811241994031001	
	Dr. Prabang Setyono, M.Si. NIP. 197205241999031002	
	Prof. Dr. Ashadi NIP. 195101021975011001	
	Prof. Dr. Ir. MTh. Sri Budiastuti, M.Si. NIP. 195912051985032001	
	Prof. Dr. agr. Mohamad Amin, S.Pd. M.Si. NIP. 196701191992031002	

**Telah dipertahankan di depan penguji pada Sidang Senat Terbuka Terbatas
dan dinyatakan lulus pada tanggal 07 Agustus 2019**

Mengetahui
Universitas Sebelas Maret
Rektor,



Prof. Dr. Jamal Wiwoho, SH., M.Hum
REKTOR NIP. 196111081987021001

PERNYATAAN KEASLIAN DAN PERSYARATAN PUBLIKASI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa:

1. Disertasi yang berjudul: **“Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi Dengan Sistem Kontinyu Untuk Mengurangi Kerugian Lingkungan Hidup”** ini adalah karya penelitian saya sendiri dan tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik serta tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang tertulis dengan acuan yang disebutkan sumbernya, baik dalam naskah karangan dan daftar pustaka. Apabila ternyata di dalam naskah disertasi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi, baik disertasi beserta gelar doktor saya dibatalkan serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.
2. Publikasi sebagian atau keseluruhan isi disertasi pada jurnal atau forum ilmiah harus menyertakan tim promotor sebagai *author* dan PPs UNS sebagai institusinya. Apabila saya melakukan pelanggaran dari ketentuan publikasi ini, maka saya bersedia mendapatkan sanksi akademik yang berlaku.

Surakarta, Agustus 2019



Suseno
T721208004

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa., karena berkat rahmatNya penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan disertasi dengan judul “Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu untuk Mengurangi Kerugian Lingkungan Hidup”. Dalam penelitian dan penyusunan disertasi ini penulis mendapat bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan terimakasih kepada :

1. Prof. Dr. Jamal Wiwoho, SH. M.Hum., Rektor Universitas Sebelas Maret yang telah memberikan kesempatan menyelesaikan studi program doktor Program Studi Ilmu Lingkungan Pascasarjana Universitas Sebelas Maret Surakarta.
2. Prof. Drs. Sutarno, M.Sc., Ph.D., Direktur Pascasarjana Universitas Sebelas Maret yang telah memberikan kesempatan menyelesaikan studi program doktor Program Studi Ilmu Lingkungan Pascasarjana Universitas Sebelas Maret Surakarta.
3. Prof. Drs. Suranto, M.Sc., Ph.D., Kepala Program Studi S3 Ilmu Lingkungan Pascasarjana Universitas Sebelas Maret yang telah memberikan kesempatan menyelesaikan studi program doktor Program Studi Ilmu Lingkungan Pascasarjana Universitas Sebelas Maret Surakarta.
4. Prof. Dr. rer.nat. Sajidan, M.Si, selaku promotor yang telah membimbing sampai terselesaikannya disertasi ini.
5. Dr. M. Masykuri, M.Si., selaku ko-promotor I yang telah membimbing sampai terselesaikannya disertasi ini.
6. Dr. Prabang Setyono, M.Si., selaku ko-promotor II yang telah membimbing sampai terselesaikannya disertasi ini.
7. Prof. Dr. Ir. Ahmad Yunus, MS., selaku penguji yang telah memberikan saran untuk lebih baiknya disertasi ini.

8. Prof. Dr. Ir. MTh. Sri Budiastuti, M.Si., selaku penguji yang telah memberikan saran untuk lebih baiknya disertasi ini.
9. Prof. Dr. Ashadi, selaku penguji yang telah memberikan saran untuk lebih baiknya disertasi ini.
10. Prof. Dr. agr. Mohamad Amin, S.Pd. M.Si., selaku penguji yang telah memberikan saran untuk lebih baiknya disertasi ini.
11. Yayasan Pendidikan Setia Budi Surakarta yang telah memberikan biaya pendidikan program doktor di Program Studi Ilmu Lingkungan Pascasarjana Universitas Sebelas Maret Surakarta.
12. Dr. Ir. Djoni Tarigan, MBA., Rektor Universitas Setia Budi Surakarta yang telah memberi ijin dan kesempatan untuk studi lanjut program doktor di Program Studi Ilmu Lingkungan Pascasarjana Universitas Sebelas Maret Surakarta.
13. Istri dan anak-anak yang telah mendorong dan mendoakan sepenuh hati dalam menyelesaikan studi S3.

Semoga karya disertasi ini memberikan manfaat yang besar bagi dunia ilmu pengetahuan dan pendidikan.

Surakarta, Agustus 2019

Penulis

Suseno

RINGKASAN DISERTASI

Suseno. T721208004. 2019. Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi Dengan Sistem Kontinyu Untuk Mengurangi Kerugian Lingkungan Hidup. Disertasi. Program Doktor Ilmu Lingkungan Pascasarjana Universitas Sebelas Maret. Promotor: Prof. Dr. rer.nat. Sajidan, M.Si. Ko-promotor I : Dr. Mohammad Masykuri, M.Si. Ko-promotor II : Dr. Prabang Setyono, M.Si.

Industri tekstil mempunyai dampak positif dan negatif, salah satu dampak positif keberadaan industri tekstil adalah bisa menyerap tenaga kerja, sedangkan dampak negatif keberadaan industri tekstil adalah menghasilkan limbah yang berbahaya bagi lingkungan. Salah satu jenis limbah yang dihasilkan oleh industri tekstil adalah air limbah.

Metode pengolahan air limbah yang selama ini digunakan mempunyai beberapa kelemahan, misalnya suatu metode justru menghasilkan limbah baru yang memerlukan pengolahan lanjutan. Oleh sebab itu diperlukan suatu upaya untuk mendapatkan metode baru yang bisa memperbaiki kelemahan tersebut melalui kombinasi metode elektrooksidasi dan fitoremediasi.

Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan model instalasi pengolahan air limbah industri tekstil menggunakan kombinasi metode elektrooksidasi dan fitoremediasi dengan sistem kontinyu beserta keefektifannya dalam mengolah air limbah industri tekstil. Disamping itu juga untuk mendapatkan angka pengurangan kerugian lingkungan hidup yang merupakan nilai tambah lingkungan dari model instalasi pengolahan air limbah industri tekstil tersebut.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen laboratorium dengan cara melakukan pengolahan air limbah industri tekstil artifisial maupun air limbah industri tekstil (air limbah industri batik) menggunakan kombinasi metode elektrooksidasi dan fitoremediasi dengan sistem kontinyu. Metode elektrooksidasi menggunakan elektroda dari bahan grafit, baterai bekas dan metode fitoremediasi menggunakan tanaman mendong (*Fimbristylis globulosa*).

Eksperimen pengolahan air limbah ini didahului oleh penentuan kondisi optimum metode elektrooksidasi yang meliputi konsentrasi NaCl, waktu proses, laju alir air limbah dan tegangan listrik. Parameter yang diperiksa dalam penentuan kondisi optimum adalah intensitas warna / absorbansi menggunakan alat spektrofotometer UV-Vis. Eksperimen selanjutnya adalah menentukan keefektifan metode elektrooksidasi, fitoremediasi serta kombinasi metode elektrooksidasi dan fitoremediasi dalam pengolahan air limbah industri tekstil. Pada eksperimen ini dilakukan pengolahan air limbah industri tekstil artifisial menggunakan tiga macam metode tersebut dengan parameter yang diukur adalah absorbansi, BOD, COD, konsentrasi logam krom total dan logam krom heksa valen (Cr(VI)). Absorbansi dan kadar logam Cr (VI) maupun Cr (total) ditentukan menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis, sedangkan penentuan BOD dan COD menggunakan metode titrasi redoks. Pada tahap ini juga dilakukan analisis konsentrasi logam Cr (VI) pada daun dan akar mendong serta pada tanah bekas bejana fitoremediasi.

Eksperimen pengolahan air limbah industri batik menggunakan kombinasi metode elektrooksidasi dan fitoremediasi dilakukan pada kondisi optimum meliputi konsentrasi NaCl dalam air limbah (berperan sebagai zat elektrolit), waktu proses, laju alir dan tegangan listrik.

Kondisi optimum konsentrasi NaCl, laju alir dan tegangan listrik mengikuti kondisi optimum metode elektrooksidasi yang telah ditentukan sebelumnya sedangkan waktu proses ditentukan sendiri dengan kombinasi metode elektrooksidasi dan fitoremediasi. Angka pengurangan kerugian lingkungan dari kombinasi metode elektrooksidasi dan fitoremediasi ditentukan berdasarkan selisih angka BOD, COD dan konsentrasi logam krom total (Cr (total)) sebelum dan sesudah pengolahan serta mengacu pada baku mutu air limbah industri tekstil dan batik menurut peraturan Peraturan Daerah Provinsi Jawa tengah No. 5 tahun 2012.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum metode kombinasi elektrooksidasi dan fitoremediasi ditinjau dari konsentrasi NaCl, waktu proses, laju alir dan tegangan listrik adalah 1,202 % b/v, 50 menit, 0,5 liter per menit (LPM) dan 12 volt. Keefektifan kombinasi metode elektrooksidasi dan fitoremediasi pada pengolahan air limbah industri tekstil khususnya industri batik ditunjukkan oleh keefektifannya dalam menurunkan harga parameter mutu limbah yang meliputi intensitas warna, COD, BOD serta konsentrasi logam Cr (total) yaitu sebesar 90,39 %, 86,86, 58,10 %, dan 12,33 %. Kapasitas kombinasi metode elektrooksidasi dan fitoremediasi adalah sebesar 30 liter per jam, angka ini didapatkan dari data laju alir optimum yaitu 0,5 LPM. Angka penurunan kerugian lingkungan hidup dari kombinasi metode elektrooksidasi dan fitoremediasi adalah sebesar Rp. 247.090.000,-, angka tersebut didapatkan dengan asumsi banyaknya air limbah yang dihasilkan sebesar 25 m³/jam dengan proses produksi selama 10 tahun.

Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa model instalasi pengolahan air limbah dengan kombinasi metode elektrooksidasi dan fitoremediasi bisa digunakan sebagai alternatif pengolahan air limbah industri tekstil karena dapat menurunkan parameter air limbah yang berhubungan dengan konsentrasi zat pencemar. Kapasitas model instalasi pengolahan air limbah kombinasi metode elektrooksidasi dan fitoremediasi hasil penelitian ini adalah sebesar 30 liter per jam, namun model ini dapat diperbesar skalanya jika akan digunakan pada industri tekstil yang kapasitas pembuangan air limbahnya lebih besar dari 30 liter per jam.

Model instalasi pengolahan air limbah industri tekstil hasil penelitian ini dapat diterapkan pada industri tekstil dan keberlanjutannya dapat dipertahankan. Hal itu disebabkan karena elektroda grafit dan tanaman mendong dapat digunakan dalam jangka waktu sampai 6 bulan tanpa penggantian elektroda grafit maupun tanaman mendong, disamping itu regenerasi elektroda grafit dan tanaman mendong tidak memerlukan biaya yang tinggi karena elektroda grafit menggunakan grafit dari baterai bekas dan tanaman mendong dapat dibudidayakan dengan mudah dan murah.

DISSERTATION SUMMARY

Suseno. T721208004. 2019. Textile Wastewater Treatment Using a Combination of Electrooxidation and Phytoremediation Methods with Continuous Systems to Reduce Environmental Losses. Dissertation. Doctoral Program in Environmental Sciences Postgraduate of Universitas Sebelas Maret. Promoter: Prof. Dr. rer.nat. Sajidan, M.Si. First co-promoter : Dr. Mohammad Masykuri, M.Si. Second co-promoter : Dr. Prabang Setyono, M.Si.

The textile industry has a positive and negative impact, one of the positive impact of textile industry is that it can absorb labor, while the negative impact is that it can produce waste that is harmful to the environment. One type of waste produced by the textile industry is wastewater.

The wastewater treatment method that has been used has several disadvantages, for example a method produces new waste that requires further processing. Therefore an effort is needed to obtain a new method that can correct these weakness through combination of electrooxidation and phytoremediation methods.

The purpose of this research was to obtain a model of textile industry wastewater treatment instalation using a combination of electrooxidation and phytoremediation methods with continuous systems therewith the effectiveness and optimum condition of their operation in treating textile industry wastewater. Besides that, it is also to get value of decreasing environmental losses from that textile industry wastewater treatment instalation model.

This research uses a laboratory experiment method by treating artificial textile industry wastewater as well as textile industry wastewater (batik industrial wastewater) using a combination of electrooxidation and phytoremediation methods with continuous systems. The electrooxidation method was carried out using graphite electrodes from used batteries and the phytoremediation method used mendong plants (*Fimbristylis globulosa*)..

The wastewater treatment experiment in this research was preceded by the determination of the optimum conditions of the electrooxidation method which included NaCl concentration, process time, wastewater flow rate and electricity voltage. Parameters examined in determining optimum conditions is color intensity or absorbance using the UV-Vis spectrophotometry method. The next experiment was determine the effectiveness of the electrooxidation, phytoremediation and the combination of electrooxidation and phytoremediation methods in the textile industry wastewater treatment. In this experiment the artificial textile industry wastewater was processed using these three methods and the parameters measured were absorbance, BOD, COD, concentration of total chrome and heksavalent chrome (Cr (VI)) . The absorbance, concentration of Cr (VI) and total chrome were determined using the UV-Vis spectrophotometry method, while the determination of BOD and COD used the redox titration method. At this stage an analysis of the concentration of Cr (VI) on the leaves and roots of the mendong was carried out, as well as in the former phytoremediation vessel.

The batik industry wastewater treatment experiments using a combination of electrooxidation and phytoremediation methods carried out under optimum conditions include NaCl concentrations in wastewater (acting as electrolyte substances), processing time, flow rate and voltage. The optimum conditions of NaCl concentration, flow rate and voltage were taken from the optimum conditions of electrooxidation method while the process time was determined by a combination of electrooxidation and phytoremediation methods. The rate of reduction in environmental losses from a combination of electrooxidation and phytoremediation methods is

determined based on the difference in BOD, COD and concentration of chrome metal (total Cr) before and after processing and refers to the textile and batik industry wastewater standards according to Central Java Provincial Regulation No. 5 of 2012.

The results showed that the optimum conditions of the combination of electrooxidation and phytoremediation method in terms of NaCl concentration, processing time, flow rate and electric voltage were 1.202 % b/v, 60 minutes, 0.5 liters per minute (LPM) and 12 volts. The effectiveness of the combination of electrooxidation and phytoremediation methods in the processing of textile industry wastewater especially the batik industry is shown by its effectiveness in reducing the waste quality parameters which include color intensity, COD, BOD and Cr (total) metal concentration of 90.39%, 86.86%, 58.10% , and 12.33%. The capacity of a combination of electrooxidation and phytoremediation methods is 30 liters per hour, this result is obtained from the optimum flow rate data of 0.5 LPM. The rate of reduction in environmental losses from a combination of electrooxidation and phytoremediation methods is Rp. 247,090,000, -, this result was obtained assuming the amount of waste water disposed to the environment was 25 m³ / hour with a production process for 10 years.

Based on the results of these research it can be concluded that the model of wastewater treatment instalation using a combination of electrooxidation and phytoremediation methods can be used as an alternative to textile industry wastewater treatment because it can reduce wastewater parameters value. The capacity of the wastewater treatment instalation model using a combination of electrooxidation and phytoremediation methods result from this research is 30 liters per hour, but this model can be scaled up if it will be used in the textile industry whose wastewater disposal capacity is greater than 30 liters per hour.

The textile industry wastewater treatment plant model results of this study can be applied to the textile industry and its sustainability can be maintained. That is because graphite electrodes and mendong plants can be used for a period of up to 6 months without the replacement of graphite electrodes or mendong plants, besides that regeneration of graphite electrodes and mendong plants does not require high costs because graphite electrodes use graphite from used batteries and mendong plants can be cultivated easily and cheaply.

DAFTAR ISI

	Hal
LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN DAN PERSYARATAN PUBLIKASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
RINGKASAN DISERTASI	vi
DISSERTATION SUMMARY	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Keaslian Penelitian	6
C. Rumusan Masalah	8
D. Tujuan Penelitian	8
E. Manfaat Penelitian	9
BAB II. LANDASAN TEORI	
A. Tinjauan Pustaka	10
B. Kesesuaian Penelitian dengan Asas Ilmu Lingkungan	25
C. Hubungan Penelitian dengan Aspek Lingkungan Hidup	26
D. Kerangka Berpikir	26
E. Hipotesis	29
BAB III. METODE PENELITIAN	
A. Tempat Penelitian	30
B. Tata Laksana Penelitian	30

BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Desain Model Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	38
B. Model Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	41
C. Penentuan Kondisi Optimum Metode Elektrooksidasi dengan Sistem Kontinyu	43
D. Penentuan Keefektifan Metode Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Mendong dengan Sistem Kontinyu untuk Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Artifisial	50
E. Penentuan Keefektifan Metode Elektrooksidasi dengan Sistem Kontinyu untuk Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Artifisial	56
F. Penentuan Keefektifan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi Sistem Kontinyu Untuk Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Artifisial	62
G. Penentuan Keefektifan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi Sistem Kontinyu pada Pengolahan Air Limbah Industri Batik	76
H. Perbandingan Keefektifan Metode Elektrooksidasi, Fitoremediasi serta Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi pada Pengolahan Air Limbah	78
I. Penghitungan Kerugian Lingkungan	91
J. Aplikasi dan Keberlanjutan	93
K. Keterbatasan Penelitian	94
L. Kebaruan dan Luaran Penelitian	95
BAB V. SIMPULAN DAN SARAN	97
DAFTAR PUBLIKASI	99
DAFTAR PUSTAKA	100
LAMPIRAN	106

DAFTAR TABEL

	Hal.
Tabel 1. Baku Mutu Air Limbah Industri Tekstil dan Batik	11
Tabel 2. Nilai Unit Pencemaran Untuk Berbagai Parameter Air Limbah	19
Tabel 3. Hasil Perhitungan Persentase Penurunan Absorbansi Air Limbah Industri Tekstil Artifisial Setelah Diolah menggunakan Metode Elektrooksidasi dengan Sistem Kontinyu pada Konsentrasi NaCl bervariasi	43
Tabel 4. Hasil Perhitungan Persentase Penurunan Absorbansi Air Limbah Industri Tekstil Artifisial Setelah Diolah dengan Metode Elektrooksidasi dengan Sistem Kontinyu pada Waktu Proses Bervariasi	45
Tabel 5. Hasil Perhitungan Persentase Penurunan Absorbansi Air Limbah Industri Tekstil Artifisial Setelah Diolah menggunakan Metode Elektrooksidasi dengan Sistem Kontinyu pada Laju Alir Bervariasi	47
Tabel 6. Hasil Perhitungan Persentase Penurunan Absorbansi Air Limbah Industri Tekstil Artifisial Setelah Diolah menggunakan Metode Elektrooksidasi dengan Sistem Kontinyu pada Tegangan listrik Bervariasi	48
Tabel 7. Hasil Absorbansi Air Limbah Industri Tekstil Artifisial Setelah Pengolahan menggunakan Metode Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu pada Waktu Proses Bervariasi	50
Tabel 8. Hasil Perhitungan BOD Air Limbah Industri Tekstil Artifisial Setelah Pengolahan menggunakan Metode Fitoremediasi Sistem Kontinyu pada Waktu Proses Bervariasi	52
Tabel 9. Hasil Perhitungan COD Air Limbah Tekstil Artifisial Setelah Pengolahan menggunakan Metode Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu pada Waktu Proses Bervariasi	53
Tabel 10. Hasil Perhitungan Persentase Penurunan Cr (VI) Air Limbah Tekstil Artifisial Setelah Pengolahan menggunakan Metode Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu pada Waktu Proses Bervariasi	55
Tabel 11. Hasil Perhitungan Persentase Penurunan BOD Air Limbah Industri Tekstil Artifisial Setelah Pengolahan menggunakan Metode Elektrooksidasi dengan Sistem Kontinyu pada Waktu Proses Bervariasi	57
Tabel 12. Hasil Perhitungan Persentase Penurunan COD Air Limbah Industri Tekstil Artifisial Setelah Pengolahan menggunakan Metode Elektrooksidasi dengan Sistem Kontinyu pada Waktu Proses Bervariasi	59

Tabel 13	Hasil Perhitungan Persentase Penurunan Cr (VI) Air Limbah Industri Tekstil Artifisial Sebelum dan Setelah Pengolahan menggunakan Metode Elektrooksidasi dengan Sistem Kontinyu pada Waktu Proses Bervariasi	61
Tabel 14	Hasil Perhitungan Persentase Penurunan Absorbansi Air Limbah Industri Tekstil Artifisial Setelah Pengolahan menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	63
Tabel 15	Hasil Perhitungan Persentase Penurunan BOD Air Limbah Industri Tekstil Artifisial Setelah Pengolahan menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	65
Tabel 16	Hasil Perhitungan Persentase Penurunan COD Air Limbah Industri Tekstil Artifisial Setelah Pengolahan menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	67
Tabel 17	Hasil Perhitungan Konsentrasi Cr (VI) Air Limbah Industri Tekstil Artifisial Setelah Pengolahan menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	69
Tabel 18	Hasil Perhitungan Konsentrasi Cr total Air Limbah Industri Tekstil Artifisial Setelah Pengolahan menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu.	71
Tabel 19	Konsentrasi Cr(VI) Daun Mendong pada Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Artifisial menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	73
Tabel 20	Konsentrasi Cr(VI) Akar Mendong pada Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Artifisial menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	74
Tabel 21	Konsentrasi Cr(VI) Tanah Bejana Fitoremediasi pada Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Artifisial menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	75
Tabel 22	Perbandingan Keefektifan Metode Elektrooksidasi, Fitoremediasi serta Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu dalam Menurunkan Beberapa Parameter Mutu Air Limbah	78
Tabel 23	Hasil Perhitungan Persentase Penurunan Absorbansi Air Limbah Industri Batik Setelah Pengolahan menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	79
Tabel 24	Hasil Perhitungan Persentase Penurunan BOD Air Limbah Industri Batik Setelah Pengolahan menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	81

Tabel 25	Hasil Perhitungan Persentase Penurunan COD Air Limbah Batik Setelah Pengolahan menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	83
Tabel 26	Hasil Perhitungan Konsentrasi Cr (VI) Air Limbah Industri Batik Setelah Pengolahan menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	85
Tabel 27	Hasil Perhitungan Konsentrasi Cr total Air Limbah Industri Batik Setelah Pengolahan menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	87
Tabel 28	Peningkatan keefektifan metode elektrooksidasi dan fitoremediasi karena penggabungan metode	90



DAFTAR GAMBAR

	Hal.
Gambar 1. Tanaman Mendong	16
Gambar 2. Skema Kerangka Berpikir	28
Gambar 3. Desain Alat Elektrooksidasi	38
Gambar 4. Konstruksi Elektroda Grafit	39
Gambar 5. Tampak Depan Susunan Elektroda Grafit	39
Gambar 6. Tampak Samping Susunan Elektroda Grafit	39
Gambar 7. Desain Alat Fitoremediasi dan Bagian – Bagiannya	40
Gambar 8. Desain Alat Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi	40
Gambar 9. Diagram Alir Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	41
Gambar 10 Model Instalasi Pengolahan Air Limbah Menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	41
Gambar 11 Bagian-bagian Model instalasi pengolahan air limbah menggunakan kombinasi metode elektrooksidasi dan fitoremediasi dengan sistem kontinyu	42
Gambar 12 Hubungan Konsentrasi NaCl dan Penurunan Absorbansi pada Penentuan Konsentrasi NaCl Optimum Metode Elektrooksidasi dengan Sistem Kontinyu	43
Gambar 13 Hubungan Waktu Proses dan Penurunan Absorbansi pada Penentuan Waktu Proses Optimum Metode Elektrooksidasi dengan Sistem Kontinyu	45
Gambar 14 Hubungan Laju Alir dan Penurunan Absorbansi pada Penentuan Laju Alir Optimum Metode Elektrooksidasi dengan Sistem Kontinyu	47
Gambar 15 Hubungan Tegangan Listrik dan Penurunan Absorbansi pada Penentuan Tegangan Listrik Optimum Metode Elektrooksidasi dengan Sistem Kontinyu	49
Gambar 16 Hubungan Waktu Proses dan Absorbansi pada Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Artifisial menggunakan Metode Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	51

Gambar 17	Hubungan Waktu Proses dan BOD pada Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Artifisial menggunakan Metode Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	52
Gambar 18	Hubungan Waktu Proses dan COD pada Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Artifisial menggunakan Metode Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	54
Gambar 19	Hubungan Waktu Proses dan Konsentrasi Cr (VI) pada Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Artifisial menggunakan Metode Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	55
Gambar 20	Hubungan Waktu Proses dan Penurunan BOD pada Pengolahan Air Limbah industri Tekstil Artifisial menggunakan Metode Elektro-oksidasasi dengan Sistem Kontinyu	57
Gambar 21	Hubungan Waktu Proses dan Penurunan COD pada Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Artifisial menggunakan Metode Elektro-oksidasasi dengan Sistem Kontinyu	59
Gambar 22	Hubungan Waktu Proses dan Penurunan Absorbansi pada Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Artifisial menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	63
Gambar 23	Hubungan Waktu Proses dan Penurunan BOD pada Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Artifisial menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	65
Gambar 24	Hubungan Waktu Proses dan Penurunan COD pada Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Artifisial menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	67
Gambar 25	Hubungan Waktu Proses dan Konsentrasi Cr (VI) pada Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Artifisial menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	69
Gambar 26	Hubungan Waktu Proses dan Konsentrasi Cr (total) pada Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Artifisial menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	71
Gambar 27	Hubungan Waktu Proses dan Konsentrasi Cr(VI) Daun Mendong pada Pengolahan Air Limbah Idustri Tekstil Artifisial menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	73
Gambar 28	Hubungan Waktu Proses dan Konsentrasi Cr(VI) Akar Mendong pada Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Artifisial menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	74

Gambar 29	Hubungan Waktu Proses dan Konsentrasi Cr(VI) Tanah Bejana Fitoremediasi pada Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Artifisial menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	75
Gambar 30	Hubungan Metode Pengolahan dan Harga BOD Air Limbah Artifisial	77
Gambar 31	Hubungan Metode Pengolahan dan Harga COD Air Limbah	77
Gambar 32	Hubungan Metode Pengolahan dan Konsentrasi Cr Air Limbah	77
Gambar 33	Hubungan Waktu Proses dan Penurunan Absorbansi Air Limbah Industri Batik pada Pengolahan menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	79
Gambar 34	Hubungan Waktu Proses dan Penurunan BOD Air Limbah Industri Batik pada Pengolahan menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	81
Gambar 35	Hubungan Waktu Proses dan Penurunan COD Air Limbah Industri Batik pada Pengolahan menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	83
Gambar 36	Hubungan Waktu Proses dan Konsentrasi Cr (VI) Air Limbah Industri Batik pada Pengolahan menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	85
Gambar 37	Hubungan Waktu Proses dan Konsentrasi Cr (total) Air Limbah Industri Batik pada Pengolahan menggunakan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu	87

DAFTAR LAMPIRAN

	Hal
Lampiran 1. Data Penimbangan dan Perhitungan Pembuatan Air Limbah Artifisial	106
Lampiran 2. Hasil Penelitian Penentuan Konsentrasi NaCl Optimum pada Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Artifisial menggunakan Metode Elektrooksidasi dengan Sistem Kontinyu	111
Lampiran 3. Hasil Penelitian Penentuan Waktu Proses, Laju Alir dan Tegangan Listrik Optimum untuk Metode Elektrooksidasi dengan Sistem Kontinyu	112
Lampiran 4. Hasil Penelitian Penentuan Keefektifan Metode Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu untuk Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Artifisial	114
Lampiran 5. Hasil Penelitian Penentuan Keefektifan Metode Elektrooksidasi dengan Sistem Kontinyu untuk Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Artifisial	118
Lampiran 6. Hasil Penelitian Penentuan Keefektifan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu untuk Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Artifisial	120
Lampiran 7. Hasil Penelitian Penentuan Keefektifan Kombinasi Metode Elektrooksidasi dan Fitoremediasi dengan Sistem Kontinyu untuk Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Sebenarnya (industri batik)	124
Lampiran 8. Publikasi	128

BAB I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Industri Tekstil di Indonesia semakin berkembang, hal itu ditunjukkan oleh meningkatnya produksi dan investasi. Perkembangan tersebut berdampak positif terhadap penyerapan tenaga kerja dan pendapatan. Data dari kementerian perindustrian menunjukkan bahwa sampai kuartal II 2015 sektor industri ini bisa menyerap 10,6% total tenaga kerja di bidang manufaktur dan nilai eksportnya mencapai 12,7 miliar dolar AS per tahun (Republika, Senin 12 Oktober 2015).

Dibalik dampak positif keberadaan industri tekstil terdapat bahaya yang mengancam yaitu dihasilkannya limbah yang dapat mengganggu lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Salah satu jenis limbah yang dihasilkan oleh industri tekstil adalah air limbah. Air limbah adalah sisa dari suatu usaha dan/atau kegiatan yang berwujud cair (Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012). Air limbah industri tekstil pada umumnya mengandung beberapa bahan pencemar, antara lain adalah asam, basa, padatan terlarut, logam berat, senyawa beracun dan zat warna. Bahan-bahan pencemar tersebut termasuk bahan yang berbahaya karena bisa menyebabkan gangguan kesehatan misalnya alergi, gangguan pencernaan, gangguan fungsi ginjal, gangguan fungsi hati, kanker, serta melemahnya ketahanan tubuh dari serangan penyakit (Khandegar dan Saroha, 2013).

Zat warna yang paling populer digunakan dalam pewarnaan tekstil adalah zat warna sintesis golongan reaktif, hal itu disebabkan karena sangat larut dalam air, mempunyai kecerahan warna dan ketahanan luntur yang baik serta mudah diaplikasikan (Lewis *et al.*, 2008). Zat warna reaktif termasuk golongan zat warna azo dimana gugus kromofornya mengandung ikatan azo ($-N=N-$). Senyawa ini bersifat racun dan resisten terhadap degradasi biologis dalam kondisi aerobik, sehingga jika dibuang ke lingkungan misalnya sungai, senyawa ini sulit terdegradasi oleh proses biodegradasi alami, dimana proses biodegradasi alami ini terjadi pada kondisi aerob (Kusmierek *et al.*, 2011).

Mengingat zat warna reaktif terdapat dalam air limbah industri tekstil dengan sifatnya yang sangat larut dalam air, beracun dan sulit terdegradasi oleh proses biodegradasi alami, maka air limbah industri tekstil dapat disebut sebagai bahan yang membahayakan lingkungan. Oleh karena itu air limbah industri tekstil harus diolah dengan metode yang baik dan tepat sebelum dibuang. Pengolahan air limbah industri tekstil dapat dilakukan dengan berbagai macam metode, antara lain

metode fisika, fisikokimia dan biologi. Metode fisika misalnya filtrasi dan adsorpsi dapat digunakan untuk menghilangkan bahan pencemar pada air limbah, namun mempunyai kelemahan yaitu dibutuhkan biaya yang mahal. Hal itu disebabkan karena pada metode tersebut perlu dilakukan proses regenerasi terhadap material filter maupun adsorben. Selain itu metode tersebut pada prinsipnya hanyalah perubahan fasa bahan pencemar dari fasa cair (dalam bentuk larutan) menjadi fasa padat yang terikat pada material filter atau adsorben dan tidak terjadi degradasi bahan pencemar (Fourcade *et al.*, 2013).

Metode fisikokimia misalnya koagulasi menggunakan bahan kimia juga dapat digunakan untuk menghilangkan bahan pencemar pada air limbah industri tekstil, namun mempunyai kelemahan yaitu akan dihasilkan lumpur yang mengandung bahan pencemar maupun material koagulan yang memerlukan perlakuan lebih lanjut (Kariyajjanavar *et al.*, 2010).

Metode biologi khususnya mikrobiologi juga dapat digunakan untuk menghilangkan bahan pencemar pada air limbah industri tekstil. Metode tersebut menarik karena penghilangan bahan pencemar dengan metode mikrobiologi tidak hanya melokalisir bahan pencemar seperti pada metode fisika dan fisikokimia, tetapi terjadi proses degradasi bahan pencemar misalnya zat warna menjadi molekul yang lebih sederhana. Namun demikian metode ini mempunyai kelemahan, antara lain adalah efisiensinya rendah untuk zat warna reaktif dengan ikatan (-N=N-) dalam kondisi aerobik, disamping itu proses pengolahannya memerlukan waktu yang lama (Aquino *et al.*, 2010). Kelemahan lainnya adalah bahwa metode mikrobiologi jika dilakukan pada kondisi tidak aerobik degradasi senyawa azo akan menghasilkan senyawa amina aromatis yang lebih beracun daripada zat warna itu sendiri (Fourcade *et al.*, 2013). Penelitian tentang metode pengolahan air limbah industri tekstil terus dilakukan, misalnya adalah metode elektrokimia khususnya elektrooksidasi seperti yang telah dilaporkan oleh Bensalah dan Abdel-Wahab (2010), Fadhil (2011), Gomes *et al.* (2011), Jovi *et al.* (2013), Kariyajjanavar *et al.* (2011), Kusmierek *et al.* (2011), Méndez-Martínez *et al.* (2012), Uliana *et al.* (2012), Canan *et al.* (2013), Khandegar dan Saroha (2013), Azarian *et al.* (2014), Bazrafshan dan Mahvi (2014), El-Sayed *et al.* (2014), Roopashree dan Lokesh (2014), Rao *et al.* (2014), Sürme *et al.* (2014), Tyagi *et al.* (2014), Zhang *et al.* (2014) serta Alizadeh *et al.* (2015). Secara garis besar hasil penelitian - penelitian tersebut menunjukkan bahwa metode elektrooksidasi dapat digunakan untuk mengolah air limbah industri tekstil. Metode elektrooksidasi mempunyai keunggulan dibandingkan dengan metode – metode

yang lain, yaitu lebih ekonomis karena hanya menggunakan sedikit waktu dan bahan kimia serta tidak menghasilkan lumpur yang memerlukan perlakuan lebih lanjut (Gosavi dan Sharma, 2014). Keunggulan lain dari metode elektrooksidasi adalah bahwa proses ini dapat menguraikan zat warna menjadi senyawa yang lebih sederhana (Uliana *et al.*, 2012). Namun demikian metode elektrooksidasi tidak efektif dalam menurunkan konsentrasi logam berat pada air limbah.

Penelitian lain tentang pengolahan air limbah yang masih terus dilakukan adalah penelitian yang melibatkan metode biologi khususnya metode fitoremediasi menggunakan tanaman mendong (*Fimbristylis globulosa*). Para peneliti yang pernah melaporkan hasil penelitiannya tentang tanaman mendong antara lain adalah : Yusuf (2008), Dewi (2009), Sa'ad *et al.* (2011), Prasetya dan Retnaningsih (2013), Purwadinata dan Sutrisno (2013), Zaman *et al.* (2013), Ayu (2014), Rizwana *et al.* (2014), Zaman *et al.* (2014), Mufarida dan Arisoesilaningih (2015). Secara garis besar hasil penelitian mereka menyatakan bahwa tanaman mendong berpotensi digunakan sebagai tanaman dalam metode fitoremediasi. Pernyataan tersebut didasarkan pada hasil penelitian bahwa tanaman mendong mempunyai nilai bioakumulator lebih besar dari 1, dapat meningkatkan kualitas limbah rumah tangga, dapat menyerap logam Cd dari tanah tercemar Cd, mempunyai tingkat keberhasilan hidup yang tinggi, dapat menurunkan konsentrasi amonium dalam limbah, dapat meningkatkan kualitas air irigasi dengan menurunkan harga TDS, angka KMnO₄, konsentrasi ortofosfat dan konsentrasi amonium.

Metode fitoremediasi menggunakan tanaman mendong mempunyai banyak keuntungan, antara lain bahwa tanaman mendong yang sudah digunakan untuk proses fitoremediasi dapat digunakan sebagai bahan membuat kerajinan anyawan, tidak terlalu cepat perkembangannya sehingga resiko mengganggu lingkungan (sebagai gulma) lebih kecil, tidak banyak hama yang mengganggu dan waktu panen yang singkat. Namun demikian metode fitoremediasi ini juga ada kelemahannya yaitu bahwa secara umum dalam proses pengolahan limbah diperlukan waktu yang lama.

Berdasarkan keunggulan dan kelemahan metode elektrooksidasi serta metode fitoremediasi, maka penulis berinisiatif menggabungkan / mengkombinasikan dua metode tersebut dengan harapan kekurangan satu metode dapat diperbaiki oleh kelebihan metode yang lain. Dalam hal ini kelemahan metode fitoremediasi yaitu diperlukannya waktu yang lama, dapat dipersingkat karena zat warna dan zat pencemar lainnya sudah lebih dahulu diolah / didegradasi dengan metode

elektrooksidasi. Disisi lain kelemahan metode elektrooksidasi yaitu tidak efektif dalam menurunkan konsentrasi logam berat, diantisipasi dengan cara diserap oleh tanaman mendong pada sistem fitoremediasi.

Pengolahan air limbah industri tekstil dengan metode elektrooksidasi maupun fitoremediasi yang telah dilakukan peneliti sebelumnya menggunakan sistim batch (tidak kontinyu), hal ini kan menjadi tidak praktis jika diterapkan langsung pada industri tekstil, oleh sebab itu dalam penelitian yang penulis lakukan digunakan sistem kontinyu dimana air limbah mengalir sedara kontinyu ke dalam instalasi pengolahan air limbah. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian – penelitian sebelumnya adalah adanya penggabungan dua metode yaitu elektrooksidasi dengan fitoremediasi dan dengan sistem pengolahan yang kontinyu.

Model instalasi pengolahan air limbah dalam penelitian ini terdiri dari dua alat utama yaitu alat elektrooksidasi yang merupakan sel elektrokimia dan alat fitoremediasi. Model ini dirancang dengan sistem kontinyu, dalam hal ini air limbah dialirkan ke model pengolah air limbah dimulai dari alat elektrooksidasi kemudian dilanjutkan ke alat fitoremediasi, hal itu disebabkan karena air limbah industri tekstil biasanya dihasilkan dalam jumlah besar. Diperkirakan untuk menghasilkan 1 kg produk tekstil dibutuhkan air sebanyak 150 - 250 liter, hal tersebut menyebabkan pengolahan dengan sistem tidak kontinyu menjadi tidak efisien (Bansal *et al.*, 2013).

Alat elektrooksidasi pada penelitian ini menggunakan batang grafit sebagai anoda dan katoda, hal ini disebabkan dengan penggunaan batang grafit tidak dihasilkan sedimen / lumpur yang perlu perlakuan lebih lanjut. Batang grafit yang digunakan diambil dari elektroda pada baterai bekas, dengan demikian biaya untuk sel elektrokimia ini murah dan sekaligus dapat memanfaatkan limbah batu baterai. Untuk menghemat energi maka reaktor elektrooksidasi tidak menggunakan pengaduk elektrik, oleh sebab itu untuk lebih mengoptimalkan proses elektrokimia dalam alat elektrooksidasi ini digunakan beberapa pasang anoda katoda sampai memenuhi bejana alat elektrooksidasi dengan jarak antar elektroda yang optimal. Dengan menggunakan sistem seperti itu proses homogenisasi menggunakan pengaduk digantikan oleh keberadaan elektroda di sepanjang bejana alat elektrooksidasi sehingga diharapkan zat warna reaktif dan zat pencemar lainnya yang belum terdegradasi pada sel pertama yang berada di bagian ujung bejana alat elektrooksidasi akan terdegradasi pada sel yang terletak di bagian berikutnya dari alat tersebut. Sistem fitoremediasi pada model pengolah limbah ini menggunakan tanaman mendong

(*Fimbristylis globulosa*). Pemilihan tanaman ini didasarkan pada pemikiran bahwa tanaman mendong mempunyai nilai bioakumulator lebih besar dari 1, dapat meningkatkan kualitas limbah rumah tangga, dapat menyerap logam Cd dari tanah tercemar Cd, mempunyai tingkat keberhasilan hidup yang tinggi, dapat menurunkan konsentrasi amonium dalam limbah, dapat meningkatkan kualitas air irigasi, bukan tanaman pangan, dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan kerajinan.

Keefektifan model pengolah air limbah ini diuji menggunakan air limbah artifisial / buatan dengan menggunakan larutan zat warna reaktif. Hal itu disebabkan karena zat warna reaktif adalah yang paling populer dalam industri tekstil dan termasuk zat warna yang sulit didegradasi. Keefektifan model pengolah air limbah ini ditentukan oleh parameter mutu air limbah meliputi intensitas warna / absorbansi, BOD, COD dan konsentrasi krom sebelum dan sesudah perlakuan. Berdasarkan harga parameter mutu limbah sebelum dan sesudah perlakuan dapat ditentukan persentase pengurangan nilai parameter mutu air limbah yang dapat digunakan sebagai parameter keefektifan model pengolah air limbah ini. Setelah diketahui keefektifannya terhadap air limbah artifisial, model instalasi pengolahan air limbah ini kemudian diterapkan untuk mengolah air limbah asli dari industri tekstil khususnya industri batik. Air limbah industri batik yang akan diolah dengan metode yang penulis teliti adalah air limbah industri batik dari Kampung Batik Laweyan Surakarta. Berdasarkan hasil wawancara dengan pengelola IPAL Kampung Batik Laweyan Surakarta, sampai saat ini ada 9 industri kecil batik yang masih aktif dan menghasilkan air limbah. Air limbah yang dihasilkan oleh setiap industri kecil batik adalah sekitar 53.000 liter per hari.

Keefektifan model pengolah air limbah ini diperoleh dengan menentukan parameter baku mutu air limbah industri tekstil sesuai PERDA provinsi Jawa tengah no. 5 tahun 2012 khususnya parameter BOD, COD, konsentrasi krom total ditambah parameter konsentrasi khrom heksa valen dan intensitas warna. Pengukuran parameter - parameter tersebut dilakukan terhadap air limbah sebelum dan sesudah proses pengolahan.

Disamping penentuan keefektifan model instalasi pengolahan air limbah, juga ditentukan nilai penurunan kerugian lingkungan dari model instalasi pengolahan air limbah tersebut. Nilai penurunan kerugian lingkungan tersebut adalah selisih kerugian lingkungan sebelum dan sesudah menggunakan model instalasi pengolahan air limbah. Diharapkan setelah air limbah diolah menggunakan model instalasi pengolahan air limbah ini terjadi penurunan / pengurangan nilai kerugian lingkungan dari air limbah yang dihasilkan. Penghitungan kerugian lingkungan karena

air limbah ini mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2014 Tentang Kerugian Lingkungan Hidup Akibat Pencemaran dan/atau Kerusakan Lingkungan Hidup.

B. Keaslian Penelitian

Beberapa penelitian pengolahan air limbah menggunakan metode fitoremediasi maupun metode elektrooksidasi dengan elektroda grafit adalah sebagai berikut :

1. Penelitian yang dilakukan oleh Purwati dan Surachman (2007) mengenai pengolahan air limbah pulp dan kertas menggunakan metode fitoremediasi dengan tanaman mendong. Pengolahan air limbah dalam penelitian tersebut dilakukan dengan membuat lahan basah yang berupa bak dari bahan akrilik dengan ukuran (100 x 30 x 40) cm dan ditanam mendong pada lahan basah buatan tersebut. Air limbah dialirkan ke lahan basah dan dibiarkan tinggal dalam lahan basah selama 30 jam. Setelah dilakukan pengukuran BOD, COD dan konsentrasi logam Cr (total) didapatkan bahwa persentase penurunan BOD sebesar 71,05 %, COD 85,01 % dan konsentrasi logam Cr (total) 39,4 %.
2. Penelitian yang dilakukan oleh Widodo (2008) mengenai dekolorisasi zat warna tekstil Remazol Black B. Dekolorisasi zat warna pada penelitian tersebut menggunakan metode elektrooksidasi dengan elektroda grafit serta sistem batch dimana zat elektrolit yang digunakan adalah garam Na_2SO_4 . Proses dekolorisasi dikerjakan pada kondisi konsentrasi Na_2SO_4 1,42 %, tegangan 6,5 volt dan waktu proses 60 menit. Hasil percobaan penelitian tersebut menunjukkan bahwa persentase dekolorisasi zat warna mencapai 95,11 %.
3. Penelitian yang dilakukan oleh Kariyajjanavar (2011) mengenai degradasi zat warna reaktif Novacron Deep Red C-D (NDRCD) dan Novacron Orange C-RN (NOCRN), menggunakan metode elektrokimia dengan elektroda grafit dan sistem batch. Penelitian Kariyajjanavar (2011) dilakukan terhadap dua macam larutan yaitu larutan zat warna NDRCD dan larutan zat warna NOCRN pada kondisi konsentrasi NaCl 0,7 %, rapat arus 170 A/m^2 , waktu proses 20 menit, tegangan 30 volt dan arus 2 amper. Elektroda yang digunakan adalah batang grafit dengan diameter elektroda 0,8 cm dan panjang elektroda 4,5 cm. Hasil penelitian Kariyajjanavar (2011) menunjukkan bahwa persentase penurunan intensitas warna adalah 99

- % untuk NDRCD dan 97 % untuk NOCRN, sedangkan persentase penurunan COD adalah 88 % untuk NDRCD dan 82 % untuk NOCRN.
4. Penelitian yang dilakukan oleh El-Sayed *et al.* (2014) mengenai dekolorisasi zat warna tekstil Maxilon Red GRL menggunakan metode elektrooksidasi dengan elektroda grafit dengan luas area 11,10 cm² dan elektrokoagulasi dengan elektroda stainless steel dengan luas area 8,5 cm². Proses dekolorisasi tersebut dilakukan dengan sistem batch dan pada kondisi pH 5 untuk elektrooksidasi dan pH 9 untuk elektrokoagulasi, konsentrasi NaCl 0,2 % dan rapat arus 0,9 mA/cm². Hasil penelitian El-Sayed *et al.* (2014) menunjukkan bahwa untuk proses elektrooksidasi penurunan intensitas warna mencapai 96 % dengan waktu proses 120 menit, sedangkan untuk proses elektrokoagulasi penurunan intensitas warna mencapai 96 % dengan waktu proses 60 menit.
 5. Penelitian yang dilakukan oleh Subramaniam *et al.* (2016) mengenai pengolahan air limbah industri batik menggunakan metode elektrooksidasi dengan elektroda grafit. Sel elektrolisis berupa bejana yang terbuat dari PVC dengan ukuran (11 × 11 × 8) cm dengan 4 pasang elektroda grafit yang disusun paralel. Hasil penelitian Subramaniam *et al.* (2016) menunjukkan bahwa pada kondisi konsentrasi NaCl 12,86 %, pH 5, rapat arus 0,28 A/cm², jarak antar elektroda 3 cm dan waktu proses 120 menit menghasilkan penurunan absorbansi / intensitas warna 93,89 % dan penurunan COD 65,5 %.
 6. Penelitian yang dilakukan oleh Ketut *et al.* (2018) mengenai penghilangan warna air limbah yang mengandung zat warna remazol black B, remazol red RB, remazol yellow G dan remazol blue, menggunakan metode elektrooksidasi dengan elektroda grafit. Penghilangan warna tersebut dilakukan dengan proses elektrolisis dalam bejana ukuran (50 x 35 x 25) cm dengan 4 pasang elektroda grafit dengan jarak antar elektroda 10 cm. Elektroda grafit diambil dari anoda suatu baterai. Proses elektrolisis dilakukan pada kondisi konsentrasi NaCl 0,35 %, pH 6, tegangan 12 volt dan waktu proses 60 menit. Hasil penelitian Ketut *et al.* (2018) menunjukkan persentase penghilangan zat warna adalah 96,05 %.

Penelitian-penelitian tersebut mempunyai kesamaan dan juga perbedaan dengan penelitian yang penulis lakukan. Kesamaannya adalah digunakannya tanaman mendong untuk proses fitoremediasi air limbah industri pulp dan kertas, yaitu yang dilakukan oleh Purwati dan

Surachman. Kesamaan lainnya adalah digunakannya grafit sebagai elektroda untuk dekolorisasi ataupun degradasi air limbah industri tekstil baik air limbah sebenarnya maupun air limbah artifisial yaitu yang dilakukan pada penelitian ke 2 sampai ke 6. Perbedaan penelitian-penelitian tersebut dengan penelitian yang penulis lakukan adalah terletak pada metode dan sistemnya. Penelitian-penelitian sebelumnya menggunakan satu macam metode dan dengan sistem batch (tidak kontinyu), sedangkan penelitian yang penulis lakukan adalah mengkombinasikan metode elektrooksidasi dengan metode fitoremediasi serta dengan sistem kontinyu. Keaslian penelitian yang penulis lakukan terletak pada adanya perbedaan dengan penelitian-penelitian sebelumnya. yaitu pada metode dan sistem pengolahannya.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah disampaikan, dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini yaitu :

1. Bagaimanakah desain model instalasi pengolahan air limbah industri tekstil menggunakan kombinasi metode elektrooksidasi dan fitoremediasi dengan sistem kontinyu?.
2. Bagaimanakah kondisi optimum model instalasi pengolahan air limbah industri tekstil menggunakan kombinasi metode elektrooksidasi dan fitoremediasi dengan sistem kontinyu untuk pengolahan air limbah industri tekstil ?.
3. Bagaimanakah keefektifan model instalasi pengolahan air limbah industri tekstil menggunakan kombinasi metode elektrooksidasi dan fitoremediasi dengan sistem kontinyu dalam pengolahan air limbah industri tekstil ?.
4. Berapakah angka penurunan kerugian lingkungan dari model instalasi pengolahan air limbah industri tekstil menggunakan kombinasi metode elektrooksidasi dan fitoremediasi dengan sistem kontinyu ?.

D. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mendesain model instalasi pengolahan air limbah industri tekstil menggunakan kombinasi metode elektrooksidasi dan fitoremediasi dengan sistem kontinyu.

2. Melakukan optimasi model instalasi pengolahan air limbah industri tekstil menggunakan kombinasi metode elektrooksidasi dan fitoremediasi dengan sistem kontinyu untuk pengolahan air limbah industri tekstil.
3. Menguji keefektifan model instalasi pengolahan air limbah industri tekstil menggunakan kombinasi metode elektrooksidasi dan fitoremediasi dengan sistem kontinyu dalam pengolahan air limbah industri tekstil.
4. Menentukan angka penurunan kerugian lingkungan dari model instalasi pengolahan air limbah industri tekstil menggunakan kombinasi metode elektrooksidasi dan fitoremediasi dengan sistem kontinyu.

E. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat teoritis maupun praktis sebagai berikut :

1. Manfaat teoritis

Manfaat teoritis dari penelitian ini adalah

- a. Dapat digunakan sebagai acuan pembelajaran khususnya pembelajaran di bidang pengolahan air limbah.
- b. Dapat digunakan sebagai referensi penelitian-penelitian berikutnya khususnya penelitian - penelitian di bidang pengolahan air limbah
- c. Dapat memberi manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan yang akan datang khususnya di bidang pengolahan air limbah

2. Manfaat praktis

Manfaat praktis dari penelitian ini adalah

- a. Memberikan informasi bagi industri tekstil tentang adanya salah satu alternatif pengolahan air limbah industri tekstil
- b. Memberikan informasi bagi instansi swasta maupun pemerintah yang terkait dengan pengolahan air limbah
- c. Penerapan model IPAL hasil penelitian ini dapat menurunkan kerugian lingkungan hidup akibat dari pembuangan air limbah industri tekstil