



**ANALISIS PENGARUH VARIASI DENSITAS ECENG  
GONDOK (*Eichornia Crassipes* (Mart.) Solm)  
PADA FITOREMEDIASI LIMBAH  
CAIR KOPI**

**SKRIPSI**

Oleh

**Ardhi Putra Manasika  
NIM 101710201036**

**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN  
UNIVERSITAS JEMBER  
2015**



**ANALISIS PENGARUH VARIASI DENSITAS ECENG  
GONDOK (*Eichornia Crassipes* (Mart.) Solm)  
PADA FITOREMEDIASI LIMBAH  
CAIR KOPI**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Pertanian (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Teknologi Pertanian

Oleh

**Ardhi Putra Manasika  
NIM 101710201036**

**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN  
UNIVERSITAS JEMBER  
2015**

## PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur saya ucapkan kehadiran Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang dan sholawat serta salam semoga tetap terlimpahkan kepada junjungan besar Nabi Muhammad SAW. Saya persembahkan skripsi ini untuk :

1. Ibunda Laili Qomariah dan Ayahanda Drs. Nidjar tercinta, motivator yang tak pernah lelah memberikanku semangat, pengorbanan dan kasih sayang hingga sampai saat ini ;
2. Keluarga dan teman-temanku yang telah memberiku inspirasi positif ;
3. Almamater Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

**MOTTO**

“Sesungguhnya orang-orang yang beriman, mengerjakan amal soleh, mendirikan sholat dan menunaikan zakat, mereka mendapatkan pahala di sisi Tuhannya.

Tidak ada kekhawatiran terhadap mereka dan tidak (pula) mereka bersedih hati.”

(*QS. Al-Baqarah : 277*)\*)

“Kebaikan itu adalah akhlak yang baik dan dosa adalah apa-apa yang meragukan jiwamu dan engkau tidak suka dilihat orang lain dalam melakukan itu.”

(*HR. Muslim*)

“Kenalilah siapa musuhmu, kenalilah siapa dirimu, maka kau akan masuk ke dalam 100 medan pertempuran tanpa resiko kekalahan.”

(*Sun Tzu*)

---

\*<sup>)</sup> Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al Qur'an Dan Terjemahannya*. Semarang : PT. Kumudasmoro Grafindo.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ardhi Putra Manasika

NIM : 101710201036

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “**Analisis Pengaruh Variasi Densitas Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes* (Mart.) Solm) Pada Fitoremediasi Limbah Cair Kopi**“ adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Adapun data yang terdapat dalam karya tulis ilmiah ini dan hak publikasi sepenuhnya adalah milik laboratorium Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan (TPKL) Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 10 Maret 2015

Yang menyatakan,

Ardhi Putra Manasika

NIM. 101710201036

**SKRIPSI**

**ANALISIS PENGARUH VARIASI DENSITAS ECENG  
GONDOK (*Eichornia Crassipes* (Mart.) Solm) PADA  
FITOREMEDIASI LIMBAH  
CAIR KOPI**

Oleh

Ardhi Putra Manasika  
NIM 101710201036

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Elida Novita, S.TP., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Sri Wahyuningsih S.P., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Analisis Pengaruh Variasi Densitas Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes* (Mart.) Solm) Pada Fitoremediasi Limbah Cair Kopi” telah di uji dan disahkan pada :

hari, tanggal : Selasa, 10 Maret 2015

tempat : Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember

Tim Penguji :

Ketua,

Anggota,

Ir. Hamid Ahmad

Dr. Hidayat Teguh Wiyono, M.Pd.

NIP. 195502271984031002

NIP. 195805281988021002

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknologi Pertanian

Universitas Jember,

Dr. Yuli Witono, S.TP., M.P.

NIP. 196912121998021001

## RINGKASAN

**Analisis Pengaruh Variasi Densitas Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes* (Mart.) Solm) Pada Fitoremediasi Limbah Cair Kopi;** Ardhi Putra Manasika; 2015; 68 halaman; Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

Kopi adalah komoditas pertanian yang berpotensi untuk dibudidayakan di Indonesia. Untuk mendapatkan kualitas biji terbaik, maka perlu digunakan teknologi pasca panen pada pengolahan kopi. Salah satu teknologi pasca panen yang digunakan adalah pengolahan kopi semi basah. Namun dalam prosesnya, pengolahan kopi semi basah akan menghasilkan limbah cair yang akan berdampak buruk apabila dibuang ke lingkungan sekitar. Oleh karena itu diperlukan sebuah pengolahan limbah secara alami untuk mengurangi konsentrasi bahan organik yang ada di dalam limbah cair. Salah satu metode yang bisa digunakan adalah fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik limbah cair kopi, karakteristik tanaman eceng gondok dan nilai efisiensi terbaik pada fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok.

Perlakuan pada penelitian ini diulang sebanyak 2 kali, masing-masing selama 14 hari dengan menggunakan 4 perlakuan yang berbeda yang didasarkan pada jumlah densitas dari tanaman eceng gondok. Akuarium A menggunakan densitas sebesar 20 gram/liter eceng gondok, akuarium B menggunakan densitas sebesar 30 gram/liter eceng gondok, akuarium C menggunakan densitas sebesar 40 gram/liter eceng gondok dan akuarium D tanpa menggunakan eceng gondok. Pada semua akuarium dipasang aerator untuk memberikan suplai oksigen pada akuarium tersebut. Parameter yang diamati meliputi suhu limbah, volume limbah, turbiditas, total padatan terlarut, total padatan tersuspensi, COD, BOD, phosphor, nitrogen dan pH.

Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil rata-rata nilai efisiensi terbaik dari semua perlakuan. Perlakuan yang memiliki rata-rata nilai efisiensi paling baik dalam fitoremediasi ini adalah akuarium C dengan densitas

sebesar 40 gram/liter dengan rata-rata nilai efisiensi sebesar 69,07%. Kemudian akuarium B dengan rata-rata nilai efisiensi sebesar 68,27% dan akuarium C dengan rata-rata nilai efisiensi sebesar 63,79%. Untuk rata-rata nilai efisiensi paling rendah pada fitoremediasi ini dimiliki oleh akuarium D dengan rata-rata nilai efisiensi sebesar 50,26%. Pada penelitian ini tanaman eceng gondok tidak mampu bertahan lebih dari 14 hari dalam fitoremediasi. Bagian tanaman yang terlebih dahulu mengalami kematian adalah daun, tangkai dan terakhir bagian akar.



## SUMMARY

**Analysis of Density Variation Effect Of Water Hyacinth (*Eichornia crassipes* (Mart.) Solm) Phytoremediation On Coffe Waste Water;** Ardhi Putra Manasika; 2015; 67 pages; Agricultural Engineering Department, Faculty of Agriculture Technology, Jember University.

Coffee is agricultural commodities that have the potential to be cultivated in Indonesia. To get the best seed quality, it is necessary to use post-harvest technology in coffee processing. One of the post-harvest technology used are semi-wet coffee processing. But in the process, semi-wet coffee technology will produce wastewater that would be bad if discharged into the environment is therefore required a natural sewage treatment to reduce the concentration of organic material in the wastewater. One method that can be used is phytoremediation using water hyacinth plants. The purpose of this study was to determine the characteristics of the coffee liquid waste, water hyacinth plant characteristics and the best efficiency value on phytoremediation using water hyacinth plants.

The treatment in this study was repeated 2 times, each for 14 days by using 4 different treatment based on the number density of water hyacinth plants. Aquarium A use density of 20 grams / liter of water hyacinth, aquarium B using a density of 30 grams / liter of water hyacinth, aquarium C using a density of 40 grams / liter of water hyacinth and aquarium D without used water hyacinth. In all mounted aquarium aerator to provide oxygen supply to the aquarium. The parameters observed temperature waste, waste volume, turbidity, total dissolved solids, total suspended solids, COD, BOD, phosphorus, nitrogen and pH.

From the research that has been conducted showed the average value of the best efficiency of all treatments. The treatment that has an average value of the best efficiency in phytoremediation is an aquarium C with a density of 40 grams / liter with average value of an efficiency of 69.07%. Then aquarium B with average value of an efficiency of 68.27% and aquarium C with average value of an efficiency of 63.79%. For the average value of the lowest efficiency in

phytoremediation is owned by the aquarium D with average value of an efficiency of 50.26%. In this study, the water hyacinth plants can not survive more than 14 days in phytoremediation. Parts of plants which first experienced the death of leaves, stems and roots of the last section.



## PRAKATA

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan karya ilmiah tertulis yang berjudul “Analisis Pengaruh Variasi Densitas Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes* (Mart.) Solm) Pada Fitoremediasi Limbah Cair Kopi”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak yang telah bersedia meluangkan waktu, arahan dan dukungannya. Oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Dekan Fakultas Teknologi Pertanian dan Ketua Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.
2. Dr. Elida Novita, S.TP., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama (DPU) yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan perhatian, nasehat dan arahan dalam penyusunan skripsi ini;
3. Dr. Sri Wahyuningsih, S.P., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota (DPA) yang telah memberikan banyak arahan, semangat dan motivasi sehingga karya tulis ilmiah ini bisa terselesaikan dengan baik;
4. Ir. Hamid Ahmad yang telah memberikan banyak arahan pada saat ujian skripsi.
5. Dr. Hidayat Teguh Wiyono, M.Pd. yang telah banyak memberikan kritik dan saran pada saat ujian skripsi.
6. Ir. Muharjo Pudjojono selaku Ketua Komisi Bimbingan yang telah memberikan banyak semangat dan motivasi untuk segera menyelesaikan skripsi ini;
7. Keluargaku, Bapakku, Ibuku dan kakak-kakakku yang tak pernah lelah dalam memberikan do'a, kasih sayang, semangat dan pengorbanan selama ini;

8. Teman-teman TEP angkatan 2010 (Faiz, Deni, Ifan, Dimmas, Andry, Holid, Faruq, Isnani dan Aziz) yang selalu bersedia untuk memberikan rasa kebersamaan, inspirasi, semangat dan motivasi hingga saat ini;
9. Saudara-saudaraku di MPA-Khatulistiwa angkatan XII (Dayat, Farid, Hendra, Rini, Yoga, Yogi dan Wahyu) yang telah bersedia mendampingi baik suka maupun duka;
10. Keluarga besar MPA-Khatulistiwa yang selalu memberikan pengalaman dan pelajaran berharga untuk bekal kehidupanku;
11. Teman-teman KKN tahun 2014 (Risti, Iqbal, Maria, Angga, Agung, Fitri, Shella, David, Alfi dan Aristi) dan perangkat Desa Sumberagung (pak Endar, pak Tugiran dan pak Yogi) yang telah memberikan banyak dukungan dan rasa kebersamaan;
12. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini sehingga tidak bisa dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa di dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kesalahan dan kekurangan. Saran dan kritik sangat penulis harapkan demi kesempurnaan karya tulis ilmiah ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Jember, 10 Maret 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>SUMMARY</b> .....	ix
<b>PRAKATA</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xviii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1. Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2. Rumusan Masalah</b> .....	2
<b>1.3. Tujuan Penelitian</b> .....	2
<b>1.4. Manfaat Penelitian</b> .....	3
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
<b>2.1. Fitoremediasi</b> .....	4
<b>2.2. Aerasi</b> .....	4
<b>2.3. Proses Pengolahan Kopi</b> .....	5
<b>2.4. Limbah Cair Industri Kopi</b> .....	6
<b>2.5. Dampak Limbah Cair Terhadap Lingkungan</b> .....	7
<b>2.6. Parameter Kualitas Air</b> .....	7
<b>2.7. Eceng Gondok</b> .....	9

<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....	11
<b>3.1. Waktu dan Tempat Penelitian</b> .....	11
<b>3.2. Alat dan Bahan</b> .....	11
3.2.1. Alat.....	11
3.2.2. Bahan .....	12
<b>3.3. Tahapan Penelitian</b> .....	13
3.3.1. Persiapan Penelitian.....	13
3.3.2. Penelitian Pendahuluan.....	13
3.3.3. Penelitian Utama.....	14
3.3.4. Analisis Laboratorium .....	14
<b>3.4. Diagram Penelitian</b> .....	20
<b>3.5. Analisis Data</b> .....	21
3.5.1. Analisis Data Dengan Microsoft Excel .....	21
3.5.2. Analisis Statistik .....	21
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	23
<b>4.1. Karakteristik Limbah Cair Kopi</b> .....	24
<b>4.2. Parameter Akhir Fitoremediasi</b> .....	25
4.2.1. Suhu Limbah.....	25
4.2.2. Volume Limbah .....	26
4.2.3. Kekeruhan.....	28
4.2.4. TDS ( <i>Total Dissolved Solid</i> ).....	29
4.2.5. TSS ( <i>Total Suspended Solid</i> ).....	31
4.2.6. COD ( <i>Chemical Oxygen Demand</i> ) .....	31
4.2.7. BOD ( <i>Biochemical Oxygen Demand</i> ).....	33
4.2.8. Phospat.....	35
4.2.9. Nitrogen .....	37
4.2.10. pH.....	38
<b>4.3. Karakteristik Tanaman Eceng Gondok</b> .....	39

<b>4.4. Analisis Perbandingan Antar Perlakuan Untuk.....</b>	<b>42</b>
<b>Parameter COD dan Kekeruhan</b>	
4.4.1. Uji Anova Nilai Kekeruhan .....	42
4.4.2. Uji Anova Nilai COD .....	43
<b>4.5. Analisis Perlakuan Terbaik Pada Berbagai .....</b>	<b>45</b>
<b>Variasi Densitas</b>	
<b>BAB 5. PENUTUP .....</b>	<b>47</b>
<b>5.1. Kesimpulan .....</b>	<b>47</b>
<b>5.2. Saran .....</b>	<b>47</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>48</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>51</b>

**DAFTAR TABEL**

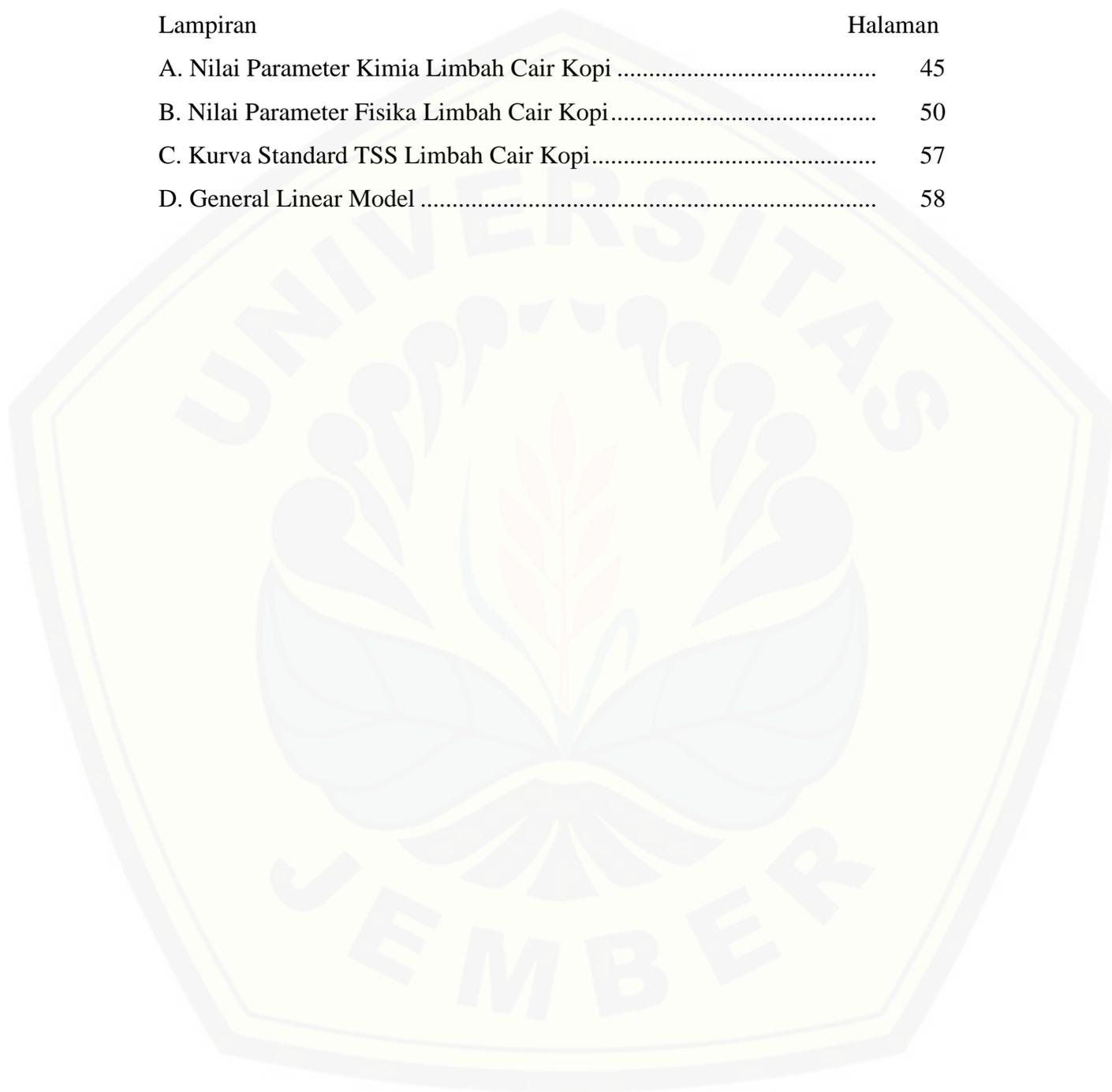
Tabel	Halaman
3.1. Perlakuan akuarium berdasarkan nilai densitas .....	14
3.2. Rumus manual perhitungan anova .....	21
4.1. Karakteristik awal limbah cair kopi .....	23
4.2. Hasil pengukuran COD .....	32
4.3. Hasil pengukuran BOD .....	34
4.4. Hasil pengukuran phosphor (P).....	34
4.5. Hasil pengukuran nitrogen (N) .....	36
4.6. Hasil uji anova kekeruhan.....	41
4.7. Hasil uji anova COD .....	41
4.8. Multi comparison COD.....	42
4.9. Uji Duncan COD.....	43

**DAFTAR GAMBAR**

Gambar	Halaman
2.1. Tahapan pengolahan basah .....	6
2.2. Eceng Gondok.....	10
3.1. Rancangan akuarium.....	13
3.2. Diagram penelitian .....	19
4.1. Grafik hubungan nilai perubahan suhu limbah cair kopi dengan waktu perlakuan.....	25
4.2. Grafik hubungan penurunan volume limbah cair kopi dengan waktu perlakuan.....	26
4.3. Grafik hubungan penurunan nilai turbiditas limbah cair kopi dengan waktu perlakuan.....	28
4.4. Grafik hubungan kenaikan nilai TDS limbah cair kopi dengan waktu perlakuan.....	29
4.5. Grafik hubungan penurunan nilai TSS limbah cair kopi dengan waktu perlakuan.....	30
4.6. Grafik nilai efisiensi penurunan COD.....	32
4.7. Grafik nilai efisiensi penurunan BOD.....	34
4.8. Grafik hubungan kenaikan nilai pH limbah cair kopi dengan waktu perlakuan.....	38
4.9. Kondisi tanaman eceng gondok pada hari ke 1,7 dan 14.....	41
4.10. Grafik overall nilai efisiensi parameter.....	46

**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran	Halaman
A. Nilai Parameter Kimia Limbah Cair Kopi .....	45
B. Nilai Parameter Fisika Limbah Cair Kopi.....	50
C. Kurva Standard TSS Limbah Cair Kopi.....	57
D. General Linear Model .....	58



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Kopi merupakan salah satu sektor pertanian yang mempunyai potensi sangat besar untuk dikembangkan di Indonesia. Salah satu daerah penghasil kopi di Indonesia adalah Kabupaten Jember Jawa Timur. Menurut Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur tahun 2014, Kabupaten Jember memiliki luas areal lahan perkebunan kopi 7.329 Ha dengan produksi kopi rata-rata sejak tahun 2008-2012 sebesar 2.943 ton/tahun. Namun dari besarnya jumlah produksi kopi tersebut sebagian masih kurang diimbangi dengan adanya penanganan pasca panen kopi yang optimal. Hal ini disebabkan oleh dana dan pengetahuan yang terbatas pada proses penanganan pasca panen kopi oleh petani kopi dan perusahaan (Badan Pusat Statistik, 2014).

Menurut Najiyati dan Danarti (2001 : 140), untuk mendapatkan kualitas kopi yang baik, penanganan pasca panen kopi dengan metode pengolahan basah merupakan cara terbaik yang bisa digunakan. Pengolahan kopi cara basah biasanya membutuhkan modal yang lebih besar namun waktu yang dibutuhkan lebih cepat dan menghasilkan kualitas yang lebih baik dari pengolahan kering. Pengolahan basah akan menghasilkan limbah cair dari proses pengupasan dan pencucian sehingga limbah tersebut akan berdampak buruk apabila secara langsung dibuang ke lingkungan sekitar. Hal ini dikarenakan limbah cair kopi memiliki kandungan konsentrasi zat organik yang tinggi seperti tingkat keasaman yang rendah, suhu yang tinggi dan kandungan glukosa.

Fitoremediasi merupakan salah satu metode penanganan limbah secara alami dengan memanfaatkan tumbuh-tumbuhan sebagai agensia pengurangan kadar zat berbahaya yang ada di dalam limbah. Salah satu tumbuhan yang biasa digunakan dalam metode ini adalah eceng gondok. Sebelum digunakan dalam media fitoremediasi, eceng gondok harus terlebih dahulu melewati proses aklimatisasi untuk

mengetahui waktu lamanya eceng gondok mampu bertahan dan hidup di dalam cairan limbah. Menurut Zulkarnain (2011:72), tujuan dari aklimatisasi adalah untuk menyesuaikan atau mengadaptasikan bibit yang baru tumbuh dari lingkungan lama ke lingkungan baru. Aklimatisasi juga digunakan mengetahui kemampuan bertahan suatu tanaman di dalam lingkungan yang baru.

Untuk membantu penanganan limbah dengan metode fitoremediasi ini diperlukan adanya suatu proses tambahan yang berfungsi untuk membantu proses pengurangan kadar berbahaya yang terdapat dalam cairan limbah, salah satunya adalah proses aerasi. Menurut Laksmi *et al.* (1993:74) aerasi merupakan proses penambahan oksigen yang dilakukan pada suatu cairan yang berfungsi untuk mengurangi konsentrasi zat pencemar yang ada di dalam suatu cairan limbah.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Limbah cair kopi pada pengolahan cara basah memiliki kadar zat-zat berbahaya karena konsentrasi yang tinggi akan berdampak buruk terhadap lingkungan apabila dibuang secara langsung. Oleh karena itu dengan metode fitoremediasi menggunakan berbagai variasi densitas dapat diketahui kemampuan tanaman eceng gondok dalam menurunkan konsentrasi limbah cair kopi serta mengetahui densitas terbaik tanaman eceng gondok. Penelitian ini dibatasi pada karakterisasi limbah cair kopi dan pengukuran nilai konsentrasi limbah cair kopi pada fitoremediasi dengan menggunakan tanaman eceng gondok.

## **1.3. Tujuan Penelitian**

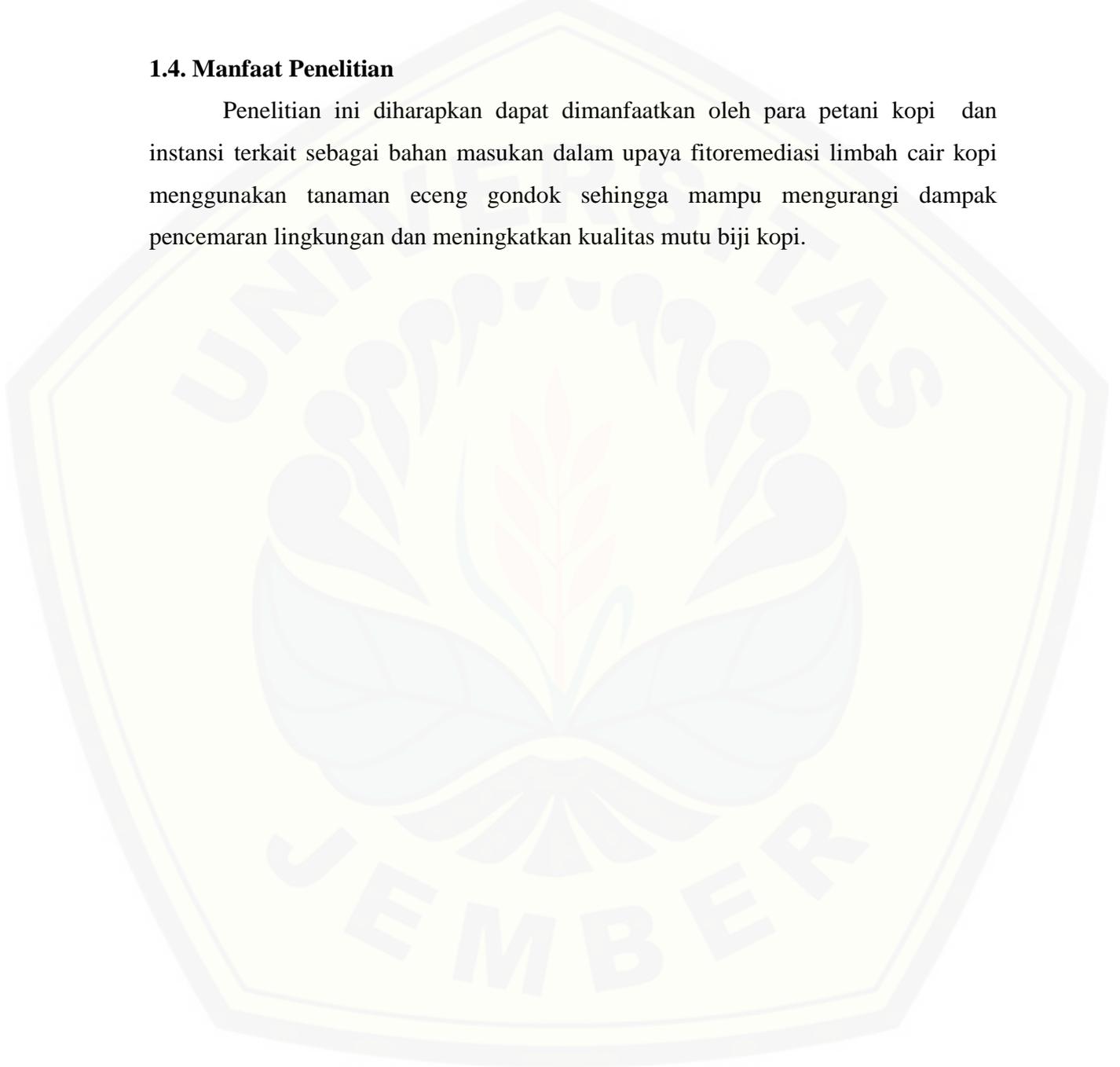
Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui pengaruh densitas eceng gondok terhadap penurunan berbagai parameter limbah cair kopi (TSS, TDS, kekeruhan, COD, BOD, nitrogen, fosfor dan pH).
2. Mengetahui perlakuan densitas terbaik berdasarkan nilai efisiensi penurunan pada fitoremediasi limbah cair kopi menggunakan tanaman eceng gondok.

3. Mengetahui karakteristik tanaman eceng gondok pada fitoremediasi limbah cair kopi menggunakan tanaman eceng gondok.

#### **1.4. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan oleh para petani kopi dan instansi terkait sebagai bahan masukan dalam upaya fitoremediasi limbah cair kopi menggunakan tanaman eceng gondok sehingga mampu mengurangi dampak pencemaran lingkungan dan meningkatkan kualitas mutu biji kopi.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Fitoremediasi

Menurut Nurrandani (2007:28), fitoremediasi merupakan upaya pengurangan kadar kandungan limbah dalam sebuah perairan atau mengendalikan pencemaran air dengan menggunakan sebuah tanaman dengan menggunakan kolam buatan maupun *in-situ* atau terjadi di perairan bebas pada tanah atau daerah yang tercemar limbah. Hartanti *et al.* (2013:32) menyatakan fitoremediasi merupakan teknik pemulihan lahan tercemar dengan menggunakan tumbuhan untuk menyerap, mendegradasi, dan mentransformasi bahan pencemar, baik itu logam berat maupun senyawa organik. Fitoremediasi digunakan untuk mendegradasi senyawa-senyawa atau molekul yang berbahaya dalam suatu limbah sehingga kadar senyawa berbahaya di dalam limbah bisa di kurangi. Fitoremediasi dapat digunakan untuk mengurangi kadar limbah seperti logam, pestisida, pelarut, minyak mentah dan limbah cair hasil pembuangan industri.

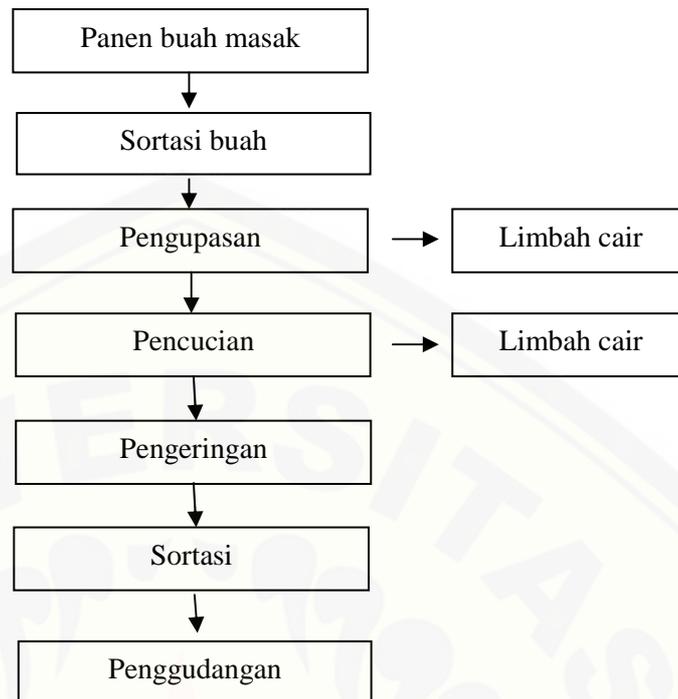
### 2.2. Aerasi

Salah satu fungsi dari fitoremediasi adalah menurunkan kadar kontaminan atau zat-zat berbahaya yang ada di dalam cairan limbah melalui penyerapan, pendegradasian, transformasi logam berat dan senyawa organik oleh tanaman serta penguraian oleh mikroorganisme. Dalam proses tersebut mikroorganisme aerob juga mengkonsumsi oksigen terlarut untuk menguraikan senyawa-senyawa organik yang ada di dalam limbah. Penambahan kadar oksigen dengan proses aerasi pada proses fitoremediasi perlu dilakukan untuk meningkatkan ketersediaan oksigen terlarut yang ada di dalam cairan limbah sehingga kebutuhan oksigen terlarut oleh mikroorganisme bisa tercukupi dalam proses reaksi biokimia. Ketersediaan oksigen ini berguna untuk membantu mikroorganisme dalam menguraikan logam berat dan bahan-bahan organik. Aerasi merupakan istilah lain dari proses pengolahan air dengan cara mengontakkan air ke udara. Aerasi digunakan untuk pengolahan air yang mempunyai kandungan organik atau

senyawa berbahaya lainnya dengan kadar yang cukup tinggi. Adanya proses aerasi ini sanggup untuk menyuplai oksigen secara kontinyu sehingga mampu untuk menangani kondisi air limbah yang beban pencemarannya berlebihan (Laksmi *et al.*, 1993:74).

### 2.3. Proses Pengolahan Kopi

Menurut Syakir (2010 : 45), proses pengolahan kopi semi basah diawali dengan sortasi atau pemilihan biji kopi yang dimaksudkan untuk memisahkan biji yang masak dan bernas serta seragam dari buah yang cacat/pecah, kurang seragam dan terserang hama serta penyakit. Kemudian proses selanjutnya adalah pengupasan kulit kopi yang bertujuan untuk memisahkan kulit kopi dengan bijinya. Tahap selanjutnya adalah tahapan fermentasi yang diperlukan untuk menyingkirkan lapisan lendir pada kulit tanduk kopi. Fermentasi dilakukan biasanya pada pengolahan kopi arabika, untuk mengurangi rasa pahit dan mempertahankan cita rasa kopi. Kemudian tahap selanjutnya adalah pencucian yang bertujuan untuk menghilangkan sisa lendir hasil fermentasi yang masih menempel pada kulit tanduk. Setelah proses pencucian selesai, kemudian dilakukan pengeringan biji kopi yang dilakukan dengan suhu antara 45 – 50<sup>0</sup> C sampai tercapai kadar air biji maksimal sekitar 12,5%. Langkah selanjutnya adalah proses sortasi biji kopi yang dihasilkan dari proses pengeringan untuk kemudian dilakukan proses penggudangan. Diagram proses pengolahan kopi semi basah dapat di lihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1. Tahapan pengolahan kopi semi basah (Syakir, 2010 : 44).

#### 2.4. Limbah Cair Industri Kopi

Menurut Kristanto (2004 : 169), limbah merupakan suatu barang atau zat sisa dari sebuah kegiatan produksi yang tidak bermanfaat atau bernilai ekonomi lagi. Limbah juga sangat berpengaruh terhadap adanya pencemaran lingkungan sehingga kehadirannya tidak di kehendaki. Limbah terdiri dari tiga macam yakni limbah cair, limbah gas dan limbah padat. Limbah mengandung polutan dan zat-zat yang sangat berbahaya sehingga sangat berpotensi merusak lingkungan dan sumber daya. Sifat beracun dan berbahaya dari limbah dapat ditunjukkan oleh sifat fisik dan sifat kimiawi dari zat tersebut. Limbah cair biasanya bersumber dari industri yang dalam produksi dan pengolahannya menggunakan air dalam produksi. Limbah ini mengandung sejumlah padatan dan partikel baik yang larut maupun yang mengendap. Limbah cair kopi merupakan limbah yang dihasilkan dari hasil proses pengolahan kopi, salah satunya pengolahan kopi cara basah. Limbah cair ini dihasilkan dari proses pengupasan (*pulping*) dan proses pencucian (*washing*) sehingga sangat berdampak untuk mencemari lingkungan. Karakterisasi limbah meliputi analisis limbah cair dan limbah padat. Dalam melakukan

karakterisasi limbah cair, parameter yang akan diukur di antaranya adalah BOD, COD, TSS, pH, fosfor dan total nitrogen.

### **2.5. Dampak Limbah Cair Terhadap Lingkungan**

Dalam suatu limbah, banyak terkandung zat pencemar yang berbahaya bagi lingkungan sekitar baik itu untuk air, tanah maupun tanaman. Zat pencemar dalam suatu limbah mengandung zat-zat yang berbahaya seperti ammonia, nitrit, nitrat maupun zat pencemar berbahaya lainnya. Hal tersebut tentu akan mempengaruhi kehidupan mikroorganisme air dan tanah serta juga merusak tanaman. Di tanah dan tanaman, temperatur, kandungan cairan dan tingkat keasaman limbah cair sangat mengganggu kehidupan mikroorganisme maupun tanaman. Di dalam perairan, limbah mampu untuk mematikan bakteri dan ikan-ikan yang ada di dalam air, selain itu air limbah juga mampu untuk meningkatkan kesuburan air (*eutrofikasi*) yang dapat menghambat proses penjernihan air dan menurunkan kadar oksigen di dalam air (Kodoatie dan Sjarief, 2011:199).

### **2.6. Parameter Kualitas Air**

Menurut Kristanto (2004:145), tujuan dari pengukuran parameter kualitas air adalah untuk mengukur dan mendeteksi pengaruh yang di timbulkan oleh suatu bahan pencemar terhadap kualitas perairan dan lingkungan di sekitarnya. Berikut ini adalah beberapa parameter kualitas air yang biasa digunakan untuk menentukan beban pencemaran air dan lingkungan.

#### **1. Turbiditas**

Turbiditas atau kekeruhan pada dasarnya menunjukkan sifat optis air yang menunjukkan terjadinya hambatan cahaya yang masuk ke dalam air. Kekeruhan biasanya di akibatkan oleh jasad renik ataupun zat-zat lainnya seperti halnya lumpur, plankton, zat-zat organik, senyawa limbah maupun benda-benda kecil lainnya yang melayang ataupun terapung di dalam air. Kekeruhan sangat berpengaruh terhadap tingkat kualitas air karena, kekeruhan menyebabkan

terjadinya penyerapan cahaya oleh air yang dapat menghambat proses penguraian dan oksidasi zat-zat organik yang ada di dalam air (Kristanto, 2004:80).

## 2. Suhu

Suhu pada dasarnya merupakan salah satu indikator dalam air yang dapat mempengaruhi tingkat konsentrasi oksigen terlarut dan tingkat kecepatan reaksi kimia. Suhu juga sangat berpengaruh terhadap adanya kehidupan di dalam air sehingga secara langsung suhu juga sangat berpengaruh terhadap keseimbangan ekosistem di dalam air. Biasanya air dengan suhu yang baik akan ditandai dengan banyaknya makhluk hidup yang hidup di dalam air seperti ikan dan hewan air lainnya (Kordi *et al.*, 2007:46).

## 3. TSS

TSS atau *Total Suspended Solid* disebabkan oleh partikel-partikel yang berukuran kecil yang dapat menyebabkan adanya kekeruhan dan tidak dapat terlarut di dalam air. Contoh-contoh partikelnya di antaranya adalah zat-zat organik tertentu, koloid, tanah liat, mikroorganisme dan lain sebagainya. TSS pada suatu sampel air merupakan jumlah berat padatan yang tersuspensi dengan volume air dan dinyatakan dalam milligram per liter atau ppm (Kristanto, 2004:82).

## 4. DO

DO atau *Dissolved Oxygen* merupakan salah satu tolak ukur untuk menentukan kualitas air dalam bentuk oksigen terlarut. DO dapat berasal dari fotosintesis tanaman air dan dari atmosfer yang masuk ke dalam air. Tingkat konsentrasi oksigen biasanya berbeda-beda tergantung dari suhu dan tekanan atmosfer udara. Tingkat konsentrasi DO sangat berpengaruh terhadap kehidupan yang ada di dalam air, kehidupan di dalam air akan bertahan apabila tingkat konsentrasi DO mencapai 5 ppm (Kordi *et al.*, 2007:36).

## 5. BOD

BOD atau *Biochemical Oxygen Demand* merupakan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme di dalam air untuk menguraikan zat-zat organik atau zat-zat lainnya. BOD mengukur secara relatif jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi bahan-bahan buangan (Kristanto, 2004:87).

## 6. COD

COD atau *Chemical Oxygen Demand* pada dasarnya adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan atau mengoksidasi zat organik yang ada di dalam suatu perairan. Uji COD lebih cepat daripada uji BOD, yakni untuk mengetahui jumlah bahan organik yang ada di dalam air yakni berdasarkan reaksi kimia dari suatu bahan oksidan (Kristanto, 2004:88).

### 2.7. Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*)

Eceng gondok merupakan salah satu tumbuhan air yang hidupnya mengapung dan tergolong pada famili *Pontederiaceae*. Berikut ini klasifikasi dari tanaman eceng gondok :

Divisi : Spermatophyta  
Kelas : Monocotyledons  
Family : Pontederiaceae  
Genus : Eichornia  
Spesies : Crassipes (Anonim, 2012).

Eceng gondok merupakan salah satu gulma air yang mampu berkembang biak secara generatif dan vegetatif. Tempat tumbuh yang ideal bagi tanaman eceng gondok adalah perairan yang dangkal dan berair keruh, dengan suhu berkisar antara 28-30 °C dan kondisi pH berkisar 4-12. Eceng gondok mampu menghisap air dan menguapkannya ke udara melalui proses evapotranspirasi. Eceng gondok tumbuh di atas perairan atau rawa yang dapat tumbuh dengan cepat (3% per hari). Eceng gondok merupakan satu-satunya tumbuhan air yang mampu untuk dimanfaatkan dalam teknologi bersih pengolahan limbah karena sifat akarnya

yang mampu menyerap zat-zat yang berbahaya sehingga dapat digunakan untuk teknologi pengolahan limbah bersih dan ramah lingkungan. Di Indonesia eceng gondok biasanya tumbuh di sekitar sungai dan daerah rawa-rawa serta bisa digunakan untuk pengolahan limbah tradisional (Gerbano dan Siregar, 2005). Tanaman eceng gondok yang biasa digunakan dalam proses fitoremediasi dapat ditunjukkan pada **Gambar 2.2.**



Gambar 2.2. Eceng gondok (Sumber : Ratnani, 2011:19)

## BAB 3. METODE PENELITIAN

### 3.1. Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan (TPKL) Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember. Kegiatan penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli 2014 sampai dengan Oktober 2014.

### 3.2. Alat Dan Bahan

#### 3.2.1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Jerigen Air
2. Timbangan Digital
3. Akuarium
4. Erlenmeyer
5. Pipet ukur 5 ml dan pipet tetes
6. Kuvet
7. Gelas ukur 50 ml dan 10 ml
8. Oven
9. pH meter Calibration Check HI 223
10. Spektrofotometer HI 83099
11. Kertas Saring 0,45 $\mu$ m
12. Turbidimeter TN-100
13. TDS Meter
14. Cawan Porselin
15. Botol atau plastik sampel
16. Reaktor COD HI 839800
17. Aerator Vosso SN-1200
18. Penggaris

19. Inkubator
20. Botol Inkubasi Winkler
21. Labu Takar 1 liter dan 2 liter

### 3.2.2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Limbah Cair Kopi

Limbah cair kopi diperoleh dari perkebunan kopi rakyat di Desa Sidomulyo Kecamatan Silo Kabupaten Jember.

2. Tanaman Enceng Gondok

Tanaman enceng gondok diperoleh dari rawa-rawa yang ada di Kabupaten Jember. Panjang enceng gondok yang akan digunakan adalah sekitar 30 cm dengan jenis dan umur yang seragam dengan berat 200, 300 dan 400 gram. Penentuan enceng gondok dengan panjang sekitar 30 cm adalah untuk menyesuaikan dengan ukuran akuarium.

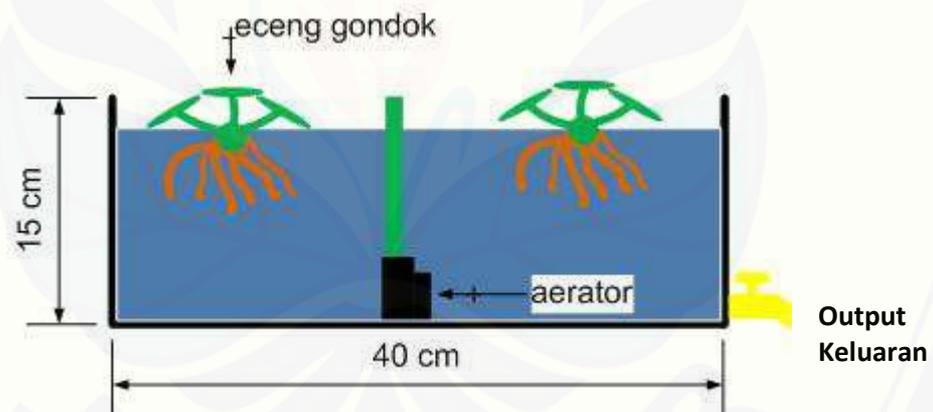
3. Reagent COD HR (*High Range*)
4. Aquades
5. Larutan Bufer Fosfat
6. Larutan  $\text{MgSO}_3$
7. Larutan  $\text{CaCl}_2$
8. Larutan Basa  $\text{NaOH/KOH}$  dan asam  $\text{HCl/H}_2\text{SO}_4$  1N
9. Bubuk Inhibitor Nitrifikasi
10. Air Pengencer
11. Larutan  $\text{Na}_2\text{SO}_3$
12. Larutan Tiosulfat 0,025 N
13. Larutan  $\text{MnSO}_4$
14. Larutan Alkali Azida
15. Larutan  $\text{NaOH}$  0,1 N
16. Larutan  $\text{K}_2\text{SO}_4$
17. Larutan Ammonium Molybdate
18. Larutan  $\text{SnCl}_2$

19. Larutan Digest P
20. Reagen Nessler
21. Garam Seignette

### 3.3. Tahapan Penelitian

#### 3.3.1. Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian yang dilakukan adalah studi literatur serta persiapan tempat, alat dan bahan penelitian. Studi literatur dilakukan dengan mencari referensi yang terkait dengan penelitian. Persiapan tempat dilakukan di *greenhouse* yang terdapat di Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember. Sementara persiapan alat dan bahan meliputi perancangan dan pembuatan aquarium dengan ukuran 40 cm x 15 cm x 25 cm, pengambilan tanaman eceng gondok dari rawa dan pengambilan limbah cair kopi dari perkebunan rakyat Sidomulyo. Rancangan sederhana aquarium dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



**Gambar 3.1.** Rancangan aquarium

#### 3.3.2. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan ini bertujuan untuk menentukan karakteristik awal limbah cair kopi setelah diambil dari lokasi pengambilan. Pada penelitian pendahuluan juga dilakukan proses aklimatisasi yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan bertahan hidup tanaman eceng gondok pada air sumur, aquades dan limbah cair kopi.

### 3.3.3. Penelitian Utama

Penelitian utama ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh proses fitoremediasi dengan perlakuan aerasi dan variasi densitas tanaman eceng gondok terhadap nilai konsentrasi limbah cair kopi baik sebelum dan sesudah perlakuan. Penentuan jumlah limbah cair dan berat eceng gondok pada masing-masing akuarium ini adalah berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Widyaningsih (2012 : 45) dimana berat eceng gondok yang paling efektif untuk menurunkan limbah cair industri sablon adalah sebesar 100-200 gram/5 liter. Berikut adalah tabel perlakuan dari fitoremediasi seperti yang tersaji pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1. Perlakuan akuarium berdasarkan nilai densitas

Perlakuan	Eceng Gondok (gram)	Limbah Cair Kopi (liter)	Densitas (gram/liter)
P1	200	10	20
P2	300	10	30
P3	400	10	40
P4	0	10	0

Sumber : Data penelitian (2014)

Keterangan :

- P1, P2, P3 dan P4 adalah akuarium yang memiliki aerator.

### 3.3.4. Analisis Laboratorium

#### 1. pH

pH pada dasarnya merupakan suatu tingkat keasaman atau kebasaan (alkali) suatu zat tertentu. Pengukuran pH ini dilakukan dengan menggunakan pH Meter.

#### 2. BOD

Kristanto (2004:87), mengemukakan bahwa BOD pada dasarnya menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan mikroorganisme untuk menguraikan atau mengoksidasi zat yang ada di dalam air. Prosedur kerja untuk mengukur BOD adalah :

- a. Memasukkan sampel limbah cair kopi pada botol winkler tanpa udara hingga penuh.
- b. Menambahkan 2 ml larutan  $\text{MnSO}_4$  40%, dan mendinginkan larutan selama beberapa menit untuk menghomogenkan.
- c. Menambahkan 2 ml alkali iodida azida, kemudian mendinginkan hingga muncul endapan berwarna coklat dan memindahkan larutan ke gelas kimia kemudian dikocok
- d. Menambahkan 2 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat hingga endapan larut, lalu mengambil 100 mL dan memindahkan larutan ke dalam erlenmeyer
- e. Larutan yang berada di dalam erlenmeyer siap untuk dititrisi dengan larutan  $\text{Na}_2 \text{S}_2 \text{O}_3$  0,025 N.
- f. Menambahkan indikator amilum dan melanjutkan kembali dengan titrasi hingga warna biru hilang, kemudian catat volume titrasi.

$$\text{Perhitungan : } BOD_5 = \frac{(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)(1 - P)}{P} \dots\dots\dots(3.1).$$

Keterangan :  $BOD_5$  = mg  $\text{O}_2$ /liter

$X_0$  = DO (oksigen terlarut) sampel pada saat  $t = 0$  (mg  $\text{O}_2$  /l)

$X_5$  = DO sampel pada saat  $t = 5$  hari (mg  $\text{O}_2$  /l)

$B_0$  = DO blanko pada saat  $t = 0$  (mg  $\text{O}_2$  /l)

$B_5$  = DO blanko pada saat  $t = 5$  hari (mg  $\text{O}_2$  /l)

$P$  = derajat pengenceran

### 3. COD

Kristanto (2004:88) mengemukakan bahwa COD pada dasarnya menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan atau mengoksidasi zat organik yang di dalam suatu perairan. Prosedur kerja untuk mengukur COD adalah :

- a. Membuat blanko dengan cara menambahkan 2 ml aquades ke dalam tabung reagent HR (*Hard Range*) kemudian ditutup rapat dan dikocok.

- b. Kemudian untuk membuat sampel, 2 ml limbah cair kopi ditambahkan ke dalam tabung reagent HR (*Hard Range*) kemudian ditutup rapat dan dikocok.
- c. Memanaskan tabung blanko dan sampel tersebut selama 2 jam dengan menggunakan COD reaktor pada suhu  $150^{\circ}\text{C}$ .
- d. Kemudian setelah pemanasan selesai, tabung sampel tersebut didinginkan dalam suhu ruangan hingga mencapai suhu ruangan.
- e. Menuangkan sampel tersebut ke dalam kuvet dan kemudian melakukan pembacaan dengan spektrofotometri .

#### 4. TSS

Total padatan tersuspensi (TSS) merupakan jumlah bahan partikel renik yang tercampur dalam kandungan air. TSS akan terlihat setelah dilakukan penyaringan dengan kertas saring  $0,45\mu$ , untuk kemudian ditimbang dan dinyatakan dalam satuan mg/liter. Menurut Alaerts dan Santika (1984 : 142), prosedur kerja untuk melakukan pengukuran TSS adalah sebagai berikut :

- a. Memanaskan filter kertas di dalam oven pada suhu  $105^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam, kemudian didinginkan di dalam desikator selama 15 menit dan ditimbang.
- b. Pemanasan perlu dilakukan ulang untuk mendapatkan berat yang konstan atau kehilangan berat sesudah pemanasan ulang kurang dari 0,5 mg.
- c. Mengambil sampel limbah yang telah dikocok merata sebanyak 100 ml dengan menggunakan pipet dan menuangkan sampel limbah ke dalam alat penyaring dan kemudian disaring dengan vakum.
- d. Memasukkan filter kertas dan cawan ke dalam oven untuk dipanaskan pada suhu  $105^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam.
- e. Pemanasan dilakukan berulang untuk mendapatkan berat yang konstan atau berkurangnya berat sesudah pemanasan ulang kurang dari 0,5 mg.

$$\text{Perhitungan} \quad : \text{TSS} = \frac{(a-b) \times 1000}{c} \dots\dots\dots(3.2).$$

Keterangan :

a = berat filter dan residu sesudah pemanasan 105<sup>0</sup> C (mg)

b = berat filter kering (sesudah dipanaskan 105<sup>0</sup> C ) (mg)

c = sampel (ml)

### 5. TDS

Total padatan terlarut (TDS) merupakan jumlah padatan terlarut yang terkandung di dalam perairan. Total padatan terlarut adalah senyawa-senyawa terlarut yang dapat melewati kertas saring dan tetap tertinggal setelah filter diuapkan pada 103<sup>0</sup>C sampai 105<sup>0</sup>C. Menurut Alaerts dan Santika (1984 : 142) prosedur kerja untuk melakukan pengukuran TDS adalah sebagai berikut :

- a. Memanaskan cawan yang kering dalam oven selama 1 jam, kemudian didinginkan dan dimasukkan ke dalam desikator dan timbang.
- b. Menuangkan filtrat yang telah disaring dari perlakuan padatan tersuspensi sebanyak 25 ml ke dalam cawan. Kemudian cawan dioven pada suhu 103<sup>0</sup> C sampai 105<sup>0</sup> C selama 1 jam. Keluarkan cawan dari dalam oven kemudian dinginkan dalam desikator dan timbang cepat. Ulangi pemanasan dan penimbangan sampai beratnya konstan
- c. Hitung berat zat padat terlarut dengan formula.

$$\text{Perhitungan} \quad : \text{TDS (mg/l)} = \frac{(a-b) \times 1000}{c} \dots\dots\dots(3.3).$$

Keterangan : a = berat cawan + filtrat(mg)

b = berat cawan kering (mg)

c = volume sampel (ml)

### 6. Turbiditas

Kekeruhan merupakan salah satu parameter penting yang ada di dalam perairan. Kekeruhan disebabkan oleh bahan organik dan anorganik baik yang terlarut maupun tersuspensi seperti pasir, partikel tanah, plankton dan organisme

lainnya, Kristanto (2004:80). Pengukuran turbiditas menggunakan alat turbidimeter dengan satuan NTU.

#### 7. Nitrogen (N)

Di dalam air, nitrogen terdiri dari nitrogen anorganik dan organik. Nitrogen anorganik terdiri atas amonia ( $\text{NH}_3$ ), amonium ( $\text{NH}_4$ ), nitrit ( $\text{NO}_2$ ), nitrat ( $\text{NO}_3$ ) dan molekul nitrogen ( $\text{NO}_2$ ). Metode yang digunakan dalam pengukuran N total adalah sebagai berikut.

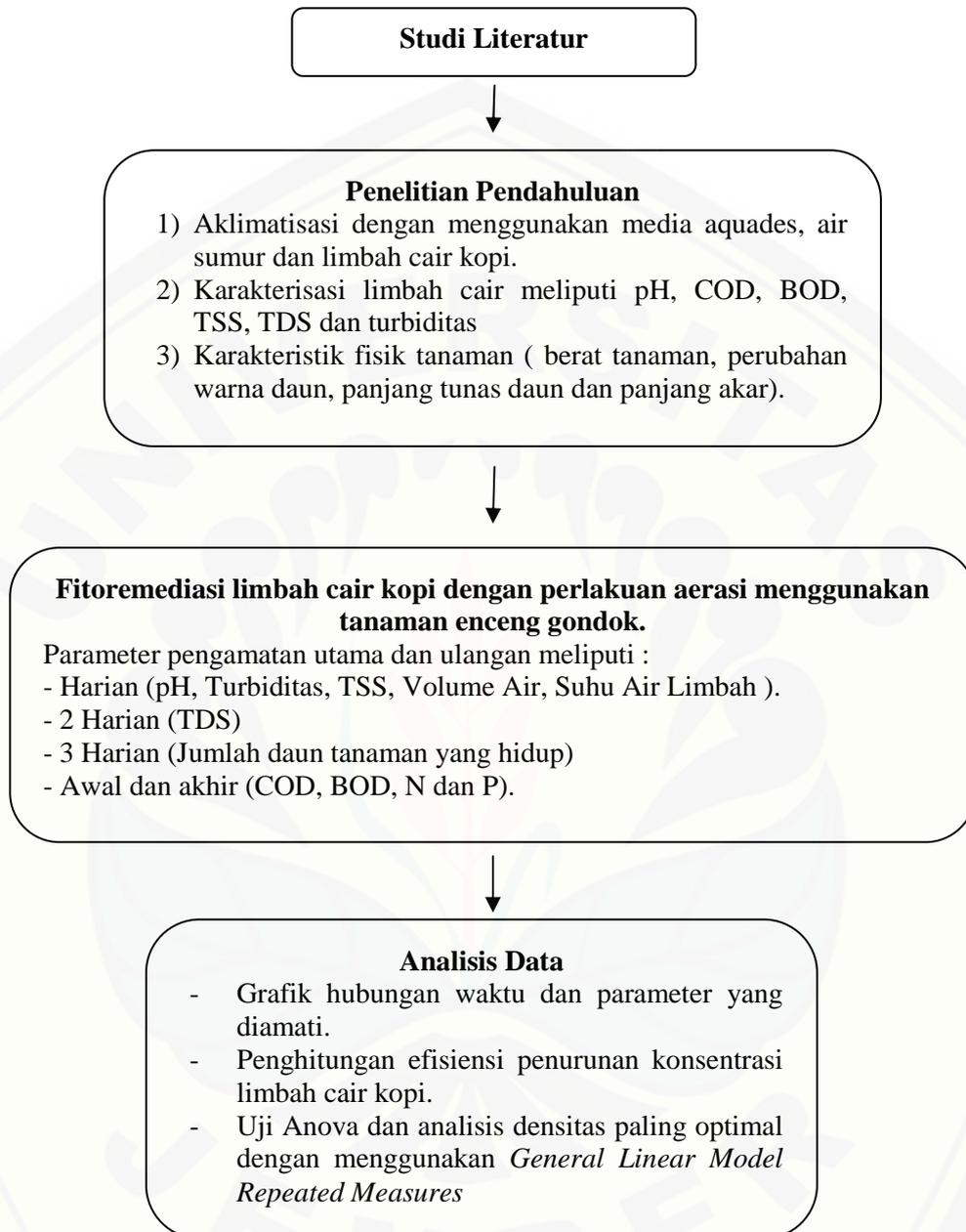
- a. 25 ml sampel disiapkan, dan ditambahkan 7,5 gram  $\text{K}_2\text{SO}_4$  dan 15 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat.
- b. Sampel dipanaskan hingga hampir kering, kemudian ditambahkan aquades lagi dan dipanaskan kembali sampai larutan jernih. Setelah itu sampel didinginkan dan jumlah volumenya dikembalikan hingga seperti volume awal.
- c. Serbuk seng, 15 ml  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , indikator PP dan NaOH 50% ditambahkan hingga berwarna merah muda.
- d. Sampel didestilasi, destilat kemudian ditampung pada larutan HCl dan dianalisis.
- e. 1 ml larutan nessler dan 1 ml larutan garam seignete ditambahkan.
- f. Sampel dikocok dan dibiarkan selama 10 menit, kemudian dibaca dengan menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 410 nm, absorbansi dicatat (Institut Teknologi Sepuluh November, 2011).

#### 8. Phospor

Menurut Kristanto (2004:85), phospor merupakan salah satu zat yang terdapat di dalam air yang dinyatakan dalam mg/liter atau %. Pada air alami keberadaan phospor diperbolehkan berkisar antara 0,005 – 0,02 mg/liter. Berikut ini adalah tahapan dalam analisis phospor.

- a. 25 ml sampel disiapkan dan ditambahkan larutan digest P
- b. Sampel dipanaskan hingga hampir kering, kemudian ditambahkan aquades lagi dan dipanaskan kembali sampai larutan jernih. Setelah itu sampel didinginkan dan jumlah volumenya dikembalikan hingga seperti volume awal.
- c. Serbuk seng, 15 ml  $K_2SO_4$ , indikator PP dan NaOH 50% ditambahkan hingga berwarna merah muda.
- d. 1 ml larutan *ammonium molybdate* dan 3 tetes  $SnCl_2$  ditambahkan.
- e. Sampel dikocok dan dibiarkan selama 10 menit, kemudian dibaca dengan menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 650 nm, absorbansi dicatat.

### 3.4. Diagram Penelitian



**Gambar 3.2.** Diagram penelitian fitoremediasi

### 3.5. Analisis Data

#### 3.5.1. Analisis Data Dengan Microsoft Excel

Analisis data akan dilakukan dengan menggunakan program Microsoft Excel dalam bentuk grafik yang menggambarkan hubungan waktu dan data yang diamati meliputi pH, BOD, COD, TSS, TDS, alkalinitas, N, P dan turbiditas selanjutnya melakukan penghitungan efisiensi penyerapan limbah oleh tanaman eceng gondok terhadap limbah cair kopi. Untuk mengetahui efisiensi penurunan kandungan konsentrasi limbah, bisa menggunakan perhitungan efisiensi. Perhitungan efisiensi didasarkan pada penurunan konsentrasi dari masing-masing parameter selama perlakuan. Persamaan perhitungannya adalah :

$$E = \frac{Co - Ci}{Ci} \times 100 \% \dots\dots\dots(3.8).$$

Keterangan :

$E$  = Nilai efisiensi (%).

$Co$  = Konsentrasi pencemar sebelum perlakuan.

$Ci$  = Konsentrasi pencemar setelah perlakuan (Muljadi, 2009).

#### 3.5.2. Analisis Statistik

Untuk membandingkan parameter COD dan kekeruhan pada masing-masing akuarium, maka dilakukan *One Way Analysis of Variance* atau Uji Anova menggunakan metode *Multiple Comparison Test (LDS)* dan metode *Duncan*. Pengambilan data sampel COD dan kekeruhan dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan dua faktor dan dua ulangan. Analisis statistik yang digunakan adalah uji F dengan taraf signifikansi 5%. Untuk mendapatkan nilai perbandingan dari Uji Anova, data akan diolah dengan menggunakan software SPSS 16. Selain itu untuk mengetahui densitas terbaik yang digunakan pada fitoremediasi ini, analisis yang digunakan adalah dengan menggunakan *General Linear Model Repeated Measures*. Nilai densitas terbaik didasarkan pada nilai rata-rata keseluruhan efisiensi dari parameter COD, BOD, TSS dan kekeruhan menggunakan software SPSS 16.0. Berikut juga akan disajikan rumus manual dalam perhitungan uji anova seperti yang tersaji pada **Tabel 3.2.**

Tabel 3.2. Rumus Manual Perhitungan Anova

Sumber Keragaman (SK)	Jumlah Kuadrat (JK)	Derajat Bebas (dB)	Kuadrat Tengah (KT)	F hitung	F Tabel
Rata-Rata Kolom	JKK	dB numerator = k-1	JKK/(k-1)	KTK/KTG	FINV ( $\alpha$ , dB num, dB denum)
Galat	JKG	dB denominator = N-k	JKG/(N-k)		
Total	JKT	N-1			

Sumber : Santoso ( 2008: 44)

Keterangan :

JKT :  $(\sum X^2) - (G^2/N)$

JKK :  $(\sum (T^2/n)) - (G^2/N)$

JKG : JKT - JKK

KTK : JKK/(k-1)

JKG : JKG/(N-k)

F hitung : KTK/KTG

$\alpha$  : 0,05

X : Nilai masing-masing sampel pada semua kelompok dikuadratkan, kemudian hasil keseluruhannya ditotal.

T : Total X masing-masing kelompok

G : Semua nilai sampel dijumlah, kemudian hasilnya dikuadratkan

n : Jumlah sampel masing-masing kelompok

N : Jumlah sampel keseluruhan

k : Banyaknya kelompok (Walpole, 1995:5).

## BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Menurut Juhaeti *et al.* (2005 : 31) fitoremediasi merupakan salah satu metode penanganan limbah alami ramah lingkungan yang sering digunakan untuk menghilangkan polutan atau kandungan berbahaya yang ada di dalam tanah atau limbah. Fitoremediasi memanfaatkan tumbuh-tumbuhan untuk mengurangi kadar konsentrasi zat pencemar yang terdapat di dalam limbah sehingga cairan limbah tersebut apabila di buang ke tanah ataupun air tidak mencemari lingkungan yang ada di sekitarnya. Untuk membantu proses fitoremediasi dalam proses penanganan limbah secara alami di dalam perairan, maka digunakan salah satu cara penambahan oksigen yang dimasukkan ke dalam cairan limbah sehingga proses penanganan limbah ini bisa berjalan dengan optimal. Metode tersebut adalah metode aerasi, aerasi merupakan sebuah metode penambahan oksigen yang dimasukkan ke dalam perairan yang bertujuan untuk mengikat senyawa-senyawa yang sangat berbahaya yang terdapat di dalam suatu limbah, sehingga kadar berbahaya yang terdapat di dalam suatu limbah bisa berkurang atau bahkan hilang.

Limbah cair pengolahan kopi merupakan limbah cair yang dihasilkan dari proses pengupasan (*pulping*) dan pencucian (*washing*) yang diperoleh dari pengolahan kopi cara basah ataupun semi basah. Limbah cair kopi mengandung komposisi zat beracun yang dihasilkan dari *depulping* dan pengupasan kulit yang berlendir. Air limbah buangan biasanya memiliki kandungan COD dan BOD yang cukup tinggi sehingga apabila dibuang langsung ke dalam perairan dapat mengurangi kadar oksigen terlarut (DO) dan mematikan biota dan mikroorganisme yang ada di dalam perairan karena jumlah oksigen terlarut yang tersedia dan mikroorganisme tidak seimbang. Akibatnya dari hal tersebut perairan akan menjadi tercemar dan berbau karena mikroorganisme dan biota yang membutuhkan oksigen (aerobik) mati sehingga kadar-kadar berbahaya dan beracun yang ada di dalam cairan limbah sulit untuk terurai (Kodoatie dan Sjarief, 2011:196).

#### 4.1. Karakteristik Limbah Cair Kopi

Tabel 4.1. Karakteristik awal limbah cair kopi

No	Parameter	Kadar Limbah		Satuan
		Nilai rata-rata	Baku mutu*	
1	BOD <sub>5</sub>	3643,00	75	mg/l
2	COD	5643,50	200	mg/l
3	TSS	210,6	100	mg/l
4	Kekeruhan	735,50		NTU
5	TDS	521,00		mg/l
6	pH	4,05	6 - 9	
7	Nitrogen	145,23		mg/l
8	Phospor	44,93		mg/l

Sumber : Data primer diolah (2014)

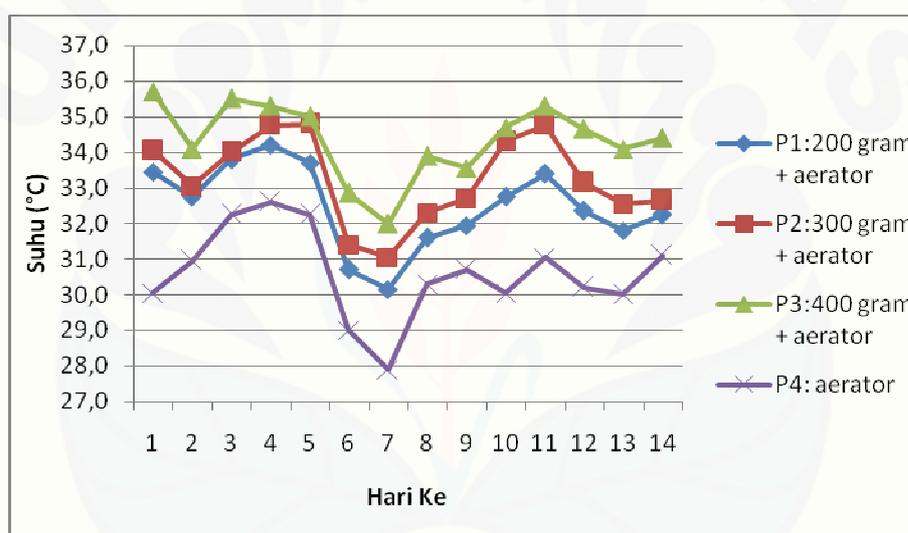
\* Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 tahun 2013

Dari tabel di atas menunjukkan bahwa pada parameter BOD<sub>5</sub>, baku mutu limbah cair kopi yang diperbolehkan untuk dibuang ke lingkungan adalah 75 mg/l, sementara pada karakteristik awal limbah cair kopi memiliki kandungan BOD<sub>5</sub> yang cukup tinggi dan tidak layak dibuang ke lingkungan yakni rata-rata sebesar 3643 mg/L. Sementara untuk COD, karakteristik awal limbah cair kopi memiliki kadar COD rata-rata sebesar 5643 mg/l. Parameter tersebut masih jauh dari standard baku mutu COD untuk limbah cair kopi yang ditentukan oleh pemerintah yakni 200 mg/l sehingga dilihat dari parameter COD, limbah ini belum layak untuk dibuang ke lingkungan. Begitu juga dengan dua parameter yang berikutnya yakni TSS dan pH, di mana nilai TSS telah melewati baku mutu yang ditentukan oleh pemerintah yakni rata-rata 210,6 mg/l, sementara baku mutu yang telah ditentukan untuk TSS adalah 100 mg/l. Kemudian untuk pH awal limbah cair kopi memiliki nilai rata-rata 4,05 yang berarti melewati ambang batas dari standard baku mutu yang ditentukan yakni dengan nilai pH 6-9. Dapat dilihat dari seluruh parameter awal limbah cair kopi ini belum layak untuk dibuang langsung ke lingkungan karena tidak masuk dalam baku mutu limbah cair kopi menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 tahun 2013.

## 4.2. Parameter Akhir Proses Fitoremediasi

### 4.2.1. Suhu Limbah

Suhu merupakan salah satu parameter yang paling penting yang mempunyai pengaruh terhadap aktivitas biota atau mikroorganisme yang ada di dalam perairan. Semakin tinggi suhu suatu perairan maka akan mempercepat proses respirasi dan pertumbuhan mikroorganisme yang ada di dalam perairan. Suhu sangat berpengaruh terhadap kelarutan oksigen, pada dasarnya oksigen berbanding terbalik dengan suhu artinya apabila suhu semakin tinggi maka kelarutan oksigen akan semakin berkurang (Kordi *et al.*, 2007:58). Berikut akan disajikan grafik nilai suhu limbah selama proses fitoremediasi seperti yang terlihat pada **Gambar 4.1**.



Gambar 4.1. Grafik perubahan suhu (Sumber : data primer diolah 2014)

Dari Gambar 4.1. menunjukkan bahwa setiap perlakuan memiliki selisih suhu yang tidak jauh berbeda pada setiap perlakuan. Selama 14 hari, suhu limbah cair ini cenderung berubah-ubah namun tidak mengalami perubahan yang signifikan. Seperti dilihat pada P1 memiliki rata-rata suhu  $32,49^{\circ}\text{C}$ , P2 memiliki rata-rata suhu  $33,25^{\circ}\text{C}$ , kemudian untuk P3 memiliki rata-rata suhu paling tinggi sebesar  $34,36^{\circ}\text{C}$ , sedangkan untuk P4 memiliki rata-rata suhu yang paling rendah yakni  $30,60^{\circ}\text{C}$ .

Jumlah densitas dari tanaman enceng gondok pada perlakuan ini mempengaruhi perbedaan suhu di dalam akuarium. Semakin rapat tanaman enceng

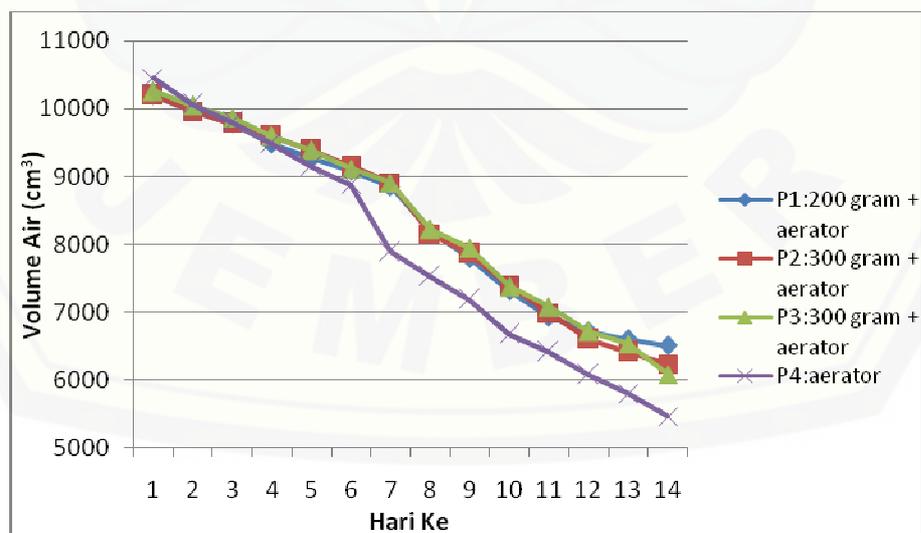
gondok, maka suhunya akan semakin tinggi. Sementara P4 cenderung lebih rendah akibat tidak adanya tanaman eceng gondok.

Menurut Kordi *et al.* (2007:58), suhu dapat berpengaruh terhadap proses metabolisme mikroorganisme dan tingkat kelarutan oksigen. Suhu berbanding terbalik dengan tingkat kejenuhan oksigen terlarut dan berbanding lurus dengan laju konsumsi oksigen mikroorganisme, artinya semakin tinggi suhu air limbah maka semakin besar pula jumlah oksigen terlarut yang dikonsumsi oleh mikroorganisme sehingga hal itu menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan antara mikroorganisme yang ada dan jumlah oksigen terlarut yang tersedia. Hal itu dapat menyebabkan mikroorganisme aerob mati karena oksigen terlarut yang dikonsumsi habis dan digantikan oleh mikroba anaerob yang dapat menimbulkan bau busuk akibat gas metana ( $\text{CH}_4$ ) dan asam sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) yang dihasilkan.

#### 4.2.2. Volume Limbah

Volume limbah diukur untuk mengetahui seberapa besar volume cairan limbah yang hilang pada proses fitoremediasi ini, hal ini bisa diakibatkan oleh adanya evapotranspirasi oleh tanaman maupun evaporasi yang diakibatkan oleh tingginya suhu di dalam greenhouse. Berikut akan disajikan grafik tentang penurunan nilai volume air selama proses fitoremediasi seperti yang tersaji pada

#### Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Grafik penurunan volume air (Sumber : data primer diolah 2014)

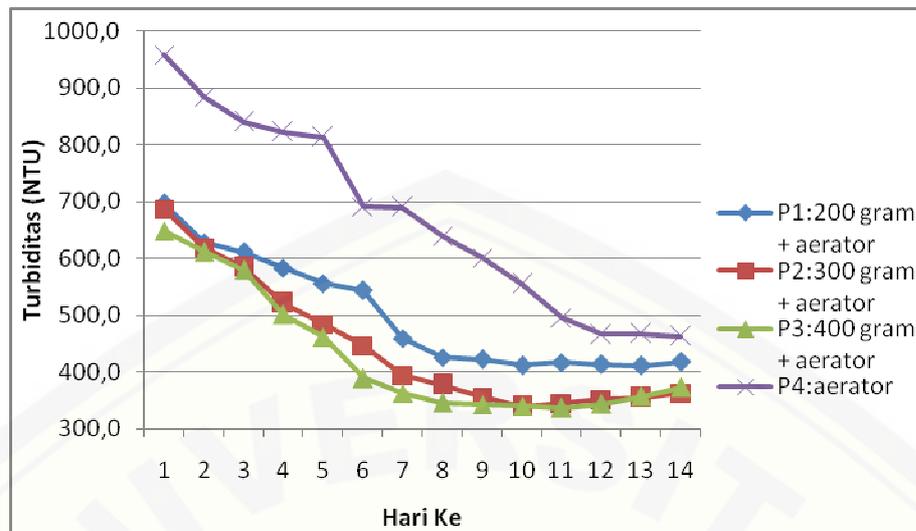
Berdasarkan Gambar 4.2. menunjukkan bahwa terjadi penurunan volume air yang cukup drastis mulai dari ke 1 hingga hari ke 14. Pada P1 mengalami kehilangan volume air sebesar 36,18%, pada P2 mengalami kehilangan air sebesar 38,82%, kemudian untuk P3 mengalami kehilangan air sebesar 40,64%, sedangkan untuk P4 mengalami kehilangan air yang paling besar yakni sebesar 47,69%.

Dapat ditunjukkan pada grafik bahwa volume limbah pada masing-masing akuarium mengalami penurunan yang cukup signifikan. Hal ini diakibatkan oleh adanya proses evaporasi dan evapotranspirasi tanaman yang diakibatkan oleh suhu tinggi di dalam greenhouse. Pada akuarium yang terdapat eceng gondok, tingkat kehilangan air akan semakin besar dengan jumlah densitas tanaman yang semakin besar. Hal ini diakibatkan oleh banyak air yang diserap oleh tanaman sehingga jumlah kehilangan air berbanding lurus dengan jumlah densitas eceng gondok. Pada P4 mengalami kehilangan air paling besar karena selain terjadi proses penguapan permukaan air, juga disebabkan oleh percikan air yang keluar dari akuarium yang diakibatkan oleh proses aerasi.

Menurut Ratnani (2011:22), proses evapotranspirasi tanaman yang dilakukan oleh eceng gondok juga biasa disebut dengan *fitovolatilisasi*, dimana tanaman eceng gondok akan menyerap air bersama nutrisi lainnya melalui akar, kemudian diangkut ke daun melalui pembuluh angkut (*xylem*) untuk kemudian dilepas ke udara melalui stomata.

#### 4.2.3. Kekeruhan

Kekeruhan atau turbiditas merupakan salah satu sifat optis air yang menunjukkan seberapa besar intensitas cahaya untuk masuk ke dalam perairan dan biasa dinyatakan dengan besaran NTU. Kekeruhan diakibatkan oleh kandungan bahan organik dan anorganik yang ada di dalam perairan yang dapat mengganggu proses masuknya cahaya dan kehidupan biota atau mikroorganisme yang ada di dalam perairan (Kristanto, 2004:81). Grafik tingkat kekeruhan limbah cair kopi selama proses fitoremediasi dapat dilihat pada **Gambar 4.3**.



Gambar 4.3. Grafik penurunan nilai kekeruhan (Sumber : data primer diolah 2014)

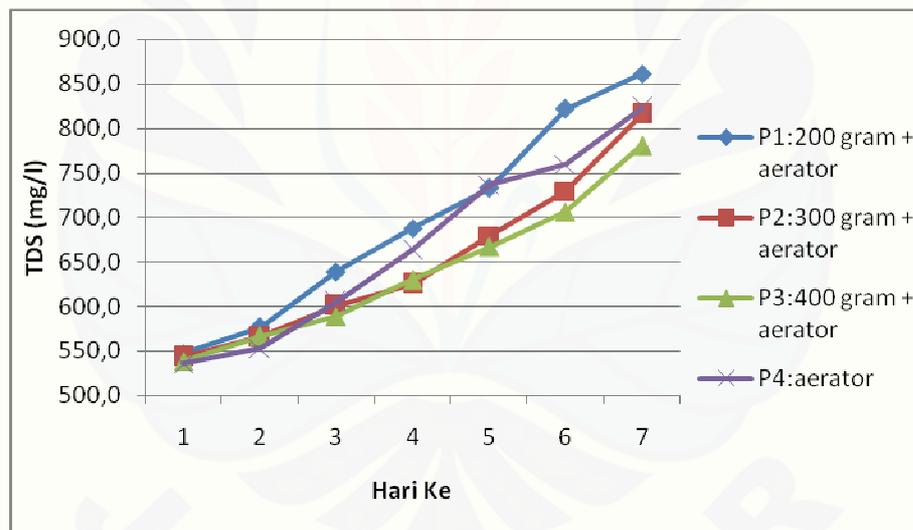
Berdasarkan Gambar 4.3. menunjukkan bahwa grafik tingkat kekeruhan mengalami penurunan untuk semua perlakuan proses fitoremediasi. Untuk P1 misalnya, memiliki nilai efisiensi sebesar 40,04%. Untuk P2 memiliki efisiensi sebesar 47,09%. Kemudian untuk P3 yang memiliki nilai efisiensi sebesar 42,43%. Sedangkan untuk P4 yang berlaku sebagai kontrol memiliki nilai awal efisiensi sebesar 51,67%.

Pada perlakuan fitoremediasi di atas menunjukkan efisiensi tanaman eceng gondok dalam menurunkan kekeruhan, tanaman eceng gondok mampu menurunkan nilai kekeruhan dengan efisiensi lebih dari 40%. P4 memiliki nilai efisiensi paling tinggi karena tidak adanya pembusukan dari tanaman eceng gondok pada akuarium tersebut sehingga nilai kekeruhan berkurang secara terus menerus. Sementara pada P1, P2 dan P3 adanya kenaikan kembali nilai kekeruhan di akhir perlakuan yang diakibatkan adanya pembusukan tanaman membuat nilai efisiensinya semakin kecil. Pada perlakuan ini, jumlah densitas tanaman eceng gondok berpengaruh terhadap penurunan nilai kekeruhan hanya sampai pada hari ke-9, yakni semakin besar jumlah densitas tanaman maka akan semakin besar pula nilai efisiensi penurunan kekeruhan. Namun setelah hari ke-9 laju nilai kekeruhan cenderung berubah-ubah sehingga mempengaruhi nilai akhir efisiensi. Hal ini diakibatkan oleh adanya proses pembusukan tanaman eceng gondok pada masing-masing akuarium. Rossiana *et al* .(2007:11) menyatakan

bahwa tanaman eceng gondok memiliki prinsip *rizofiltrasi* untuk menurunkan kekeruhan yakni penyerapan kontaminan bersama air dan nutrient untuk diendapkan pada bagian tanaman. Selain itu penurunan kekeruhan ini juga diakibatkan oleh adanya penguraian senyawa organik oleh mikroorganisme yang juga biasa disebut dengan *fitodegradasi*.

#### 4.2.4. TDS (*Total Dissolved Solid*)

TDS atau *total dissolved solid* merupakan berat total padatan yang terlarut pada suatu perairan baik itu padatan yang dinyatakan dalam mg/l. TDS biasanya diakibatkan oleh bahan anorganik berupa ion-ion yang umum dijumpai di perairan seperti contohnya limbah pencucian rumah tangga dan limbah pencucian industri (Kristanto, 2004:82). Berikut ini merupakan grafik tingkat perubahan yang terjadi pada TDS limbah cair kopi pada proses fitoremediasi seperti yang tersaji pada **Gambar 4.4**.



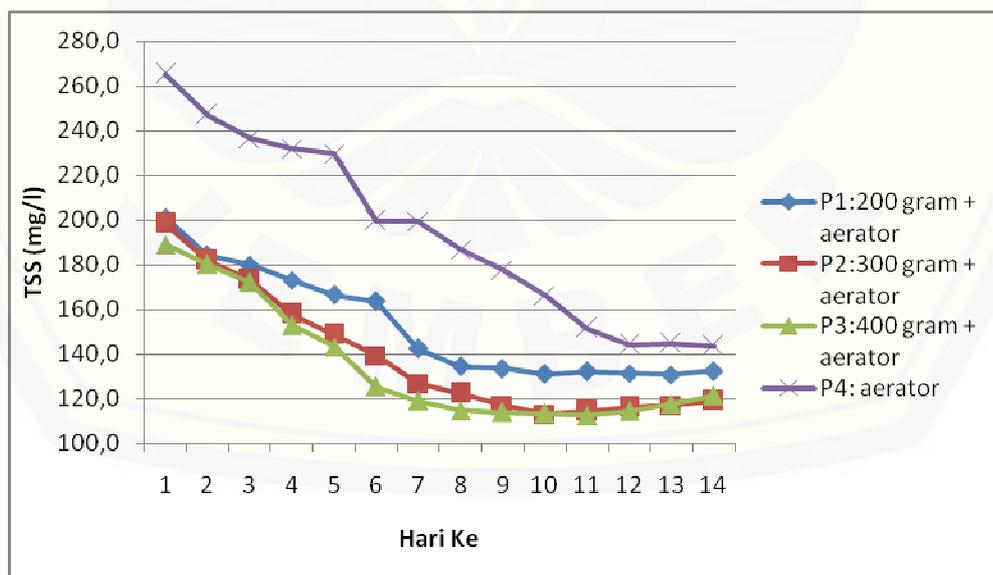
Gambar 4.4. Grafik kenaikan nilai TDS (Sumber : data primer diolah 2014)

Berdasarkan gambar 4.4. menunjukkan bahwa perlakuan yang mempunyai nilai TDS terbesar adalah P1 (861 mg/l) kemudian berturut-turut diikuti oleh P4 (823 mg/l), P2 (816 mg/l) dan P3 (780,5 mg/l). Hal ini dapat disimpulkan bahwa kerapatan tanaman eceng gondok berpengaruh terhadap kelarutan dan pemecahan senyawa organik yang ada di dalam akuarium, karena semakin rapat densitas dari eceng gondok maka proses aerasi yang membantu proses pelarutan senyawa

organik juga tidak akan berjalan maksimal. Selain itu kenaikan nilai TDS juga di akibatkan oleh adanya penguraian senyawa organik oleh mikroorganisme. Pada P1 memiliki nilai TDS lebih tinggi karena keseluruhan tanaman eceng gondok yang telah membusuk terlebih dahulu akan tenggelam ke dalam air limbah dan dilarutkan oleh percikan air dari aerator. Sementara nilai TDS pada akuarium P2 dan P3 cenderung lebih rendah karena pembusukan yang terjadi masih belum terlalu banyak sehingga partikel organik yang dilarutkan lebih sedikit. Pada P4 memiliki nilai kelarutan padatan yang cukup tinggi karena proses perlarutan partikel organik oleh proses aerasi pada akuarium tersebut berjalan cukup maksimal.

#### 4.2.5. TSS (*Total Suspended Solid*)

TSS atau total padatan tersuspensi merupakan kandungan padatan yang tidak dapat terlarut yang ada di dalam perairan yang diakibatkan oleh partikel-partikel kecil baik itu organik maupun anorganik dan dinyatakan mg/l. Pengukuran TSS diukur berdasarkan berat kering partikel yang terperangkap oleh filter, umumnya filter yang digunakan memiliki ukuran pori 45 $\mu$ m (Kristanto, 2004:82). Dari hasil pengamatan yang telah dilakukan, didapatkan hasil grafik seperti yang tersaji pada **Gambar 4.5**.



Gambar 4.5. Grafik penurunan nilai TSS (Sumber : data primer diolah 2014)

Berdasarkan Gambar 4.5. menunjukkan bahwa nilai TSS mengalami penurunan yang signifikan mulai dari awal perlakuan hingga akhir. Kemudian setelah dilakukan penghitungan efisiensi maka didapatkan nilai efisiensi dari penurunan nilai TSS tersebut yakni berturut-turut untuk P1, P2, P3 dan P4 adalah sebesar 34,1%; 40% ; 35,8% dan 45,9%.

Penurunan nilai TSS pada fitoremediasi ini diakibatkan oleh adanya penyerapan kontaminan dan air oleh tanaman, pemecahan senyawa organik oleh mikroorganisme, partikel yang mengendap serta adanya peristiwa pelarutan bahan organik pada proses aerasi. Nilai efisiensi TSS paling tinggi terjadi pada P4, hal ini diakibatkan karena pada P4 banyak bahan organik yang terpercik pada dinding akuarium sehingga menempel dan menjadi endapan, proses penguapan yang cukup besar serta adanya prinsip aerasi yang maksimal sehingga partikel-partikel kecil menjadi hilang ataupun terlarut. Pada P1, P2 dan P3 memiliki nilai efisiensi TSS yang relatif lebih kecil dari P4, hal ini diakibatkan adanya partikel-partikel kecil dari proses pembusukan yang membuat nilai TSS di akhir perlakuan mengalami kenaikan. Penurunan nilai TSS pada akuarium P1, P2 dan P3 juga dipengaruhi oleh penyerapan akar tanaman dan penguraian oleh mikroorganisme. Dari data yang telah diperoleh jumlah densitas tanaman eceng gondok berpengaruh terhadap nilai TSS sampai pada hari ke-9 dimana semakin besar jumlah densitas tanaman maka akan semakin besar pula nilai penurunan TSS. Namun setelah hari ke-9 nilai efisiensi TSS cenderung berubah-ubah atau bahkan mengalami kenaikan yang menyebabkan laju nilai efisiensi tidak konstan. Hal ini diakibatkan oleh adanya proses pembusukan tanaman eceng gondok sehingga dari proses pembusukan tersebut akan membentuk partikel-partikel kecil yang membuat nilai TSS mengalami kenaikan.

#### 4.2.6. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD atau kebutuhan oksigen kimiawi merupakan suatu parameter air yang biasa digunakan untuk mengetahui jumlah bahan organik yang terkandung di dalam suatu perairan. COD adalah banyaknya jumlah oksigen terlarut total yang dibutuhkan oleh perairan untuk mereduksi dan mengoksidasi senyawa-senyawa

organik yang ada di dalam perairan (Kristanto, 2004:89). Hasil pengukuran dan grafik dari nilai COD pada limbah cair kopi selama proses fitoremediasi dapat dilihat pada **Tabel 4.2.** dan **Gambar 4.6.**

Tabel 4.2. Hasil Pengukuran COD

Hari Ke	COD (mg/l)			
	P1	P2	P3	P4
1	5643,5	5643,5	5643,5	5643,5
14	1658	1291	1139	3015
Nilai Efisiensi	70,62%	77,12%	79,82%	46,58%



Gambar 4.6. Grafik nilai efisiensi COD (Sumber : data primer diolah 2014)

Berdasarkan grafik 4.6. di atas menunjukkan bahwa semua parameter COD pada masing-masing perlakuan pada proses fitoremediasi limbah cair kopi ini mempunyai nilai efisiensi penurunan yang cukup tinggi dari awal perlakuan hingga akhir yakni pada hari ke 14. Nilai efisiensi tertinggi ditunjukkan oleh P3 sebesar 79,82%, kemudian P2 sebesar 77,12%, P1 sebesar 70,62%, sedangkan yang paling rendah ditunjukkan oleh P4 dengan nilai efisiensi sebesar 46,58%.

Dari data tersebut dapat ditunjukkan bahwa efisiensi penurunan COD tertinggi ditunjukkan oleh P3, sementara untuk efisiensi penurunan COD terendah ditunjukkan oleh P4. Hal ini dikarenakan densitas eceng gondok pada P3 merupakan yang terbesar yakni 400 gram, sementara untuk P4 tidak menggunakan

eceng gondok yakni hanya menggunakan aerator, hal itu menunjukkan bahwa prinsip aerasi efisien untuk menurunkan COD sebesar 46,58%. Dari data tersebut juga dapat dilihat bahwa semakin banyak jumlah densitas dari tanaman eceng gondok, maka semakin tinggi pula tingkat efisiensi dari penurunan nilai COD. Hal ini diakibatkan perbedaan jumlah akar yang mendukung ketersediaan oksigen terlarut di dalam air yang mendukung mikroba untuk merombak senyawa organik dalam kondisi aerobik. Hartanti *et al.*(2013:35) menyatakan bahwa oksigen dipenuhi oleh tanaman eceng gondok melalui proses fotosintesis yang didistribusikan melalui akar-akar yang dimiliki untuk memenuhi kebutuhan oksigen bagi mikroorganisme perombak dalam menurunkan konsentrasi air limbah. Selain itu proses aerasi pada fitoremediasi ini juga membantu untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut di dalam air melalui transfer gas oksigen dari udara (Laksmi *et al.*, 1993:74).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Puspitaningrum *et al.* (2012:54), menunjukkan bahwa tumbuhan air efektif untuk meningkatkan kadar oksigen di dalam air melalui proses fotosintesis, tanaman eceng gondok sebanyak 30 gram dalam 10 liter air mampu memproduksi 0,13 mg/l melalui proses fotosintesis. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Hartanti *et al.* (2013:35), keberadaan eceng gondok ini mampu meningkatkan kadar oksigen terlarut karena akar eceng gondok mampu untuk menyuplai oksigen terlarut pada saat proses fotosintesis sehingga memudahkan mikroba aerob untuk mereduksi senyawa organik dalam kondisi aerobik sehingga juga akan menurunkan nilai COD. Namun dari hasil data penelitian yang telah diperoleh, limbah cair kopi dari hasil fitoremediasi ini masih belum layak untuk dibuang ke lingkungan sekitar. Hal ini dikarenakan baku mutu yang diperbolehkan untuk limbah cair kopi adalah 200 mg/l, sementara nilai COD terendah untuk perlakuan dari penelitian ini adalah 1139 mg/l.

#### 4.2.7. BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

Kebutuhan oksigen biologi (BOD) didefinisikan sebagai banyaknya oksigen yang diperlukan oleh organisme pada saat pemecahan bahan organik pada kondisi aerobik. Pemecahan bahan organik diartikan bahwa bahan organik

ini digunakan oleh organisme sebagai bahan makanan dan energinya diperoleh dari proses oksidasi (Purnawijayanti, 2005:15). Hasil pengukuran dan grafik penurunan nilai BOD pada proses fitoremediasi ini dapat dilihat pada **Tabel 4.3.** dan **Gambar 4.7.**

Tabel 4.3. Hasil Pengukuran BOD

Hari Ke	BOD (mg/l)			
	P1	P2	P3	P4
1	3643	3643	3643	3643
14	1055	825	885	1931
Nilai Efisiensi	71,04%	77,35%	75,71%	46,99%



Gambar 4.7. Grafik nilai efisiensi BOD (Sumber : data primer diolah 2014)

Berdasarkan grafik di atas dapat ditunjukkan besarnya nilai efisiensi penurunan nilai BOD mulai dari hari ke 1 hingga hari ke 14. Setelah dilakukan penghitungan data didapatkan nilai efisiensi dari masing-masing akuarium dimana untuk nilai efisiensi terbesar ditunjukkan oleh P2 dengan nilai efisiensi sebesar 77,35%. Sedangkan untuk nilai efisiensi penurunan BOD berturut-turut untuk 4 perlakuan P1, P2, P3 dan P4 adalah sebesar 71,04% ; 77,35% ; 75,71% dan 46,99%.

Penurunan nilai BOD ini mempunyai faktor yang sama dengan penurunan nilai COD. Penurunan BOD juga diakibatkan oleh suplai oksigen dari perakaran dan transfer gas dari udara akibat kerja aerator sehingga ketersediaan oksigen

terlarut di dalam air menjadi bertambah dan mendukung senyawa organik untuk mereduksi bahan-bahan organik yang mudah terurai sehingga nilai BOD pada limbah cair kopi ini menjadi turun. Namun apabila dilihat dari jumlah densitas tanaman, nilai efisiensi akhir tertinggi justru diperlihatkan oleh P2 yang mempunyai densitas tanaman 300 gram, sementara P1 dan P3 mempunyai kecenderungan nilai efisiensi yang lebih kecil. Hal ini bisa diakibatkan mikroorganisme pada P1 dan P3 memiliki kebutuhan oksigen terlarut yang lebih tinggi dalam proses reaksi biokimia atau penguraian bahan organik meskipun oksigen terlarut di dalam air telah disuplai oleh tanaman eceng gondok (Kristanto, 2004:87). Sementara pada P4 memiliki nilai efisiensi yang paling kecil yang disebabkan tidak adanya suplai oksigen dari tanaman eceng gondok.

Namun dilihat dari tingginya nilai akhir BOD, limbah cair kopi ini masih belum layak untuk di buang ke lingkungan sekitar karena nilai akhir BOD ini masih di atas ambang batas baku mutu limbah cair kopi menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 yakni sebesar 75 mg/l sehingga akan berdampak buruk pada lingkungan di sekitar.

#### 4.2.8. Fosfor

Fosfor merupakan salah satu unsur penting yang ada di dalam suatu ekosistem seperti halnya oksigen yang dinyatakan dalam mg/l. Di dalam ekosistem perairan fosfor terdapat dalam 3 bentuk yakni senyawa fosfor anorganik seperti ortofosfor, poliphosfat dan fosfor organik yang terbentuk dari kotoran atau tubuh organisme yang terurai (Alaerts dan Santika, 1984 : 159). Hasil pengukuran nilai fosfor pada proses fitoremediasi dapat dilihat pada **Tabel 4.4.**

Tabel 4.4. Hasil pengukuran fosfor

Phospor (mg/l)				
Hari Ke	P1	P2	P3	P4
1	44,93	44,93	44,93	44,93
14	99,695	36,12	60,985	58,425

Sumber : data primer diolah (2014)

Hasil pengukuran nilai fosfor pada tabel di atas menunjukkan bahwa selama 14 hari proses fitoremediasi, nilai parameter ini masih jauh dari ambang batas kandungan fosfor yang diperbolehkan di perairan alami yakni sebesar 5 mg/l (Presiden Republik Indonesia, 2001). Perlakuan pada proses fitoremediasi ini hanya mampu menurunkan kandungan fosfor pada P2 yakni sebesar 24%, sementara pada P1, P3 dan P4 nilai fosfor justru mengalami kenaikan berturut-turut sebesar 121,8% ; 35,8% dan 30%. Dari hal tersebut dapat disimpulkan bahwa proses fitoremediasi ini belum mampu untuk menurunkan kandungan fosfor sesuai dengan ambang batas kandungan fosfor di perairan alami, hal ini dikarenakan mayoritas nilai fosfor pada keempat akuarium tersebut mengalami kenaikan sehingga apabila dibuang langsung ke lingkungan justru akan berdampak buruk pada lingkungan perairan karena akan menyebabkan *eutrofikasi*.

Kenaikan nilai fosfor dalam fitoremediasi ini diakibatkan oleh adanya penguraian tanaman eceng gondok yang telah membusuk oleh mikroorganisme. Seperti yang terjadi pada P1 dan P3, tanaman eceng gondok mengalami pembusukan terlebih dahulu untuk kemudian hasil pembusukannya diuraikan oleh mikroorganisme. Sementara untuk penurunan nilai fosfor ini diakibatkan oleh adanya penyerapan secara berlebih kandungan P yang ada di dalam limbah cair kopi oleh tanaman eceng gondok yang masih hidup.

Menurut Kristanto (2004:85), peningkatan nilai fosfor di dalam perairan bisa diakibatkan oleh beberapa hal yakni limbah buangan, senyawa organik dalam protoplasma dan penguraian tumbuhan yang membusuk oleh mikroorganisme. Sedangkan menurut Mangkoedihardjo (2005) dalam prosesnya tanaman eceng gondok menggunakan proses *fitoakumulasi* yakni proses penyerapan nutrient dan kontaminan bersamaan dengan penyerapan air untuk diendapkan pada bagian tanaman seperti daun dan batang. Proses penyerapan ini terjadi akibat adanya gaya tarik menarik oleh molekul-molekul air yang ada pada tumbuhan. Zat-zat yang telah diserap oleh akar akan masuk ke pembuluh angkut (*xylem*) yang akan diteruskan ke batang dan daun. Pada P4, kenaikan nilai fosfor bukan disebabkan oleh penguraian tanaman eceng gondok yang telah

membusuk karena pada P4 tidak terdapat tanaman eceng gondok melainkan melalui proses penguraian bahan-bahan organik yang ada di dalam limbah cair kopi oleh mikroorganisme. Menurut Kristanto (2004:86), jika ada tumbuhan atau sisa tanaman yang mati maka bakteri pengurai akan mengembalikan fosfor ke dalam air sebagai zat organik terlarut.

#### 4.2.9. Nitrogen

Nitrogen merupakan salah satu unsur penting bagi pertumbuhan organisme yang dapat dijumpai di badan-badan perairan. Di dalam air nitrogen biasanya ditemukan dalam bentuk ammonia ( $\text{NH}_3$ ), ammonium ( $\text{NH}_4$ ), nitrit ( $\text{NO}_2$ ) dan nitrat ( $\text{NO}_3$ ) (Alaerts dan Santika, 1984 : 184). Berikut ini hasil pengukuran nilai nitrogen pada proses fitoremediasi sesuai dengan yang tertera pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4.5. Hasil pengukuran nitrogen

Nitrogen (mg/l)				
Hari Ke	P1	P2	P3	P4
1	145,225	145,225	145,225	145,225
14	246,26	144,91	173,72	122,595

Sumber : data primer diolah (2014)

Dari hasil pengukuran pada tabel diatas dapat disimpulkan bahwa P2 dan P4 belum mampu untuk menurunkan nilai nitrogen limbah cair kopi sesuai dengan ambang batas untuk kandungan nitrogen yang diperbolehkan di perairan alami yakni sebesar 20 mg/l (Presiden Republik Indonesia, 2001) meskipun pada perlakuan tersebut kadar nitrogen limbah cair kopi mengalami penurunan sebesar 0,2% untuk P2 dan 18,5% untuk P4. Sementara P1 dan P3 justru tidak mampu untuk menurunkan nilai nitrogen limbah cair kopi dalam fitoremediasi ini, hal ini disebabkan dengan adanya kenaikan nilai nitrogen pada kedua akuarium tersebut. P1 mengalami kenaikan nilai nitrogen sebesar 69%, sementara pada P3 mengalami kenaikan nilai nitrogen sebesar 19,6%.

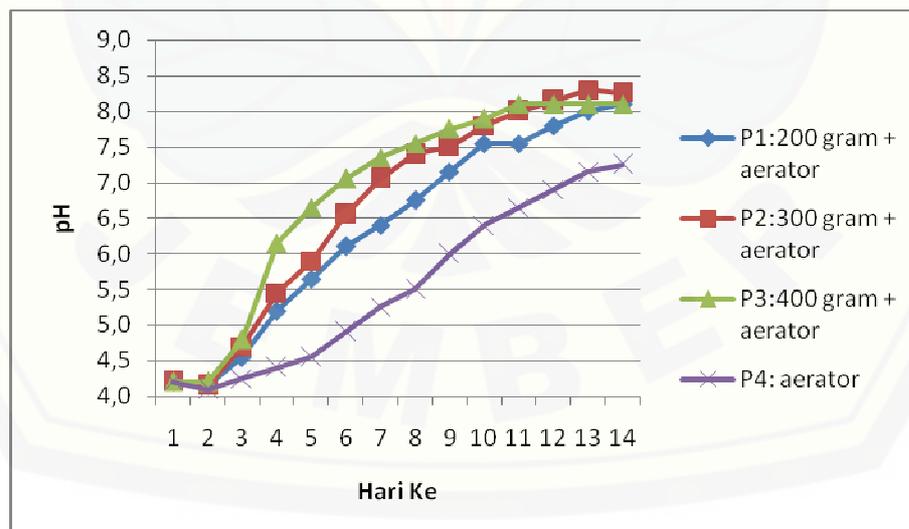
Dalam fitoremediasi ini akuarium yang terdapat eceng gondok memiliki kandungan nitrogen yang cenderung konstan atau bahkan mengalami kenaikan yang diakibatkan oleh dekomposisi mikroorganisme terhadap tanaman eceng gondok yang telah mati. Sementara pada P4 yang tidak terdapat tanaman eceng

gondok mengalami penurunan nilai nitrogen karena kandungan nitrogen pada P4 telah dimanfaatkan oleh mikroorganisme anaerob untuk melakukan respirasi.

Menurut Kristanto (2004 : 84), kenaikan dari nilai nitrogen ini bisa diakibatkan oleh adanya dekomposisi yang dilakukan oleh mikroorganisme terhadap tumbuh-tumbuhan yang telah membusuk dan juga hewan air yang telah mati (*amonifikasi*). Sebagian besar organisme membutuhkan oksigen terlarut untuk melakukan respirasi dalam kondisi aerobik, tetapi ketika konsentrasi oksigen tidak memadai maka beberapa bakteri akan menggunakan alternatif untuk melakukan respirasi secara anaerob seperti dengan memanfaatkan nitrat, sulfat dan karbondioksida.

#### 4.2.10. pH

pH (*puissance negative de H*) pada dasarnya merupakan suatu tingkatan untuk menyatakan derajat keasaman di dalam air. pH didefinisikan sebagai kologaritma dari aktivitas ion hidrogen ( $H^+$ ) yang terlarut yang mempunyai skala 0-14. Perubahan pH di dalam air dapat memberikan dampak buruk terhadap aktivitas biota atau mikroorganisme yang ada di dalam air (Kordi *et al.*, 2007:46). Berikut ini merupakan grafik perubahan pH limbah cair kopi yang terjadi selama fitoremediasi seperti yang tersaji pada **Gambar 4.8**.



Gambar 4.8. Grafik laju kenaikan pH (Sumber : data primer diolah 2014)

Berdasarkan grafik 4.8. dapat ditunjukkan data dari kenaikan pH yang terjadi selama fitoremediasi mulai dari hari ke 1 hingga hari ke 14, pada penelitian ini limbah cair kopi memiliki pH awal rata-rata sebesar 4,2 pada hari ke 1. Kemudian pada hari ke 14, pH limbah cair kopi ini mengalami kenaikan rata-rata setiap harinya untuk P1 sebesar 0,27 ; P2 sebesar 0,29; P3 sebesar 0,27 dan P4 sebesar 0,22.

Dari data tersebut dapat dilihat bahwa P1, P2 dan P3 mengalami nilai kenaikan pH yang lebih cepat daripada P4. Hal ini dikarenakan limbah cair kopi pada akuarium P1, P2 dan P3 mendapatkan pengaruh pengurangan CO<sub>2</sub> dari proses fotosintesa tanaman, sehingga kadar CO<sub>2</sub> berkurang dan mampu untuk menaikkan nilai pH (Kordi *et al.*, 2007:47). Sementara pada P4, kenaikan kadar pH dapat terjadi karena proses peruraian bahan organik yang terkandung dalam limbah oleh bakteri menghasilkan gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>), air dan amoniak (NH<sub>3</sub>) yang dapat meningkatkan nilai pH (Romayanto *et al.*, 2006:46).

Kordi *et al.* (2007:46) mengemukakan bahwa fluktuasi nilai pH banyak dipengaruhi oleh kandungan CO<sub>2</sub> yang ada di dalam perairan. Fluktuasi dari nilai CO<sub>2</sub> ini didapatkan dari aktivitas respirasi biota air dan fotosintesis oleh tanaman eceng gondok. Pada waktu malam hari, semua biota di dalam air akan melakukan respirasi menghasilkan CO<sub>2</sub>, respirasi tersebut secara bertahap akan menyebabkan pelepasan ion H<sup>+</sup> di dalam air yang akan menyebabkan nilai pH akan turun, sedangkan pada waktu siang hari terjadi proses fotosintesa oleh tanaman yang menyerap ion CO<sub>2</sub> yang menyebabkan nilai pH akan naik. Berikut ini reaksi berantai karbonat dari aktivitas dan fotosintesis organisme di dalam perairan.



### 4.3. Karakteristik Tanaman Eceng Gondok

Eceng gondok merupakan salah satu tumbuhan air dari kingdom *plantae* dan termasuk dalam family *pontederiaceae*. Tanaman eceng gondok hidup mengapung di air dan mempunyai daun yang berbentuk oval dengan ujung pangkal yang meruncing dan tangkai yang menggelembung. Tumbuhan eceng

gondok mampu beradaptasi dalam kondisi perubahan lingkungan yang ekstrem seperti ketinggian air, ketersediaan nutrient, pH, suhu air dan kandungan racun di dalam air, namun hal tersebut tidak berarti mendukung pertumbuhan tanaman eceng gondok, karena setelah menyerap zat beracun untuk beberapa waktu eceng gondok akan mati. Itu sebabnya mengapa akar eceng gondok sangat cocok digunakan dalam penanganan limbah cair industri (Gerbano dan Siregar, 2005).

Dalam proses penanganan limbah cair kopi dengan fitoremediasi dan aerasi, masing-masing bagian tanaman eceng gondok menunjukkan respon yang diakibatkan adanya penyerapan zat beracun oleh tanaman. Bagian eceng gondok yang diamati diantaranya adalah akar, daun dan tunas. Bagian tanaman yang terlebih dahulu mati pada proses fitoremediasi ini adalah bagian daun, kemudian tangkai dan selanjutnya menyebar ke perakaran. Tanaman eceng gondok mati akibat kemampuan dan kapasitasnya dalam melakukan proses *fitoakumulasi* dan *fitodegradasi*, di mana proses *fitoakumulasi* merupakan penyerapan kontaminan bersamaan dengan nutrient dan air untuk kemudian diendapkan pada bagian-bagian tanaman (kontaminan tidak dirombak). Sementara *fitodegradasi* adalah penyerapan kontaminan oleh akar tanaman, untuk kemudian kontaminan dirombak menjadi zat organik yang tidak beracun. Dalam prosesnya, *fitoakumulasi* dan *fitodegradasi* terjadi secara bersamaan pada saat tanaman eceng gondok masih hidup. Akar tanaman eceng gondok langsung menyerap nutrient dan kontaminan dari dalam air untuk kemudian langsung dirombak pada bagian tanaman, dirubah menjadi bentuk endapan yang tidak beracun (*fitodegradasi*). Sementara senyawa yang berat yang racunnya tidak dapat dirombak tetap diendapkan pada bagian-bagian tanaman (*fitoakumulasi*). Hal itulah yang membuat tanaman eceng gondok mati karena bagian tanaman eceng gondok secara terus menerus tidak mampu untuk menerima racun (Rossiana *et al.*, 2007:11).

Pada fitoremediasi limbah cair kopi ini sebagian tanaman mengalami kematian pada hari ke 7 dan mati semuanya pada hari ke 14. Bagian tanaman yang mula-mula mati adalah daun. Warna daun menguning dan layu ketika eceng gondok mulai mati hingga akhirnya berwarna coklat, kemudian hal yang

sama diikuti oleh tangkai daun dan selanjutnya akar-akar tanaman mengalami kerontokan apabila tanaman mulai membusuk. Pada hari ke 14 akar tanaman tampak berlendir, hal ini disebabkan oleh kontaminan atau nutrient yang belum sempat terserap dan menempel pada akar eceng gondok. Proses kemampuan tanaman eceng gondok dalam proses *fitodegradasi* dan *fitoakumulasi* yang mengakibatkan tanaman layu dan mati dapat dilihat pada **Gambar 4.9.** di bawah ini.



(a) Kondisi tanaman eceng gondok pada hari ke 1



(b) Kondisi tanaman eceng gondok pada hari ke 7



(c) Kondisi tanaman eceng gondok pada hari ke 14

Gambar 4.9. Kondisi tanaman eceng gondok pada hari ke 1, 7 dan 14

#### 4.4. Analisis Perbandingan Antar Perlakuan Untuk Parameter COD dan Kekeruhan

##### 4.4.1. Uji Anova Nilai Kekeruhan

Untuk mengetahui ada atau tidaknya beda nyata nilai kekeruhan pada masing-masing perlakuan, maka data diolah dengan menggunakan uji anova untuk mengetahui hasil perbandingan nilai pada masing-masing akuarium. Dalam hal ini hipotesis yang akan diuji adalah sebagai berikut :

- a.  $H_0$  = tidak ada perbedaan rata-rata nilai kekeruhan pada keempat perlakuan (sama).
- b.  $H_1$  = ada perbedaan rata-rata nilai kekeruhan pada keempat perlakuan (tidak sama).

Berikut ini akan ditampilkan tabel hasil uji anova sesuai tabel yang tersaji pada **Tabel 4.6.**

Tabel 4.6. Hasil Uji Anova

Sumber Keragaman (SK)	Jumlah Kuadrat (JK)	Derajat Bebas (dB)	Kuadrat Tengah (KT)	F hitung	F Tabel	Sig
Rata-Rata Kolom	12666,375	3	4222,125	0,020	6,59	0,996
Galat	839980,500	4	209995,125			
Total	852646,875	7				

Sumber : data primer diolah (2014)

Uji Anova yang telah dilakukan mengindikasikan bahwa uji-F tidak memiliki signifikansi pada kelompok uji, ini ditunjukkan oleh nilai F hitung sebesar 0,020 yang lebih kecil daripada F tabel sebesar 6,59 ( $F_{hitung} < F_{tabel}$ ) sehingga nilai  $H_0$  diterima dan  $H_1$  ditolak, diperkuat dengan nilai  $p = 0,996$  lebih besar dari nilai kritik  $\alpha=0,05$ . Dari uji F di atas dapat disimpulkan bahwa nilai kekeruhan pada keempat varian populasi atau perlakuan di atas tidak memiliki beda nyata secara signifikan.

#### 4.4.2. Uji Anova Nilai COD

Seperti halnya kekeruhan untuk mengetahui ada tidaknya beda nyata nilai COD pada masing-masing perlakuan, maka bisa menggunakan uji anova dengan metode LDS dan Duncan. Hipotesis pada uji anova adalah sebagai berikut :

- a.  $H_0$  = tidak ada perbedaan rata-rata nilai COD pada keempat perlakuan (sama).
- b.  $H_1$  = ada perbedaan rata-rata nilai COD pada keempat perlakuan (tidak sama).

Dan berikut ini akan ditampilkan tabel hasil uji anova dan multiple comparison test sesuai table yang tersaji pada **Tabel 4.7.** dan **Tabel 4.8.**

Tabel 4.7. Hasil Uji Anova

Sumber Keragaman (SK)	Jumlah Kuadrat (JK)	Derajat Bebas (dB)	Kuadrat Tengah (KT)	F hitung	F Tabel	Sig
Rata-Rata Kolom	4380077,500	3	1460025,833	15,034	6,59	0,012
Galat	388462,000	4	97115,500			
Total	4768539,800	7				

Sumber : data primer diolah (2014)

Tabel 4.8. Tabel Multi Comparison

Multi Comparison Test		
P (I)	P (J)	Mean Difference (I-J)
1	2	367.00000
	3	519.00000
	4	1357.00000*
2	1	-367.00000
	3	152.00000
	4	-1724.00000*
3	1	-519.00000
	2	-152.00000
	4	-1876.00000*
4	1	1357.00000*
	2	1724.00000*
	3	1876.00000*

\* = Berbeda nyata pada taraf 0,05

(Sumber : data primer diolah 2014)

Hasil uji *one way Anova* yang telah dilakukan mengindikasikan bahwa uji-F signifikan pada kelompok uji, ini ditunjukkan oleh nilai F hitung sebesar 15,034 yang lebih besar daripada F tabel sebesar 6,59 ( $F_{hitung} > F_{tabel}$ ) sehingga hipotesis  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima, diperkuat dengan nilai  $p = 0,012$  lebih kecil daripada nilai kritik  $\alpha=0,05$ . Hasil multiple comparison test juga mengindikasikan bahwa perbedaan rata-rata nilai COD pada P1, P2 dan P3 secara statistik tidak signifikan, hanya mean dari P4 yang signifikan berbeda nyata secara statistik dari mean P1, P2 dan P3. Kemudian untuk menentukan ragam perbedaan dari nilai COD pada masing-masing perlakuan, data nilai COD juga bisa di uji menggunakan metode Duncan seperti yang tersaji pada **Tabel 4.9**.

Tabel 4.9. Tabel Uji Duncan

Nilai				
	P	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Duncan <sup>a</sup>	3	2	1.1390E3	
	2	2	1.2910E3	
	1	2	1.6580E3	
	4	2		3.0150E3

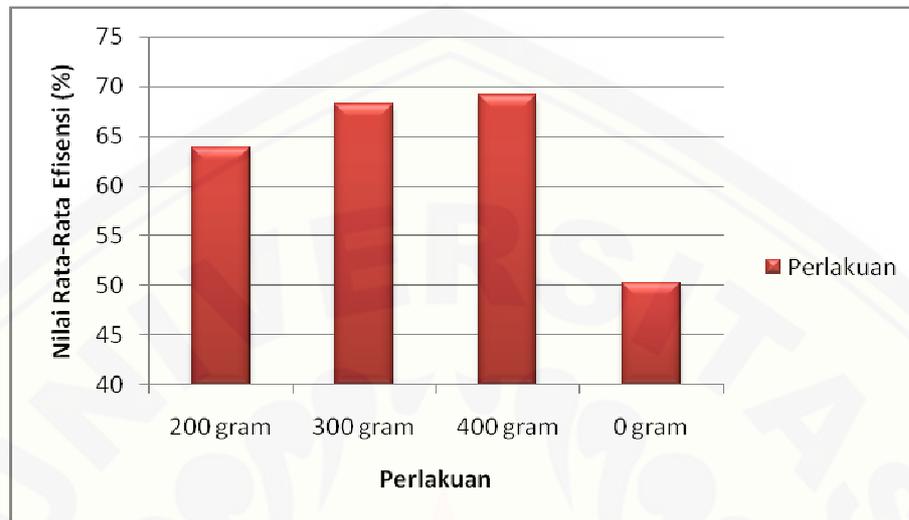
Sumber : data primer diolah (2014)

Pada uji anova dengan menggunakan metode Duncan di atas, maka dapat ditunjukkan nilai COD yang seragam dan berbeda nyata pada taraf  $\alpha = 0,05$ . Di mana P1, P2 dan P3 tidak berbeda nyata dengan taraf signifikansi sebesar 0,177. Hanya nilai COD pada P4 yang berbeda nyata dengan P1, P2 dan P3 pada uji dengan menggunakan metode Duncan.

#### 4.5. Analisis Perlakuan Terbaik Pada Berbagai Variasi Densitas

Uji Anova hanya digunakan untuk melihat setiap perbedaan pada masing-masing parameter. Oleh karena itu, untuk mengetahui densitas terbaik pada seluruh parameter yang diamati dalam fitoremediasi ini, maka digunakan analisis *general linear model repeated measures* untuk mendapatkan nilai rata-rata efisiensi yang paling baik yang didasarkan pada nilai efisiensi COD, BOD, TSS

dan kekeruhan. Berikut ini grafik rata-rata nilai efisiensi COD, BOD, TSS dan kekeruhan seperti yang tersaji pada **Gambar 4.10**.



Gambar 4.10. Grafik rata-rata nilai efisiensi (Sumber : Data primer diolah 2014)

Dari gambar 4.10. dapat ditunjukkan bahwa, akuarium yang memiliki rata-rata nilai efisiensi paling baik adalah adalah P3 dengan densitas 400 gram. P3 memiliki rata-rata nilai efisiensi sebesar 69,07%. Kemudian densitas terbaik berikutnya diikuti oleh P2 dengan rata-rata nilai efisiensi sebesar 68,27% dan P1 sebesar 63,79%. Untuk rata-rata nilai efisiensi yang paling rendah pada fitoremediasi ini terdapat pada P4 yakni akuarium yang hanya menggunakan aerator yakni sebesar 50,26%. P3 memiliki nilai efisiensi paling baik karena memiliki densitas eceng gondok paling besar yakni sebesar 400 gram sehingga suplai oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganismenya untuk mengurai zat-zat organik bisa tercukupi serta penyerapan konsentrasi zat organik yang dilakukan oleh akar eceng gondok bisa menurunkan konsentrasi zat organik dengan jumlah yang cukup tinggi sehingga mampu untuk meningkatkan nilai efisiensi. Sementara P4 memiliki nilai efisiensi paling rendah karena tidak adanya eceng gondok yang mampu menyuplai oksigen untuk mikroorganismenya serta tidak adanya akar yang mampu untuk menyerap senyawa atau zat-zat organik yang terdapat pada limbah cair kopi sehingga nilai efisiensi yang didapatkan dari perlakuan ini lebih rendah dari perlakuan lain.

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diperoleh kesimpulan bahwa :

- 1) fitoremediasi dengan tanaman eceng gondok pada penelitian ini mampu untuk menurunkan beberapa parameter limbah di antaranya TSS, kekeruhan, COD dan BOD. Densitas eceng gondok yang semakin besar akan berbanding lurus dengan semakin besarnya nilai efisiensi penurunan konsentrasi limbah cair kopi. Selain itu fitoremediasi ini juga mampu untuk meningkatkan nilai TDS dan pH.
- 2) perlakuan yang memiliki perlakuan paling baik dalam fitoremediasi ini adalah P3 dengan densitas 400 gram dengan rata-rata nilai efisiensi sebesar 69,07%. Kemudian densitas terbaik berikutnya diikuti oleh P2 dengan rata-rata nilai efisiensi sebesar 68,27% dan P3 sebesar 63,79%. Untuk rata-rata nilai efisiensi yang paling rendah pada fitoremediasi ini terdapat pada P4 yakni sebesar 50,26%.
- 3) tanaman eceng gondok tidak mampu bertahan lebih dari 14 hari pada fitoremediasi limbah cair kopi. Bagian tanaman yang mengalami kematian terlebih dahulu adalah daun, tangkai dan terakhir bagian akar. Eceng gondok mempunyai batas kemampuan dalam melakukan *fitoakumulasi* dan *fitodegradasi*.

### 5.2. Saran

Perlu adanya perbandingan limbah hasil pencucian dengan limbah hasil fermentasi yang dilakukan didalam penelitian selanjutnya. Selain itu perlu adanya uji densitas untuk mengetahui pengaruh densitas terhadap waktu kematian tanaman eceng gondok.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2012. *Plantamor : Eichornia Crassipes (Mart.) Solm.* <http://www.plantamor.com/index.php?plant=515> [20 Desember 2014].
- Alaerts, G. dan Santika, S.S. 1984. *Metoda Penelitian Air*. Surabaya : Usaha Nasional.
- Badan Pusat Statistik. 2014. *Jawa Timur Dalam Angka 2013*. Surabaya : BPS Provinsi Jawa Timur
- Gerbano, A. dan Siregar, A. 2005. *Kerajinan Eceng Gondok*. Yogyakarta : Penerbit Kanisius.
- Gubernur Jawa Timur. 2013. *Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor : 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Dan/Atau Kegiatan Usaha Lainnya*. Surabaya : Pemerintah Provinsi Jawa Timur.
- Hartanti, P.I., Haji, A.T.S. dan Wirosudarmo, R. 2013. Pengaruh Kerapatan Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes (Mart.) Solm*) Terhadap Penurunan Logam Chromium Pada Limbah Cair Penyamakan Kulit. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*. Vol. 1 (1) : 31-37.
- Institut Teknologi Sepuluh November. 2011. *Instruksi Kerja Laboratorium Teknologi Lingkungan Dan Rekayasa Proses Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh November*. Surabaya : FTSP-ITS.
- Juhaeti, T., Syarief, F. dan Hidayati, N. 2005. Inventarisasi Tumbuhan Potensial Untuk Fitoremediasi Lahan dan Air Terdegradasi Penambangan Emas. *Jurnal Biodiversitas*. Vol 6(1) : 31-33.
- Kodoatie, R. dan Sjarief, R. 2011. *Pengelolaan Sumberdaya Air Terpadu*. Yogyakarta : Penerbit Andi.
- Kordi, K., Gufran, K. dan Tancung, A. 2007. *Pengelolaan Kualitas Air Dalam Budidaya Perairan*. Jakarta : Penerbit Rineka Cipta.
- Kristanto, P. 2004. *Ekologi Industri*. Yogyakarta: Penerbit Andi.

- Laksmi, B.S., Winiati, J. dan Rahayu, P. 1993. *Penanganan Limbah Industri Pangan*. Yogyakarta : Penerbit Kanisius.
- Mangkoedihardjo, S. 2005. "Fitoteknologi dan Ekotoksikologi dalam Desain Operasi Pengomposan Sampah ; Phytotechnology and Ecotoxicologyin Operational Design for Solid Waste Composting." Tidak Diterbitkan. Makalah. Surabaya : Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Muljadi. 2009. Efisiensi Instalasi Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Cetak Dengan Metode Fisika-Kimia dan Biologi Terhadap Penurunan Terhadap Parameter Pencemar (BOD, COD dan Logam Berat Khrom (Cr). *Jurnal Ekuilibrium*. Vol. 8 (1) : 7-16.
- Najiyati, S. dan Danarti. 2001. *Kopi : Budidaya dan Penanganan Lepas Panen*. Jakarta : Penebar Swadaya.
- Nurrandani, H. 2007. Fitoremediasi Phospat Dengan Pemanfaatan Enceng Gondok (*Eichornia Crassipes* (Mart.) *Solm*). *Jurnal Presipitasi*. Vol. 2 (1) : 28-33..
- Presiden Republik Indonesia. 2001. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemaran Air*. Jakarta : Pemerintah Republik Indonesia.
- Purnawijayanti, H.A. 2001. *Sanitasi, Higiene, dan Keselamatan Kerja Dalam Pengolahan Makanan*. Yogyakarta : Penerbit Kanisius.
- Puspitaningrum, M., Izzati, M. dan Haryanti, S. 2012. Produksi dan Konsumsi Oksigen Terlarut Oleh Beberapa Tumbuhan Air. *Jurnal Anatomi dan Fisiologi*. Volume 20 (1) : 47-55.
- Ratnani, D. 2011. Pemanfaatan Enceng Gondok (*Eichornia Crassipes* (Mart.) *Solm*) Untuk Menurunkan Kandungan COD, pH, Bau, dan Warna Pada Limbah Cair Tahu. *Jurnal Momentum*. Vol. 7 (1) : 41-47.
- Romayanto, M.E.W., Wiryanto dan Sajidan. 2006. Pengolahan limbah domestik dengan aerasi dan penambahan bakteri *Pseudomonas putida*. *Jurnal Bioteknologi*. Vol. 3(2) : 42-49.

- Rossiana, N., Supriatun, T. dan Dhahiyat Y. 2007. "Fitoremediasi Limbah Cair Dengan Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes* (Mart.) Solm) dan Limbah Padat Industri Minyak Bumi Dengan Sengon (*Paraserianthes Falcataria* L. Nielsen) Bermikoriza". Tidak Diterbitkan. Laporan Penelitian. Bandung : FMIPA-Universitas Padjajaran.
- Santoso, S. 2008. *Mengolah Data Statistik Secara Profesional*. Jakarta : PT. Elex Media Computindo.
- Syakir, M. 2010. *Buku Budidaya dan Pasca Panen Kopi*. Jakarta : Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan
- Walpole, R.E. 1995. *Pengantar Statistiska Edisi Ke-3*. Jakarta : Penerbit Gramedia Pustaka.
- Widyaningsih. 2012. "Pengaruh Variasi Biomassa Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) terhadap Kandungan Krom (Cr) Limbah Cair Industri Sablon "TEMENAN" Monjali." Yogyakarta. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Yogyakarta : FMIPA – UNY.
- Zulkarnain. 2011. *Kultur Jaringan Tanaman*. Jakarta : Bumi Aksara.

Lampiran A. Tabel Nilai Parameter Kimia Limbah Cair Kopi

A.1. Nilai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD)

A.1.1. Nilai BOD Ulangan 1

HARI KE	BOD (mg/l)			
	P1	P2	P3	P4
1	3128	3128	3128	3128
7	-	-	-	-
14	830	780	630	2030
<b>Nilai Efisiensi</b>	73,47%	75,06%	79,86%	35,10%

A.1.2. Nilai BOD Ulangan 2

HARI KE	BOD (mg/l)			
	P1	P2	P3	P4
1	4158	4158	4158	4158
7	1460	1160	1108	2070
14	1280	870	1140	1832
<b>Nilai Efisiensi</b>	69,22%	79,08%	72,58%	55,94%

A.1.3. Nilai BOD Rata-Rata

HARI KE	BOD (mg/l)			
	P1	P2	P3	P4
1	3643	3643	3643	3643
7	-	-	-	-
14	1055	825	885	1931
<b>Nilai Efisiensi</b>	71,04%	77,35%	75,71%	46,99%

A.2. Nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD)

## A.2.1. Nilai COD Ulangan 1

HARI KE	COD (mg/l)			
	P1	P2	P3	P4
1	4887	4887	4887	4887
7	-	-	-	-
14	1280	1200	960	3120
<b>Nilai Efisiensi</b>	73,81%	75,45%	80,36%	36,16%

## A.2.2. Nilai COD Ulangan 2

HARI KE	COD (mg/l)			
	P1	P2	P3	P4
1	6400	6400	6400	6400
7	2320	1840	1760	4240
14	2036	1382	1318	2910
<b>Nilai Efisiensi</b>	68,19%	78,41%	79,41%	54,53%

## A.2.3. Nilai COD Rata-Rata

HARI KE	COD (mg/l)			
	P1	P2	P3	P4
1	5643,5	5643,5	5643,5	5643,5
7	-	-	-	-
14	1658	1291	1139	3015
<b>Nilai Efisiensi</b>	70,62%	77,12%	79,82%	46,58%

## A.3. Nilai pH

## A.3.1. Nilai pH Ulangan 1

HARI KE	pH			
	P1	P2	P3	P4
1	4,3	4,3	4,3	4,3
2	4,2	4,2	4,2	4,1
3	4,6	4,6	4,8	4,4
4	5,3	5,4	6,2	4,6
5	5,8	5,9	7	4,9
6	6,5	6,5	7,4	5,4
7	6,8	7,2	7,8	5,9
8	7,3	7,6	7,9	6,4
9	7,9	7,8	8,2	7,3
10	8,3	8,1	8,3	7,9
11	8,3	8,3	8,6	8,2
12	8,5	8,5	8,6	8,4
13	8,7	8,6	8,5	8,5
14	8,7	8,5	8,5	8,6

## A.3.2. Nilai pH Ulangan 2

HARI KE	pH			
	P1	P2	P3	P4
1	4,1	4,1	4,1	4,1
2	4,1	4,1	4,2	4,1
3	4,5	4,8	4,8	4,1
4	5,1	5,5	6,1	4,2
5	5,5	5,9	6,3	4,2
6	5,7	6,6	6,7	4,4
7	6	6,9	6,9	4,6
8	6,2	7,2	7,2	4,6
9	6,4	7,2	7,3	4,7
10	6,8	7,5	7,5	4,9
11	6,8	7,7	7,6	5,1
12	7,1	7,8	7,6	5,4
13	7,3	8	7,7	5,8
14	7,5	8	7,7	5,9

## A.3.3. Nilai pH Rata-Rata

HARI KE	pH			
	P1	P2	P3	P4
1	4,2	4,2	4,2	4,2
2	4,2	4,2	4,2	4,1
3	4,6	4,7	4,8	4,3
4	5,2	5,5	6,2	4,4
5	5,7	5,9	6,7	4,6
6	6,1	6,6	7,1	4,9
7	6,4	7,1	7,4	5,3
8	6,8	7,4	7,6	5,5
9	7,2	7,5	7,8	6,0
10	7,6	7,8	7,9	6,4
11	7,6	8,0	8,1	6,7
12	7,8	8,2	8,1	6,9
13	8,0	8,3	8,1	7,2
14	8,1	8,3	8,1	7,3

## A.4. Nilai Phospor (P)

## A.4.1. Nilai Phospor Ulangan 1

HARI KE	Phospor (mg/l)			
	P1	P2	P3	P4
1	20,24	20,24	20,24	20,24
7	-	-	-	-
14	44,31	48,01	95,71	72,2

## A.4.2. Nilai Posfor Ulangan 2

HARI KE	Phospor (mg/l)			
	P1	P2	P3	P4
1	69,62	69,62	69,62	69,62
7	300,07	143,1	116,98	54,43
14	155,08	24,23	26,26	44,65

## A.4.3. Nilai Phospor Rata-Rata

HARI KE	Phospor (mg/l)			
	P1	P2	P3	P4
1	44,93	44,93	44,93	44,93
7	-	-	-	-
14	99,69	36,12	60,98	58,42

## A.5. Nilai Nitrogen Total (N)

## A.5.1. Nilai Nitrogen Ulangan 1

HARI KE	Nitrogen (mg/l)			
	P1	P2	P3	P4
1	66,4	66,4	66,4	66,4
7	-	-	-	-
14	239,91	172,03	209,69	171,43

## A.5.2. Nilai Nitrogen Ulangan 2

HARI KE	Nitrogen (mg/l)			
	P1	P2	P3	P4
1	224,05	224,05	224,05	224,05
7	117,37	232,92	301,34	157,97
14	252,61	117,79	137,75	73,76

## A.5.3. Nilai Nitrogen Rata-Rata

HARI KE	Nitrogen (mg/l)			
	P1	P2	P3	P4
1	145,225	145,225	145,225	145,225
7	-	-	-	-
14	246,26	144,91	173,72	122,595

## Lampiran B. Tabel Nilai Parameter Fisik Limbah Cair Kopi

## B.1. Suhu Limbah

## B.1.1. Suhu Limbah Ulangan 1

HARI KE	Suhu Limbah (°C)			
	P1	P2	P3	P4
1	34,9	35,2	35,6	30,6
2	33,8	34,1	34,7	32,1
3	33,5	34	35,1	32,7
4	34,9	35,6	35,9	33,7
5	34,9	34,9	35,2	33,5
6	29,9	30,2	31,2	27,5
7	28	28,6	29,5	26,1
8	32,2	33,1	33,8	30,4
9	32,4	32,8	33,3	30,6
10	33,1	35,4	35,9	30,7
11	33	35	35,5	31,8
12	32,4	33,6	34,4	30,3
13	32,1	33	33,6	30,5
14	32,5	32,0	33,4	31,5
Rata-Rata	32,70	32	33,4	31,5

## B.1.2. Suhu Limbah Ulangan 2

HARI KE	Suhu Limbah (°C)			
	P1	P2	P3	P4
1	32	32,9	35,8	29,5
2	31,7	32	33,5	29,8
3	34,1	34	35,9	31,8
4	33,5	33,9	34,7	31,5
5	32,5	34,7	34,8	31
6	31,5	32,6	34,5	30,5
7	32,3	33,5	34,5	29,7
8	31	31,5	34	30,2
9	31,5	32,6	33,8	30,8
10	32,4	33,2	33,5	29,4
11	33,8	34,5	35,1	30,3
12	32,3	32,7	34,9	30,1
13	31,5	32,1	34,6	29,5
14	32	33,3	35,4	30,7
Rata-Rata	32,29	33,11	34,64	30,81

## B.1.3. Suhu Limbah Rata-Rata

HARI KE	Suhu Limbah (°C)			
	P1	P2	P3	P4
1	33,5	34,1	35,7	30,1
2	32,8	33,1	34,1	31,0
3	33,8	34,0	35,5	32,3
4	34,2	34,8	35,3	32,6
5	33,7	34,8	35,0	32,3
6	30,7	31,4	32,9	29,0
7	30,2	31,1	32,0	27,9
8	31,6	32,3	33,9	30,3
9	32,0	32,7	33,6	30,7
10	32,8	34,3	34,7	30,1
11	33,4	34,8	35,3	31,1
12	32,4	33,2	34,7	30,2
13	31,8	32,6	34,1	30,0
14	32,3	32,7	34,4	31,1
Rata-Rata	32,49	33,25	34,36	30,60

## B.2. Nilai Volume Limbah

## B.2.1. Volume Limbah Ulangan 1

Hari Ke	Volume Air (cm <sup>3</sup> )			
	P1	P2	P3	P4
1	10.200	10.200	10.320	10.261
2	9.960	10.020	10.140	9.680
3	9.780	9.780	10.020	9.390
4	9.300	9.600	9.720	9.051
5	9.060	9.300	9.480	8.664
6	8.880	9.060	9.180	8.422
7	8.640	8.820	8.940	8.180
8	8.460	8.520	8.700	7.792
9	7.920	8.100	8.340	7.502
10	7.140	7.260	7.380	6.824
11	6.600	6.900	7.080	6.486
12	6.480	6.360	6.540	6.244
13	6.300	6.180	6.360	6.050
14	6.240	6.000	6.060	5.760
% Penurunan	38,82	41,18	41,28	43,87

## B.2.2. Volume Limbah Ulangan 2

Hari Ke	Volume Limbah (cm <sup>3</sup> )			
	P1	P2	P3	P4
1	10.200	10.200	10.200	10.648
2	9.960	9.900	9.960	10.454
3	9.780	9.780	9.720	10.212
4	9.660	9.600	9.480	9.922
5	9.480	9.480	9.300	9.632
6	9.300	9.240	9.060	9.341
7	9.060	9.000	8.880	7.599
8	7.920	7.800	7.740	7.260
9	7.680	7.620	7.560	6.873
10	7.500	7.500	7.380	6.534
11	7.260	7.080	7.080	6.340
12	6.960	6.840	6.900	5.905
13	6.900	6.660	6.720	5.566
14	6.780	6.480	6.120	5.179
% Penurunan	33,53	36,47	40,00	51,36

## B.2.3. Volume Limbah Rata-Rata

Hari Ke	Volume Limbah (cm <sup>3</sup> )			
	P1	P2	P3	P4
1	10.200	10.200	10.260	10.454
2	9.960	9.960	10.050	10.067
3	9.780	9.780	9.870	9.801
4	9.480	9.600	9.600	9.486
5	9.270	9.390	9.390	9.148
6	9.090	9.150	9.120	8.881
7	8.850	8.910	8.910	7.889
8	8.190	8.160	8.220	7.526
9	7.800	7.860	7.950	7.187
10	7.320	7.380	7.380	6.679
11	6.930	6.990	7.080	6.413
12	6.720	6.600	6.720	6.074
13	6.600	6.420	6.540	5.808
14	6.510	6.240	6.090	5.469
% Penurunan	36,18	38,82	40,64	47,69

## B.3. Nilai Turbiditas

## B.3.1. Turbiditas Ulangan 1

HARI KE	Turbiditas (NTU)			
	P1	P2	P3	P4
1	461	434	365	935
2	343	301	289	811
3	337	255	228	760
4	314	213	174	742
5	290	186	156	746
6	294	191	90,5	511
7	157	104	62,6	490
8	122	95,7	50,2	438
9	97,9	68,2	33,3	429
10	73,2	37,5	26,1	392
11	64,6	36,8	24,9	286
12	56,6	30,2	27,1	240
13	41,4	28,9	26,1	233
14	42,6	27,9	27,1	246
<b>Nilai Efisiensi</b>	90,76%	93,57%	92,58%	73,69%

## B.3.2. Turbiditas Ulangan 2

HARI KE	Turbiditas (NTU)			
	P1	P2	P3	P4
1	931	938	931	981
2	912	937	934	957
3	884	913	930	921
4	851	830	828	903
5	822	783	768	880
6	794	701	688	871
7	761	685	663	889
8	729	659	641	840
9	746	643	651	773
10	750	640	655	717
11	769	652	648	705
12	769	673	661	691
13	781	681	689	702
14	792	698	719	680
<b>Nilai Efisiensi</b>	14,93%	25,59%	22,77%	30,68%

## B.3.3. Turbiditas Rata-Rata

HARI KE	Turbiditas (NTU)			
	P1	P2	P3	P4
1	696,0	686,0	648,0	958,0
2	627,5	619,0	611,5	884,0
3	610,5	584,0	579,0	840,5
4	582,5	521,5	501,0	822,5
5	556,0	484,5	462,0	813,0
6	544,0	446,0	389,3	691,0
7	459,0	394,5	362,8	689,5
8	425,5	377,4	345,6	639,0
9	422,0	355,6	342,2	601,0
10	411,6	338,8	340,6	554,5
11	416,8	344,4	336,5	495,5
12	412,8	351,6	344,1	465,5
13	411,2	355,0	357,6	467,5
14	417,3	363,0	373,1	463,0
<b>Nilai Efisiensi</b>	40,04%	47,09%	42,43%	51,67%

## B.4. Nilai TSS

## B.4.1. TSS Ulangan 1

Hari Ke	TSS (mg/l)			
	P1	P2	P3	P4
1	143,1	136,5	119,5	259,8
2	114,1	103,8	100,8	229,2
3	112,6	92,5	85,8	216,7
4	107,0	82,1	72,5	212,3
5	101,1	75,5	68,1	213,3
6	102,1	76,7	52,0	155,4
7	68,4	55,3	45,1	150,3
8	59,8	53,3	42,1	137,5
9	53,8	46,5	37,9	135,3
10	47,7	39,0	36,2	126,2
11	45,6	38,8	35,9	100,1
12	43,7	37,2	36,4	88,8
13	39,9	36,8	36,2	87,1
14	40,2	36,6	36,4	90,3
<b>Nilai Efisiensi</b>	71,90%	73,19%	69,54%	65,25%

## B.4.2. TSS Ulangan 2

Hari Ke	TSS (mg/l)			
	P1	P2	P3	P4
1	258,8	260,5	258,8	271,1
2	254,1	260,2	259,5	265,2
3	247,2	254,3	258,5	256,3
4	239,1	233,9	233,4	251,9
5	232,0	222,4	218,7	246,2
6	225,1	202,2	199,0	244,0
7	216,9	198,3	192,8	248,4
8	209,1	191,9	187,4	236,4
9	213,3	187,9	189,9	219,9
10	214,2	187,2	190,9	206,1
11	218,9	190,1	189,1	203,2
12	218,9	195,3	192,3	199,7
13	221,9	197,3	199,2	202,4
14	224,6	201,4	206,6	197,0
Nilai Efisiensi	13,21%	22,67%	20,15%	27,32%

## B.4.3. TSS Ulangan Rata-Rata

Hari Ke	TSS (mg/l)			
	P1	P2	P3	P4
1	201,0	198,5	189,1	265,4
2	184,1	182,0	180,2	247,2
3	179,9	173,4	172,2	236,5
4	173,0	158,0	153,0	232,1
5	166,5	148,9	143,4	229,7
6	163,6	139,5	125,5	199,7
7	142,7	126,8	119,0	199,4
8	134,4	122,6	114,8	186,9
9	133,5	117,2	113,9	177,6
10	131,0	113,1	113,5	166,1
11	132,3	114,5	112,5	151,6
12	131,3	116,2	114,4	144,3
13	130,9	117,1	117,7	144,7
14	132,4	119,0	121,5	143,6
Nilai Efisiensi	34,12%	40,04%	35,76%	45,88%

## B.5. Nilai TDS

## B.5.1. TDS Ulangan 1

HARI KE	TDS (mg/l)			
	P1	P2	P3	P4
2	570	556	552	552
4	601	585	586	571
6	647	613	599	594
8	684	641	645	611
10	707	681	672	625
12	753	704	696	658
14	791	762	749	696

## B.5.2. TDS Ulangan 2

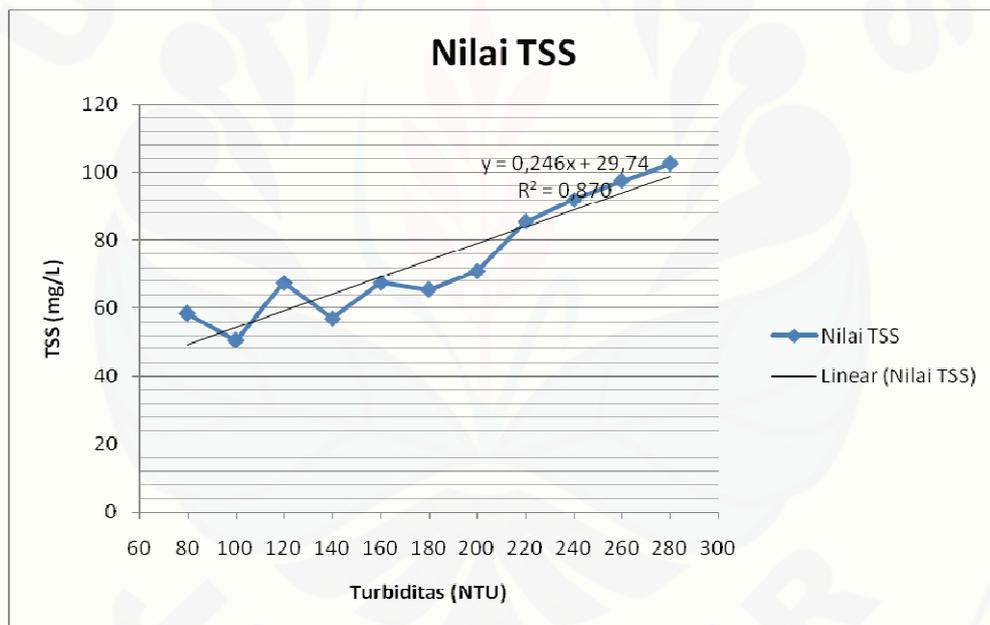
HARI KE	TDS (mg/l)			
	P1	P2	P3	P4
2	524	531	525	520
4	552	546	547	535
6	631	589	579	617
8	692	610	615	715
10	758	677	662	848
12	891	754	717	861
14	931	870	812	950

## B.5.3. TDS Ulangan 3

HARI KE	TDS (mg/l)			
	P1	P2	P3	P4
2	547,0	543,5	538,5	536,0
4	576,5	565,5	566,5	553,0
6	639,0	601,0	589,0	605,5
8	688,0	625,5	630,0	663,0
10	732,5	679,0	667,0	736,5
12	822,0	729,0	706,5	759,5
14	861,0	816,0	780,5	823,0

## Lampiran C. Kurva Standard TSS Limbah Cair Kopi

Kode Limbah	Turbidity (NTU)	TSS (mg/l)
J	80	58,5
I	100	50,5
H	120	67,5
G	140	57
F	160	67,5
E	180	65,5
D	200	71
C	220	85,5
B	240	92
A	260	97,5
X	280	102,5



## Lampiran D. Uji Anova

## D.1. Uji Anova Nilai COD

Descriptives								
Nilai	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					1	2		
2	2	1.2910E3	128.69343	91.00000	134.7354	2447.2646	1200.00	1382.00
3	2	1.1390E3	253.14423	1.79000E2	-1135.4106	3413.4106	960.00	1318.00
4	2	3.0150E3	148.49242	1.05000E2	1680.8485	4349.1515	2910.00	3120.00
Total	8	1.7758E3	825.36048	2.91809E2	1085.7314	2465.7686	960.00	3120.00

ANOVA					
Nilai	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4380077.500	3	1460025.833	15.034	.012
Within Groups	388462.000	4	97115.500		
Total	4768539.500	7			

Multiple Comparisons							
Dependent Variable: Nilai							
	(I)	(J)	Mean Difference			95% Confidence Interval	
	Aquarium	Aquarium	(I-J)	Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound
LSD	1	2	367.00000	3.11634E2	.304	-498.2336	1232.2336
		3	519.00000	3.11634E2	.171	-346.2336	1384.2336
		4	-1357.00000*	3.11634E2	.012	-2222.2336	-491.7664
	2	1	-367.00000	3.11634E2	.304	-1232.2336	498.2336
		3	152.00000	3.11634E2	.651	-713.2336	1017.2336
		4	-1724.00000*	3.11634E2	.005	-2589.2336	-858.7664
	3	1	-519.00000	3.11634E2	.171	-1384.2336	346.2336
		2	-152.00000	3.11634E2	.651	-1017.2336	713.2336
		4	-1876.00000*	3.11634E2	.004	-2741.2336	-1010.7664
	4	1	1357.00000*	3.11634E2	.012	491.7664	2222.2336
		2	1724.00000*	3.11634E2	.005	858.7664	2589.2336
		3	1876.00000*	3.11634E2	.004	1010.7664	2741.2336

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Nilai				
	Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Duncan <sup>a</sup>	3	2	1.1390E3	
	2	2	1.2910E3	
	1	2	1.6580E3	
	4	2		3.0150E3
	Sig.		.177	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2,000.				

D.2. Uji Anova Nilai Kekeruhan

Descriptives								
Nilai					95% Confidence Interval for Mean			
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Lower Bound	Upper Bound	Minimum	Maximum
1	2	4.1700E2	530.33009	3.75000E2	-4347.8268	5181.8268	42.00	792.00
2	2	3.6250E2	474.46865	3.35500E2	-3900.4317	4625.4317	27.00	698.00
3	2	3.7300E2	489.31789	3.46000E2	-4023.3468	4769.3468	27.00	719.00
4	2	4.6300E2	306.88434	2.17000E2	-2294.2464	3220.2464	246.00	680.00
Total	8	4.0388E2	349.00816	1.23393E2	112.0969	695.6531	27.00	792.00

ANOVA					
Nilai					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	12666.375	3	4222.125	.020	.996
Within Groups	839980.500	4	209995.125		
Total	852646.875	7			

## Lampiran E. General Linear Model Repeated Measures

Descriptive Statistics				
	Densitas	Mean	Std. Deviation	N
COD	0	45.3450	12.98955	2
	200	71.0000	3.97394	2
	300	76.9300	2.09304	2
	400	79.8850	.67175	2
	Total	68.2900	15.46967	8
BOD	0	45.5200	14.73611	2
	200	71.3450	3.00520	2
	300	77.0700	2.84257	2
	400	76.2200	5.14774	2
	Total	67.5388	15.07982	8
Kekeruhan	0	52.1850	30.41266	2
	200	52.8450	53.61991	2
	300	59.5800	48.06912	2
	400	57.6750	49.36312	2
	Total	55.5712	35.10428	8
TSS	0	58.0000	21.21320	2
	200	60.0000	42.42641	2
	300	59.5000	47.37615	2
	400	62.5000	41.71930	2
	Total	60.0000	29.89505	8

Tests of Between-Subjects Effects					
Measure:Parameter					
Transformed Variable:Average					
Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	126403.920	1	126403.920	70.304	.001
Densitas	1819.262	3	606.421	.337	.801
Error	7191.861	4	1797.965		

Multiple Comparisons							
Measure:Parameter							
	(I) Densitas	(J) Densitas	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	0	200	-13.5350	21.20121	.914	-99.8421	72.7721
		300	-18.0075	21.20121	.830	-104.3146	68.2996
		400	-18.8075	21.20121	.813	-105.1146	67.4996
	200	0	13.5350	21.20121	.914	-72.7721	99.8421
		300	-4.4725	21.20121	.996	-90.7796	81.8346
		400	-5.2725	21.20121	.994	-91.5796	81.0346
	300	0	18.0075	21.20121	.830	-68.2996	104.3146
		200	4.4725	21.20121	.996	-81.8346	90.7796
		400	-.8000	21.20121	1.000	-87.1071	85.5071
	400	0	18.8075	21.20121	.813	-67.4996	105.1146
		200	5.2725	21.20121	.994	-81.0346	91.5796
		300	.8000	21.20121	1.000	-85.5071	87.1071

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 449,491.

Parameter			
	Densitas	N	Subset
			1
Tukey HSD <sup>a</sup>	0	2	50.2625
	200	2	63.7975
	300	2	68.2700
	400	2	69.0700
	Sig.		.813
Duncan <sup>a</sup>	0	2	50.2625
	200	2	63.7975
	300	2	68.2700
	400	2	69.0700
	Sig.		.428
Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means. The error term is Mean Square(Error) = 449,491.			
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2,000.			

Estimated Marginal Means of Parameter

