

# SKRIPSI

**PENGARUH TANAMAN ECENG GONDOK  
(*Eichhornia crassipes*) DALAM MENURUNKAN  
KONSENTRASI BOD DAN COD PADA LIMBAH CAIR  
INDUSTRI TAHU DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM  
ALIRAN *BATCH***



Oleh :

**HENDI SETIONO THIO  
09.26.013**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2013**

# REPORTING

REPORTING ON THE PROGRESS OF THE WORK DURING THE YEAR 1954 (continued from page 1)

THE PROGRESS OF THE WORK DURING THE YEAR 1954 HAS BEEN CHARACTERIZED BY THE COMPLETION OF THE FOLLOWING MAJOR PROJECTS:

1. THE COMPLETION OF THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF THE TEST FACILITY FOR THE STUDY OF THE EFFECTS OF HIGH PRESSURE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF POLYMER MATERIALS.

2. THE COMPLETION OF THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF THE TEST FACILITY FOR THE STUDY OF THE EFFECTS OF HIGH PRESSURE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF POLYMER MATERIALS.

3. THE COMPLETION OF THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF THE TEST FACILITY FOR THE STUDY OF THE EFFECTS OF HIGH PRESSURE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF POLYMER MATERIALS.

4. THE COMPLETION OF THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF THE TEST FACILITY FOR THE STUDY OF THE EFFECTS OF HIGH PRESSURE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF POLYMER MATERIALS.

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**SKRIPSI**

**PENGARUH TANAMAN ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*)  
DALAM MENURUNKAN KONSENTRASI BOD DAN COD PADA  
LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM  
ALIRAN BATCH**

Oleh :

**HENDI SETIONO THIO**

**(09.26.013)**

Mengetahui

Dosen Pembimbing

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**(Candra Dwi Ratna, ST.MT)**

**NIP. Y. 1030000349**

**(Sudiro, ST.MT)**

**NIP. Y. 1039900327**

Mengetahui

**Ketua Jurusan Teknik Lingkungan**

**(CANDRA DWI RATNA, ST.MT)**

**NIP. Y. 1030000349**



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

NI (PESERO) MALANG  
ANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI**

**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**

NAMA : HENDI SETIONO THIO  
NIM : 09.26.013  
JURUSAN : TEKNIK LINGKUNGAN  
JUDUL : PENGARUH TANAMAN ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*)  
DALAM MENURUNKAN KONSENTRASI BOD DAN COD PADA  
LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU DENGAN MENGGUNAKAN  
SISTEM ALIRAN *BATCH*

Dipertahankan dihadapan Tim Penguji Ujian Skripsi Jenjang Program Strata Satu (S-1)

Pada Hari : Kamis  
Tanggal : 22 Agustus 2013

Dengan Nilai : 78,11 ( B<sup>+</sup> )

**PANITIA UJIAN SKRIPSI**

Ketua

Candra Dwi Ratna, ST. MT  
NIP. Y. 1030000349

Sekretaris

Evy Hendriarianti, ST. MMT  
NIP. Y. 1030300382

**ANGGOTA PENGUJI**

Penguji I

Dr. Ir. Hery Setyobudiarso, M.Si  
NIP. 196106201991031002

Penguji II

Anis Artiyani, ST. MT  
NIP. P. 1030300384

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha yang senantiasa melimpahkan nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana pada Fakultas Teknologi Sipil dan Perencanaan. Penulis menyadari bahwa skripsi ini terselesaikan atas bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan rasa tulus dan hormat, Penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Candra Dwi Ratna, ST.MT dan Sudiro, ST.MT selaku Dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, nasehat dan bimbingannya selama ini.
2. Dr. Ir. Heri Setyobudiarso, MSi dan Anis Artiyani, ST. MT selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran untuk penyempurnaan skripsi ini
3. Papa dan Mama saya atas doa, dukungan, motivasi, cinta dan kasih sayangnya yang menguatkan dan meringankan langkah perjalanan ini.
4. Teman-teman Teknik Lingkungan 2009, terimakasih atas segala bantuan yang diberikan, kekompakan dan persahabatan selama ini.
5. Semua pihak yang telah memberi dukungan dan bantuan yang tidak dapat Penulis sebutkan satu persatu.

Tak ada gading yang tak retak, Penulis yakin masih banyak kekurangan yang harus disempurnakan dari penulisan skripsi ini. Semoga tulisan ini bias bermanfaat dan mendorong kita untuk dapat melakukan penelitian yang lebih baik dalam pembelajaran dimasa mendatang.

Malang, September 2013

Penulis

Hendi Setiono Thio

---

---

Thio, Hendi Setiono. 2013. Dosen Pembimbing : Dwiratna, C dan Sudiro. **Pengaruh Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Dalam Mengolah Limbah Cair Industri Tahu : Parameter BOD Dan COD.** Skripsi Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Nasional Malang.

---

---

## ABSTRAKSI

Industri tahu merupakan salah satu sumber yang dapat merusak lingkungan disekitarnya karena limbah yang dihasilkan terbilang besar. Oleh karena itu perlu adanya suatu pengolahan agar limbah yang dihasilkan tidak lagi berbahaya jika dibuang ke perairan. Salah satu usaha pengolahan limbah yang dapat dilakukan adalah dengan fitoremediasi. Pada penelitian ini akan dikaji bagaimana kemampuan tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*), berapa waktu tinggal (td) yang paling efektif serta kerapatan yang optimum dalam menurunkan konsentrasi BOD dan COD yang merupakan 2 parameter yang dapat menunjukkan adanya pencemaran oleh air buangan pada pengolahan limbah cair industri tahu.

Penelitian ini menggunakan sistem aliran batch dengan tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) sebagai tanaman uji dengan 3 variasi kerapatan yaitu kerapatan tanaman 90 mg/cm<sup>2</sup>, 110 mg/cm<sup>2</sup> dan 130 mg/cm<sup>2</sup> serta 5 variasi waktu detensi yaitu 2 hari, 4 hari, 6 hari, 8 hari dan 10 hari dengan 2 parameter tinjauan yaitu BOD dan COD.

Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) mampu menurunkan konsentrasi BOD dan COD pada industri limbah tahu. Ditinjau dari kerapatan tanaman dan waktu detensi, didapati kerapatan yang paling optimal yaitu kerapatan 130 mg/cm<sup>2</sup> dan waktu detensi yang paling efektif pada waktu 6 hari. Persentase penyisihan konsentrasi BOD sebesar 91,50 % dari konsentrasi awal 1.691,7 mg/l menjadi 143,8 mg/l. Sedangkan persentase penyisihan konsentrasi COD sebesar 88,80 % dari konsentrasi awal 2.666 mg/l menjadi 298,7 mg/l.

---

---

**Kata Kunci : BOD, COD, Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*), Fitoremediasi, Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu.**

---

---

---

---

Thio, Hendi Setiono. 2013. Dwiratna, C and Sudiro. **Effect Of Plant Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) For Lowering BOD and COD Concentration in the Liquid Waste Processing of Tofu Industry By Using Batch Flow System.** Thesis Department of Environmental Engineering National Institute of Technology Malang.

---

---

## ABSTRACT

Tofu Industry is one source that can damage the surrounding environment due to waste generated somewhat large. Because of that, it need a treatment that generated waste is no longer hazardous if thrown into water. One of the waste processing business to do is to phytoremediation. This research will consider the ability of plants Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*), how much time detention (td) is the most effective and optimum densities in reducing BOD and COD concentrations which are 2 parameters that can indicate contamination by sewage at wastewater treatment tofu industry.

This research was used batch flow system with plant water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) as a test plant with 3 variations of the density of density plant  $90 \text{ mg/cm}^2$ ,  $110 \text{ mg/cm}^2$  and  $130 \text{ mg/cm}^2$  and 5 detention time variation of the second day, fourth day, sixth day, eighth day and tenth day with 2 test parameters that is BOD and COD.

The results of this research showing that water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) is able to reduce the concentration of BOD and COD in the waste liquid tofu industry. The effectiveness of *Eichhornia crassipes* plants occur in the most optimal plant density of  $130 \text{ mg/cm}^2$  on the sixth day. Allowance percentage BOD concentration of 91.50% of the initial concentration of 1691,7 mg/l to 143,8 mg/l. While the percentage of allowance COD concentration of 88,80% of the initial concentration of 2.666 mg/l to 298,7 mg/l.

---

---

**Keywords: BOD, COD, Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*), Phytoremediation, Waste Water Treatment Of Tofu Industry.**

---

---

## DAFTAR ISI

<b>Lembar Persetujuan .....</b>	<b>i</b>
<b>Kata Pengantar .....</b>	<b>ii</b>
<b>Abstraksi.....</b>	<b>iii</b>
<b>Daftar Isi.....</b>	<b>iv</b>
<b>Daftar Tabel .....</b>	<b>v</b>
<b>Daftar Grafik.....</b>	<b>vi</b>

### **BAB I**

#### **PENDAHULUAN**

1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	4
1.3. Tujuan Penelitian .....	4
1.4. Ruang Lingkup.....	5

### **BAB II**

#### **TINJAUAN PUSTAKA**

2.1 Industri Tahu .....	6
2.1.1 Bahan Produksi Tahu.....	6
2.1.2 Proses Produksi Tahu.....	9
2.2 Limbah Cair Industri Tahu.....	11
2.2.1 Kuantitas Limbah Cair Industri Tahu .....	11
2.2.2 Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu.....	13

2.3.	Pengolahan Air Buangan.....	14
2.3.1	Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu.....	16
2.3.2	Fitoremediasi.....	17
2.3.3	Jenis-jenis Tumbuhan Air.....	23
2.3.4	Eceng Gondok ( <i>Eichhornia crassipes</i> ).....	26
2.3.5	Morfologi Eceng gondok ( <i>Eichhornia crassipes</i> ).....	27
2.3.6	Fisiologis Eceng Gondok ( <i>Eichhornia crassipes</i> ).....	29
2.3.7	Perkembangbiakan Eceng gondok ( <i>Eichhornia crassipes</i> ).....	30
2.3.8	Pemanfaatan Eceng Gondok ( <i>Eichhornia crassipes</i> ).....	31
2.3.9	Kerugian Eceng Gondok ( <i>Eichhornia crassipes</i> ).....	32
2.3.10	Unsur Hara Yang Dibutuhkan.....	32
2.3.11	Fotosintesis.....	33
2.3.12	Mekanisme Penyerapan Unsur Hara Oleh Tumbuhan air.....	35
2.4	Proses Aklimatisasi.....	36
2.5	Parameter Yang Dikaji Dalam Pengolahan Air Limbah.....	36
2.5.1	Kebutuhan Oksigen Biologi ( <i>Biological Oxygen Demand</i> ).....	36
2.5.2	Kebutuhan Oksigen Kimia ( <i>Chemical Oxygen Demand</i> ).....	37
2.6	Metode Pengolahan Data.....	38
2.6.1	Statistik Deskriptif dan Inferensi.....	38
2.6.2	Analisis Kolerasi.....	38
2.6.3	Analisis Regresi.....	39
2.6.4	Analisis Varian (ANOVA) Desain Faktorial.....	41

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

3.1	Lokasi Penelitian.....	42
3.2	Peralatan dan Bahan Penelitian.....	42
3.2.1	Peralatan Penelitian.....	42
3.2.2	Bahan Penelitian .....	44
3.3	Variabel Penelitian.....	44
3.2.1	Variabel Respon.....	44
3.2.2	Variabel Prediktor.....	44
3.4	Tahapan Penelitian.....	46
3.4.1	Penelitian Pendahuluan.....	46
3.4.2	Aklimatisasi .....	46
3.5	Prosedur Penelitian .....	46
3.5.1	Analisis BOD .....	49
3.5.2	Analisis COD.....	50
3.6	Analisis Data dan Pembahasan .....	51
3.7	Kerangka Penelitian .....	51

## **BAB IV**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

4.1	Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu.....	53
4.2	Karakteristik Limbah Cair Tahu Setelah Proses Pengolahan .....	55
4.2.1	Karakteristik Limbah Cair Tahu Pada Reaktor Kontrol .....	55

4.2.2	Karakteristik Limbah Cair Tahu Pada Reaktor.....	56
4.3	Analisis Penurunan BOD .....	57
4.3.1	Analisis Deskriptif .....	57
4.3.1.1	Reaktor dengan Tanaman Eceng Gondok.....	62
4.3.2	Analisis Korelasi.....	62
4.3.2.1	Analisis Korelasi Untuk Penyisihan Konsentrasi BOD pada Tanaman Uji Eceng Gondok.....	63
4.3.3	Analisis Varian (ANOVA) .....	65
4.4	Analisis Penurunan COD .....	67
4.4.1	Analisis Deskriptif.....	67
4.4.1.1	Reaktor dengan Tanaman Eceng Gondok.....	71
4.4.2	Analisis Korelasi.....	71
4.4.2.1	Analisis Korelasi Untuk Penyisihan Konsentrasi BOD pada Tanaman Uji Eceng Gondok.....	71
4.4.3	Analisis Varian (ANOVA) .....	73
4.5	Pembahasan.....	75
4.5.1	Pengaruh Waktu Detensi Terhadap Penyisihan BOD dan COD .....	75
4.5.2	Pengaruh Kerapatan Terhadap Penyisihan BOD dan COD.....	78
4.5.3	Kualitas Akhir Pengolahan Setelah Proses Fitoremediasi .....	81

**BAB V**

**KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1	Kesimpulan .....	82
5.2	Saran.....	82

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

**DOKUMENTASI**

## DAFTAR TABEL

### BAB II

Tabel 2.1	Perkiraan Kebutuhan Air Pada Pengolahan Tahu.....	11
Tabel 2.2	Karakteristik Limbah Cair Tahu.....	13

### BAB IV

Tabel 4.1	Konsentrasi Awal Limbah Cair Industri Tahu .....	53
Tabel 4.2	Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu.....	53
Tabel 4.3	Nilai Konsentrasi Akhir Pada Reaktor Kontrol .....	55
Tabel 4.4	Nilai Konsentrasi Akhir BOD dan COD pada Reaktor Uji.....	57
Tabel 4.5	Persentase Penyisihan BOD.....	60
Tabel 4.6	Analisis Korelasi Antara %Penyisihan BOD dengan Kerapatan.	63
Tabel 4.7	Analisis Korelasi Antara %Penyisihan BOD dengan Waktu .....	64
Tabel 4.8	Analisis Anova Antara %Penyisihan BOD dengan Kerapatan ...	65
Tabel 4.9	Analisis Anova Antara %Penyisihan BOD dengan Waktu .....	66
Tabel 4.10	Persentase Penyisihan COD.....	69
Tabel 4.11	Analisis Korelasi Antara %Penyisihan COD dengan Kerapatan.	71
Tabel 4.12	Analisis Korelasi Antara %Penyisihan COD dengan Waktu .....	72
Tabel 4.13	Analisis Anova Antara %Penyisihan COD dengan Kerapatan ...	73
Tabel 4.14	Analisis Anova Antara %Penyisihan COD dengan Waktu .....	74

## DAFTAR GAMBAR

### BAB II

Gambar 2.1	Proses Alir Produksi Tahu .....	10
Gambar 2.2	Limbah Cair Industri Tahu .....	12
Gambar 2.3	Proses Fitoekstraksi .....	18
Gambar 2.4	Proses Rhizofiltration .....	19
Gambar 2.5	Proses Phytostabilization .....	19
Gambar 2.6	Proses Rhrzodegradation .....	20
Gambar 2.7	Proses Phytodegradation.....	21
Gambar 2.8	Proses Phytovolatilization.....	21
Gambar 2.9	Eceng Gondok .....	26

### BAB III

Gambar 3.1	Reaktor Kontrol .....	42
Gambar 3.2	Reaktor Uji.....	43
Gambar 3.3	Kerangka Penelitian.....	52

### BAB IV

Gambar 4.1	Hubungan Konsentrasi Akhir BOD Terhadap Waktu .....	58
Gambar 4.2	Hubungan Persentase Penyisihan BOD Terhadap Waktu .....	61
Gambar 4.3	Hubungan Konsentrasi Akhir COD Terhadap Waktu .....	67
Gambar 4.4	Hubungan Persentase Penyisihan COD Terhadap Waktu .....	70

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Manusia dalam menjalankan aktifitas dan mempertahankan hidupnya, akan selalu berhubungan dengan air (air bersih), baik sebagai kebutuhan pokok, maupun hanya sebagai pelengkap. Dari penggunaan air bersih sebagian air (sisa aktifitas) akan diubah menjadi air yang tidak dipakai, yang pada akhirnya akan di buang bersama sisa aktifitas lainnya atau disebut sebagai air buangan. Ketika populasi manusia masih sedikit, air buangan yang dihasilkan dari aktifitas manusia juga kecil, sehingga alam masih mampu menerima buangan tersebut yang kemudian diuraikan secara alami. Penguraian secara alami ini membutuhkan waktu yang cukup lama sehingga tidak efektif bila digunakan untuk menguraikan air buangan dengan jumlah yang besar.

Pencemaran yang ditimbulkan akibat air limbah, jelas dapat membahayakan kesehatan manusia karena menimbulkan kontaminasi pada permukaan air dan badan air yang dapat menjadi sumber penularan penyakit, bau yang ditimbulkan dari air limbah ini juga dapat mengganggu pernafasan. Selain berdampak pada manusia, air limbah juga dapat membahayakan bagi lingkungan seperti dapat mengganggu kehidupan dalam air, yakni mematikan ikan dan tumbuhan air, karena oksigen terlarut dalam air akan habis untuk proses dekomposisi aerobik dari zat organik yang terkandung dalam air buangan tersebut dan proses dekomposisi aerobik dan anaerobik dapat menghasilkan endapan lumpur yang mengendap ke dasar sungai, sehingga dapat mempercepat proses pendangkalan pada sungai.

Salah satu sumber yang menghasilkan limbah yang terbilang besar adalah Industri Tahu. Limbah industri tahu yang dihasilkan dapat berupa limbah padat dan cair, tetapi limbah cair memiliki tingkat pencemaran lebih besar dari pada limbah padat. Limbah tahu banyak mengandung protein dan karbohidrat tinggi sehingga pembusukan oleh mikroorganisme pembusuk sangat mudah terjadi.

Konsentrasi BOD dan COD pada analisa awal yang tinggi yaitu sebesar 1.237 mg/l untuk BOD dan 10.934 mg/l untuk COD akan menimbulkan kerusakan dan mengurangi nilai estetika alam. Daya kerusakan tetap lebih tinggi daripada daya pemulihan, sehingga lama kelamaan kondisi lingkungan akan semakin memburuk, jika tidak ada perbaikan (Tyagita. 2010). Suhu air limbah tahu yang tinggi akan mempengaruhi kehidupan biologis dan kelarutan oksigen dalam air. Pembuangan secara langsung tanpa adanya pengolahan dapat membahayakan kelestarian lingkungan hidup. Keasaman dari limbah tahu juga akan melepas zat-zat yang mudah menguap. Hal ini yang menyebabkan limbah cair industri tahu mengeluarkan bau yang busuk dan keasaman limbah tahu ini dapat membunuh mikroorganisme dalam perairan. Mengingat masyarakat yang masih banyak memanfaatkan air sungai dalam memenuhi kebutuhan hidupnya sehari-hari, agar air tersebut aman untuk dikonsumsi dan lainnya maka perlu adanya suatu pengolahan agar limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan industri tahu tersebut konsentrasi limbahnya dapat berkurang dan sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan sehingga aman untuk dibuang ke badan air dan dapat dikonsumsi pula oleh masyarakat.

Selama ini teknologi yang sudah ada untuk pengolahan air limbah tahu yaitu pengolahan menggunakan metode secara kimia dan biologi. Pada umumnya Pengolahan secara kimia dan biologis masih mempunyai kekurangan untuk mengolah air limbah. Pengolahan air limbah secara kimia mengakibatkan pencemaran baru yang berasal dari bahan kimia, selain itu bahan baku proses pengolahan secara kimia lebih mahal, sedangkan pengolahan yang menggunakan proses secara biologi seperti *lagoon* atau *oxidation ditch* dibutuhkan lahan yang cukup luas dan waktu yang cukup lama untuk mendegradasi air limbah. Untuk mengatasi kekurangan pada proses pengolahan limbah yang sudah ada maka dapat digunakan suatu pengolahan yang sederhana menggunakan metode fitoremediasi yang juga merupakan pengolahan biologis dengan memanfaatkan tanaman untuk menguraikan senyawa organik yang terkandung dalam air limbah. Fitoremediasi memiliki keunggulan dibandingkan dengan metode pengolahan biologis lainnya,

seperti lebih mudah dalam pengoperasian dan pengelolaannya, tidak membutuhkan lahan yang luas serta mampu mendegradasi limbah dengan baik.

Fitoremediasi merupakan suatu sistem yang menggunakan tumbuhan, dimana tumbuhan tersebut bekerjasama dengan mikroorganisme dalam media (tanah, koral dan air) untuk mengubah, menghilangkan, menstabilkan atau menghancurkan zat kontaminan (pencemar atau polutan) menjadi kurang atau tidak berbahaya sama sekali.

Pada penelitian ini akan menggunakan jenis tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) yang digunakan dalam menurunkan konsentrasi BOD dan COD pada pengolahan limbah cair industri tahu. Eceng Gondok merupakan jenis tanaman apung tumbuh diperairan terbuka, mengapung bila air tempat hidupnya cukup dalam dan akarnya bisa mencapai dasarnya bila airnya dangkal serta tumbuh cepat pada daerah tropis dengan kemampuan penyerapan yang baik terhadap BOD, COD, TSS, N, P dan logam berat yang ada didalam air.

Hasil penelitian Rita. D. Ratnani (2011) yang memanfaatkan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) untuk menurunkan kandungan COD (*Chemical Oxygen Demand*), pH, bau dan warna pada limbah cair tahu dapat menurunkan kandungan COD dalam air limbah sebesar 71,72% selama 8 hari tanpa adanya variasi kerapatan tanaman. Sedangkan Supriyanto (2007) dengan memanfaatkan tanaman air eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) untuk mengolah limbah tahu dapat menurunkan nilai BOD sebesar 68,06% dan nilai COD sebesar 72,76% selama 6 hari dengan komposisi eceng gondok menutupi 50% luas permukaan reaktor dan Suparli (2010) dalam tugas akhirnya menggunakan eceng gondok dengan kepadatan tanaman 300 gram, 400 gram, 500 gram dan 600 gram selama 6 hari untuk menurunkan kandungan BOD pada limbah tahu di Kelurahan Kalitaman-Salatiga, berturut-turut menghasilkan penurunan konsentrasi BOD sebesar 62,9% (1728 mg/l turun menjadi 591 mg/l), 71,08% (1728 mg/l turun menjadi 499,9 mg/l), 76,19% (1728 mg/l turun menjadi 411,6 mg/l) dan untuk kepadatan 600 gram terjadi penurunan sebesar 79,31% (1728 mg/l turun menjadi 356,6 mg/l).

Hasil penelitian diatas dapat disimpulkan bahwa kerapatan tanaman yang sesuai dapat digunakan untuk menurunkan nilai konsentrasi pada air limbah

dengan waktu kontak yang cukup lama dengan air limbah, maka dari itu akan dilakukan penelitian untuk menentukan tingkat keefektifitasan kerapatan tanaman dan waktu detensinya dengan menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dalam menurunkan konsentrasi BOD dan COD pada pengolahan limbah cair industri tahu.

## 1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kemampuan tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dalam menurunkan konsentrasi BOD dan COD pada pengolahan limbah cair industri tahu ?
2. Berapa waktu detensi (td) yang paling efektif dari tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dalam menurunkan konsentrasi BOD dan COD pada pengolahan limbah cair industri tahu ?
3. Berapa kerapatan yang optimum terhadap tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dalam menurunkan konsentrasi BOD dan COD pada pengolahan limbah cair industri tahu ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui kemampuan tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dalam menurunkan konsentrasi BOD dan COD pada pengolahan limbah cair industri tahu.
2. Mengetahui waktu detensi (td) yang paling efektif dari tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dalam menurunkan konsentrasi BOD dan COD pada pengolahan limbah cair industri tahu.
3. Mengetahui kerapatan optimum tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dalam menurunkan konsentrasi BOD dan COD pada pengolahan limbah cair industri tahu.

#### 1.4 Ruang Lingkup

Ruang Lingkup penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium.
2. Sampel yang diuji adalah limbah cair industri tahu
3. Parameter yang di uji adalah konsentrasi BOD dan COD.
4. Jenis tanaman yang digunakan adalah tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*).
5. Dilakukan variasi terhadap kerapatan tanaman.
6. Waktu penelitian dilakukan selama 10 hari dimana waktu pengambilan sampel dilakukan setiap 2 hari sekali.
7. Menggunakan sistem aliran *Batch*.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Industri Tahu

#### 2.1.1 Bahan Produksi Tahu

Tahu merupakan gumpalan protein kedelai yang diperoleh dari hasil penyaringan kedelai yang telah digiling dengan penambahan air. Penggumpalan protein dilakukan dengan cara penambahan cairan biang atau garam-garam kalsium (Sarwono, 2001). Bahan-bahan yang digunakan untuk proses produksi tahu antara lain :

1. Kacang kedelai

Kacang kedelai (*Glycine max* sin. *Glycine soya*), terutama kedelai kuning. Kacang kedelai dapat dijadikan bahan baku tahu dengan persyaratan sebagai berikut (Sarwono, 2001):

- a. Kedelai yang menjadi bahan baku sebaiknya belum lama (baru) dipanen dan cukup umur. Kedelai yang panen muda antara lain ditandai dengan bijinya yang keriput.
- b. Kadar air kedelai maksimal 13%. Bila kadar airnya mencapai 15%, jamur mudah sekali tumbuh selama penyimpanan. Namun, perlu dijaga pula agar kadar airnya tidak terlalu rendah karena kedelai yang berkadar air 9% atau kurang akan mudah pecah.
- c. Biji kedelai harus utuh karena enzim-enzim lipoksidase akan aktif bila kedelai pecah sehingga menyebabkan minyaknya tengik dan bau tahu kurang enak.
- d. Kedelai harus bebas dari segala macam kotoran, seperti kerikil, pasir atau sisa-sisa tanaman. Selain membutuhkan waktu dan biaya untuk menyingkirkannya, kotoran-kotoran tersebut juga bisa merusak alat penggiling.



## 2. Penggumpal

Bahan penggumpal digunakan untuk mengendapkan protein dan larutan padat pada sari kedelai. Beberapa bahan penggumpal yang dapat digunakan adalah (Sarwono, 2001):

### a. Batu tahu atau sioko

Batu tahu atau sioko merupakan bahan penggumpal yang tergolong populer, dimana sebagian besar kandungannya berupa kalsium sulfat. Wujudnya berupa padatan putih. Sebelum digunakan, batu tahu ini harus dibakar lalu ditumbuk hingga halus kemudian dilarutkan dalam air dan diendapkan selama semalam. Dosis larutan 5-10 gram sioko per 400-800 liter air. Bahan penggumpal ini ditambahkan sekaligus pada saat sari kedelai bersuhu 70-90°C dan diaduk dengan arah tetap.

### b. Asam cuka

Asam cuka merupakan bahan penggumpal yang baik dalam pembuatan tahu. Dosis yang dipergunakan untuk setiap 0,5 kg kedelai kering sebanyak 74 ml atau sekitar 16,4% dari berat kering kedelai. Penambahan asam cuka ini dilakukan saat suhu sari kedelai antara 80-90°C.

### c. Biang tahu (*whey*)

Biang tahu ini berupa air sisa penggumpalan sari kedelai. Sebelum digunakan, cairan ini didiamkan dulu selama 1-2 malam agar bakteri yang ada menghasilkan asam laktat. Kendala yang sering muncul yaitu bila penanganannya tidak higienis, maka bakteri pemecah protein akan tumbuh dan berkembang.

### d. Kalsium sulfat murni

Kalsium sulfat murni berbentuk serbuk putih dan merupakan bahan penggumpal yang paling populer di dunia. Dosis pemakaiannya kira-kira 10 g per 0,5 kg kedelai kering untuk pembuatan tahu keras. Pada pembuatan tahu sutera digunakan sebanyak 4 gram per 0,5 kg kedelai kering. Pemberian kalsium sulfat dilakukan pada saat suhu sari kedelai 70-75°C.

e. Glucono-delta-lacton (GDL)

Bahan penggumpal ini banyak digunakan sebagai penggumpal sari kedelai di Jepang sejak tahun 1969 dan tergolong istimewa. GDL dapat dicampurkan ke dalam sari kedelai dingin dengan jumlah sedikit, kemudian dimasukkan ke dalam wadah dan ditutup rapat, lalu dicelupkan dalam air bersuhu 85-90°C selama 30-50 menit.

3. Pewarna

Pewarna alami tahu biasanya menggunakan ekstrak kunyit. Tahu yang diberi pewarna alami ini cukup mudah dikenali karena pada permukaannya terdapat sedikit gumpalan-gumpalan dan beraroma khas kunyit. Para pembuat tahu biasanya lebih suka menggunakan pewarna sintetik dari pada pewarna alami karena lebih mudah penggunaannya dan warna tahu lebih cerah (Sarwono, 2001).

4. Antibusa

Bahan ini berfungsi untuk mencegah timbulnya busa sewaktu memasak bubur kedelai. Zat antibusa yang bisa digunakan dalam pembuatan tahu, antara lain kalsium karbonat, minyak goreng dan *silicone defoame* (Sarwono, 2001).

5. Air

Industri tahu tergolong boros air. Pengolahan 3 kg kedelai membutuhkan air sekitar 135 liter atau 45 liter per 1 kg kedelai. Air yang dipergunakan sangat berpengaruh pada mutu tahu. Oleh karena itu, air yang digunakan harus memenuhi persyaratan untuk industri pangan, seperti tidak berwarna, tidak berbau, jernih, tidak berasa, tidak mengandung besi dan mangan, serta bebas dari jasad renik patogen. Penggunaan air sumur atau air sungai dalam pembuatan tahu harus diberi klor, lalu diendapkan dan disaring berulang kali (Sarwono, 2001).

### **2.1.2 Proses Produksi Tahu**

Pembuatan tahu pada prinsipnya dengan cara mengekstraksi protein, kemudian mengumpulkannya sehingga terbentuk padatan protein. Adapun urutan proses produksi tahu adalah (Sarwono, 2001) :

#### **A. Pembuatan sari kedelai**

Biji kedelai mula-mula dibersihkan dari kotoran atau benda asing, sementara kedelai yang pecah, berlubang, busuk dan berjamur dibuang. Kedelai selanjutnya direndam dalam tangki atau tong perendaman selama 8-12 jam atau satu malam. Perendaman cukup selama 1-2 jam jika menggunakan air bersuhu 55°C. Setelah direndam, biji kedelai kemudian ditiriskan.

Kedelai yang telah direndam kemudian digiling hingga menjadi bubur halus. Penggilingan dilakukan dengan mesin giling. Pada saat penggilingan berlangsung, air ditambahkan sedikit demi sedikit. Kedelai yang telah menjadi bubur ditampung dalam wadah logam antikerat atau tong kayu.

Tahap berikutnya, bubur kedelai dimasak pada suhu 100°C selama 10-15 menit. Selama pemasakan berlangsung, air ditambahkan berulang kali. Kebutuhan air sekitar 10 liter untuk 1 kg kacang kedelai. Bubur kedelai masak selanjutnya disaring untuk mengambil sarinya dan untuk mendapatkan sari kedelai yang lebih banyak, ampas sarinya dapat dicuci kemudian disaring.

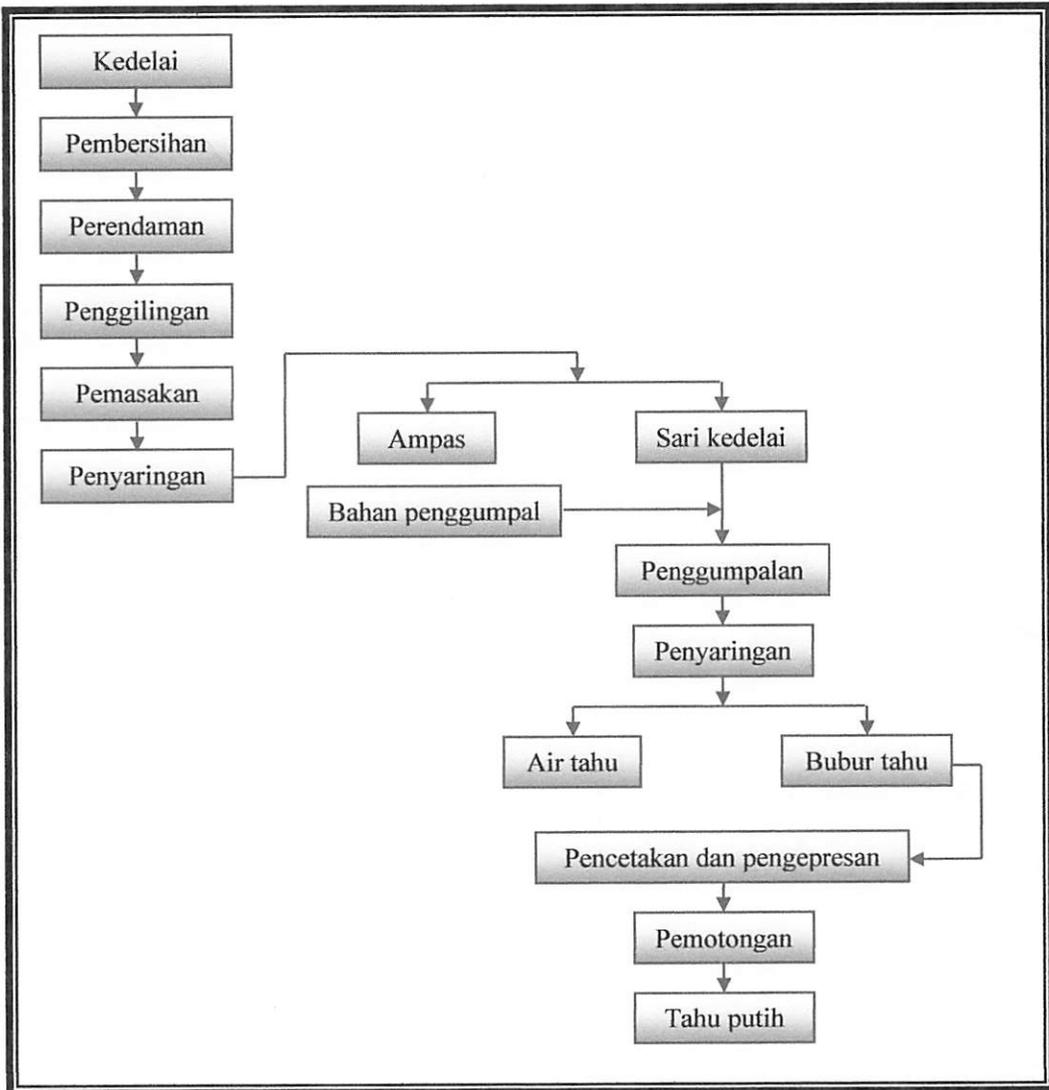
#### **B. Penggumpalan dan pengendapan**

Sari kedelai kemudian digumpalkan dengan larutan jenuh sioko yang telah diendapkan selama satu malam dengan dosis 5-10 gram sioko per 400-800 ml air. Penggumpalan dilakukan pada saat suhu sari kedelai berkisar 70-90°C dan pada saat penambahan sioko sebaiknya diaduk-aduk terus dengan arah tetap. Pengadukan dihentikan bila gumpalan bubur tahu telah terbentuk. Bubur tahu kemudian diendapkan hingga gumpalan turun ke dasar wadah. Pengendapan ini bertujuan untuk memudahkan pemisahan air tahu dengan bubur tahu.

### C. Pencetakan dan pengepresan

Gumpalan bubur tahu dimasukkan ke dalam cetakan yang telah dialasi kain, lalu bagian atas juga ditutup dengan kain serupa dan papan. Di atas papan selanjutnya diletakkan pemberat berbobot sekitar 30 kg selama 15 menit atau hingga air tahu menetes habis.

Komposisi tahu mengandung 84-90% air, 5-8% protein, 3-4% lemak dan 2-4% karbohidrat. Untuk lebih jelas mengenai diagram alir proses produksi tahu, dapat dilihat pada Gambar 2.1:



Gambar 2.1 Proses Alir Produksi Tahu

## 2.2 Limbah Cair Industri Tahu

Limbah industri tahu terdiri dari dua jenis, yaitu limbah cair dan padat. Dari kedua limbah tersebut, limbah cair merupakan bagian terbesar dan berpotensi mencemari lingkungan. Sebagian besar limbah cair yang dihasilkan bersumber dari cairan kental yang terpisah dari gumpalan tahu pada tahap proses penggumpalan dan penyaringan yang disebut air dadih atau whey. Sumber limbah cair lainnya berasal dari proses sortasi dan pembersihan, pengupasan kulit, pencucian, penyaringan, penyucian peralatan proses dan lantai.

### 2.2.1 Kuantitas Limbah Cair Industri Tahu

Jumlah limbah cair yang dihasilkan oleh industri pembuatan tahu sebanding dengan penggunaan air untuk pemrosesannya. Pada beberapa industri tahu sebagian kecil dari limbah cair tersebut (khususnya air dadih) dimanfaatkan kembali sebagai bahan penggumpal. Perincian penggunaan air dalam setiap tahapan proses dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1 Perkiraan kebutuhan air pada pengolahan tahu untuk setiap 3 Kilogram kedelai**

No	Tahap Proses	Kebutuhan Air (Liter)
1	Pencucian	20
2	Perendaman	12
3	Penggilingan	3
4	Pemasakan	30
5	Pencucian Ampas	50
6	Perebusan	20
Jumlah		135

Sumber : Pohan, 2008

Limbah cair industri tahu mengandung bahan-bahan organik kompleks yang tinggi terutama protein dan asam-asam amino dalam bentuk padatan tersuspensi maupun terlarut. Adanya senyawa-senyawa organik tersebut menyebabkan limbah

cair industri tahu mengandung BOD, COD dan TSS yang tinggi yang apabila dibuang ke perairan tanpa pengolahan terlebih dahulu dapat menyebabkan pencemaran.

Sifat limbah cair dan potensi pencemarannya dari pengolahan tahu antara lain sebagai berikut :

1. Limbah cair mengandung zat-zat organik terlarut yang cenderung membusuk kalau dibiarkan tergenang sampai beberapa hari di tempat terbuka.
2. Suhu air limbah tahu pada umumnya lebih tinggi dari air bakunya yaitu sekitar 60-80°C. Suhu yang meningkat dilingkungan perairan akan mempengaruhi kehidupan biologis dan kelarutan oksigen dalam air. Pembuangan secara langsung tanpa adanya proses dapat membahayakan kelestarian lingkungan hidup.
3. Air limbah tahu bersifat asam karena proses penggumpalan sari kedelai membutuhkan bahan penolong yang bersifat asam. Air limbah industri tahu memiliki pH sekitar 4-5. Pada keadaan asam ini akan terlepas zat-zat yang mudah menguap. Hal ini yang menyebabkan limbah cair industri tahu mengeluarkan bau busuk. Keasaman limbah dapat membunuh mikroba, misalnya bakteri. Bakteri tumbuh optimal pada pH 6,5-8,5.

(Sumber : Pohan, 2008)

Gambar limbah cair tahu dapat dilihat pada Gambar 2.2 dibawah ini:



**Gambar 2.2 Limbah Cair Industri Tahu**

(<http://amed.files.wordpress.com>)

### 2.2.2 Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu

Secara umum karakteristik air buangan dapat digolongkan atas sifat fisika, kimia dan biologi. Akan tetapi, air buangan industri biasanya hanya terdiri dari karakteristik kimia dan fisika.

Parameter yang digunakan untuk menunjukkan karakter air buangan industri adalah (Pohan. 2008):

- a. *Parameter fisika*, seperti kekeruhan, suhu, zat padat, bau dan lain-lain.
- b. *Parameter kimia*, dibedakan atas:
  - Kimia Organik : kandungan organik (BOD, COD, TOC), oksigen terlarut (DO), minyak/lemak, Nitrogen-Total (N-Total), dan lain-lain.
  - Kimia anorganik : pH, Ca, Pb, Fe, Cu, Na, sulfur, H<sub>2</sub>S, dan lain-lain.

Limbah tahu yang diteliti berasal dari campuran semua proses produksi, dimana memiliki karakteristik awalnya dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini:

**Tabel 2.1 Karakteristik Limbah Cair Tahu**

Parameter	Keterangan
Warna	putih keruh
pH	5,4
BOD	1237 mg/l
COD	1934 mg/l
TSS	1065,3 mg/l
Kekeruhan	425 NTU
Total Kjedadahl Nitrogen	93,7 mg/l
Phospat total	32,581 mg/l

(Sumber : Hasil Analisis Jasa Tirta, 2010)



### **2.3 Pengolahan Air Buangan**

Teknologi pengolahan air limbah adalah kunci dalam memelihara kelestarian lingkungan. Apapun macam teknologi pengolahan air limbah domestik maupun industry yang dibangun harus dapat dioperasikan dan dipelihara oleh masyarakat setempat. Jadi teknologi pengolahan yang dipilih harus sesuai dengan kemampuan teknologi masyarakat yang bersangkutan.

Berbagai teknik pengolahan air buangan untuk menyisihkan bahan polutannya telah dicoba dan dikembangkan selama ini. Teknik-teknik pengolahan air buangan yang telah dikembangkan tersebut secara umum terbagi menjadi 3 metode pengolahan:

1. Pengolahan secara fisika
2. Pengolahan secara kimia
3. Pengolahan secara biologi

Untuk suatu jenis air buangan tertentu, ketiga metode pengolahan tersebut dapat diaplikasikan secara sendiri-sendiri atau secara kombinasi.

- **Pengolahan Secara Fisika**

Pada umumnya, sebelum dilakukan pengolahan lanjutan terhadap air buangan, diinginkan agar bahan-bahan tersuspensi berukuran besar dan yang mudah mengendap atau bahan-bahan yang terapung disisihkan terlebih dahulu. Penyaringan (screening) merupakan cara yang efisien dan murah untuk menyisihkan bahan yang berukuran besar. Bahan tersuspensi yang mudah mengendap dapat disisihkan secara mudah dengan proses pengendapan. Parameter desain yang utama untuk proses pengendapan ini adalah kecepatan mengendap partikel dan waktu detensi hidrolis di dalam bak pengendap.

- **Pengolahan Secara Kimia**

Pengolahan air buangan secara kimia biasanya dilakukan untuk menghilangkan partikel-partikel yang tidak mudah mengendap (koloid), logam-logam berat, senyawa fosfor, dan zat organik beracun dengan membubuhkan bahan kimia tertentu yang diperlukan. Penyisihan bahan-bahan tersebut pada

prinsipnya berlangsung melalui perubahan sifat bahan-bahan tersebut, yaitu dari tak dapat diendapkan menjadi mudah diendapkan (flokulasi-koagulasi), baik dengan atau tanpa reaksi oksidasi-reduksi, dan juga berlangsung sebagai hasil reaksi oksidasi.

- **Pengolahan secara biologi**

Semua air buangan yang biodegradable dapat diolah secara biologi. Sebagai pengolahan sekunder, pengolahan secara biologi dipandang sebagai pengolahan yang paling murah dan efisien. Dalam beberapa dasawarsa telah berkembang berbagai metode pengolahan biologi dengan segala modifikasinya.

Pada dasarnya, reaktor pengolahan secara biologi dapat dibedakan atas dua jenis, yaitu:

1. Reaktor pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth reaktor*);
2. Reaktor pertumbuhan lekat (*attached growth reaktor*).

Di dalam reaktor pertumbuhan tersuspensi, mikroorganisme tumbuh dan berkembang dalam keadaan tersuspensi. Proses lumpur aktif yang banyak dikenal berlangsung dalam reaktor jenis ini. Proses lumpur aktif terus berkembang dengan berbagai modifikasinya, antara lain: *oxidation ditch* dan kontak-stabilisasi.

Dibandingkan dengan proses lumpur aktif konvensional, *oxidation ditch* mempunyai beberapa kelebihan, yaitu efisiensi penurunan BOD dapat mencapai 85%-90% (dibandingkan 80%-85%) dan lumpur yang dihasilkan lebih sedikit. Selain efisiensi yang lebih tinggi (90%-95%), kontak stabilisasi mempunyai kelebihan yang lain, yaitu waktu detensi hidrolis total lebih pendek (4-6 jam). Proses kontak-stabilisasi dapat pula menyisihkan BOD tersuspensi melalui proses absorpsi di dalam tangki kontak sehingga tidak diperlukan penyisihan BOD tersuspensi dengan pengolahan pendahuluan.

Kolam oksidasi dan *lagoon*, baik yang diaerasi maupun yang tidak, juga termasuk dalam jenis reaktor pertumbuhan tersuspensi. Untuk iklim tropis seperti Indonesia, waktu detensi hidrolis selama 12-18 hari di dalam kolam oksidasi maupun dalam *lagoon* yang tidak diaerasi, cukup untuk mencapai kualitas efluen

yang dapat memenuhi standar yang ditetapkan. Di dalam *lagoon* yang diaerasi cukup dengan waktu detensi 3-5 hari saja.

Di dalam reaktor pertumbuhan lekat, mikroorganisme tumbuh di atas media pendukung dengan membentuk lapisan film untuk melekatkan dirinya. Berbagai modifikasi telah banyak dikembangkan selama ini, antara lain:

1. Trickle filter
2. Cakram biologi
3. Filter terendam
4. Reaktor fluidisasi

Seluruh modifikasi ini dapat menghasilkan efisiensi penurunan BOD sekitar 80%-90%.

(Sumber : [www.Dephut.go.id](http://www.Dephut.go.id))

### **2.3.1 Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu**

Berbagai upaya untuk mengolah limbah cair industri tahu telah dicoba dan dikembangkan. Secara umum, metode pengolahnyang dikembangkan tersebut dapat digolongkan atas 3 jenis metode pengolahan, yaitu secara fisik, kimia maupun biologis.

Cara Fisika, merupakan metode pemisahan sebagian besar dari beban pencemaran khususnya padatan tersuspensi atau koloid dari limbah cair. Dalam pengolahan limbah cair industri tahu secara fisika, proses yang dapat digunakan antara lain adalah filtrasi dan pengendapan (sedimentasi). Filtrasi (penyaringan) menggunakan media penyaring terutama untuk menjernihkan dan memisahkan partikel-partikel kasar dan padatan tersuspensi dari limbah cair. Padatan tersuspensi yang lolos dari penyaringan selanjutnya disisihkan dalam unit sedimentasi dengan menambahkan koagulan sehingga terbentuk flok. Proses ini termasuk proses kimia. Dalam sedimentasi, flok-flok padatan dipisahkan dari aliran dengan memanfaatkan gaya gravitasi.

Cara Kimia, merupakan metode penghilangan atau konversi senyawa-senyawa polutan dalam limbah cair dengan penambahan bahan-bahan kimia atau

reaksi kimia lainnya (Metcalf & Eddy. 2003). Beberapa proses yang dapat diterapkan dalam pengolahan limbah cair industry tahu diantaranya termasuk koagulasi-flokulasi dan netralisasi. Koagulasi pada dasarnya merupakan proses destabilisasi partikel koloid bermuatan dengan cara penambahan ion-ion bermuatan berlawanan (koagulan) kedalam koloid, dengan demikian partikel koloid menjadi netral dan dapat beraglomerasi satu sama lain membentuk mikroflokk. Selanjutnya mikroflokk yang telah terbentuk dengan dibantu pengadukan lambat mengalami penggabungan menghasilkan makroflokk, sehingga dapat dipisahkan dari dalam larutan dengan cara pengendapan atau filtrasi.

Cara Biologi, dapat menurunkan kadar zat organik terlarut dengan memanfaatkan mikroorganisme atau tumbuhan air. Pada dasarnya cara biologi adalah pemutusan molekul kompleks menjadi molekul sederhana oleh mikroorganisme. Proses ini sangat peka terhadap faktor suhu, pH, oksigen terlarut (DO) dan zat-zat inhibitor terutama zat-zat beracun. Mikroorganisme yang digunakan untuk pengolahan limbah adalah bakteri, algae atau protozoa. Sedangkan tumbuhan air yang digunakan termasuk gulma. Metode pengolahan limbah secara biologis dengan memanfaatkan tanaman air disebut juga dengan metode Fitoremediasi.

(Sumber : Pohan, 2008)

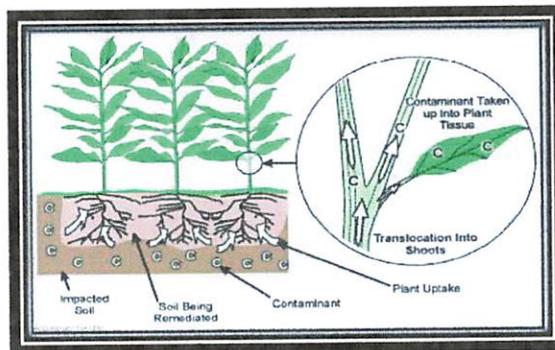
### 2.3.2 Fitoremediasi

Proses pengolahan limbah dengan menggunakan tumbuhan air dikenal dengan istilah *fitoremediasi*. Istilah *fitoremediasi* berasal dari kata Inggris *phytoremediation* kata ini sendiri tersusun atas dua bagian kata, yaitu *Phyto* asal kata Yunani atau *greek phyton* yang berarti tumbuhan atau tanaman (plant), *remediation* asal kata Latin *remediare* (to remedy) yaitu memperbaiki atau menyembuhkan atau membersihkan sesuatu. Fitoremediasi juga dapat berarti sebagai teknologi proses dengan menggunakan vegetasi (tanaman) untuk menghilangkan dan memperbaiki kondisi tanah, sludge, kolam, sungai dari kontaminan (Anonim, 2010). Jadi *fitoremediasi (phytoremediation)* merupakan

suatu sistem yang menggunakan tumbuhan, dimana tumbuhan tersebut bekerjasama dengan mikroorganisme dalam media (tanah, koral dan air) untuk mengubah, menghilangkan, menstabilkan, atau menghancurkan zat kontaminan (pencemar atau polutan) menjadi kurang atau tidak berbahaya sama sekali bahkan menjadi bahan yang berguna secara ekonomi.

Metode fitoremediasi sangat berkembang pesat karena metoda ini mempunyai beberapa keunggulan diantaranya secara finansial relatif murah bila dibandingkan dengan metoda konvensional biaya dapat dihemat sebesar 75-85%. Proses fitoremediasi secara umum dibedakan berdasarkan mekanisme fungsi dan struktur tumbuhan, yaitu sebagai berikut (Mangkoedihardjo, 2005):

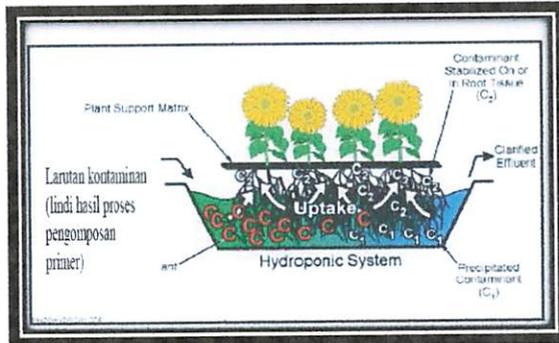
1. Fitoekstraksi / fitoakumulasi (***Phytoaccumulation / phytoextraction***) yaitu proses tumbuhan menarik zat kontaminan dari media sehingga berakumulasi disekitar akar tumbuhan, proses ini disebut juga *Hyperaccumulation*. Spesies tumbuhan yang dipakai adalah sejenis hiperakumulator misalnya pakis, bunga matahari dan jagung. Keterangan gambar dari proses fitoekstraksi dapat dilihat pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3 Proses Fitoekstraksi**  
(Mangkoedihardjo, 2005)

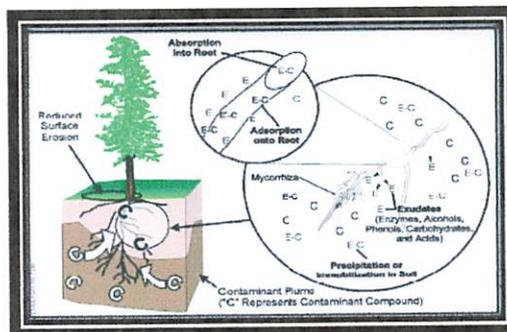
2. ***Rhizofiltration*** adalah proses adsorpsi atau pengendapan zat kontaminan oleh akar untuk menempel pada akar atau pemanfaatan kemampuan akar tumbuhan untuk menyerap, mengendapkan, dan mengakumulasi logam dari aliran limbah. Spesies tumbuhan yang biasa digunakan adalah tumbuhan air seperti *Cattail*, bunga matahari, Kayu Apu, dan Eceng

Gondok. Keterangan gambar dari proses rhizofiltration dapat dilihat pada Gambar 2.4.



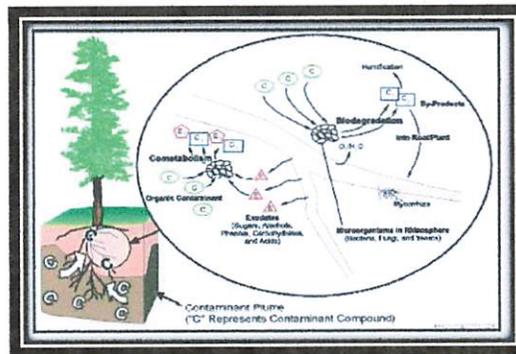
**Gambar 2.4 Proses Rhizofiltration**  
(Mangkoedihardjo, 2005)

3. Fitostabilisasi (*phytostabilization*) yaitu penempelan zat-zat kontaminan tertentu pada akar yang tidak mungkin terserap kedalam batang tumbuhan. Zat-zat tersebut menempel erat (stabil) pada akar sehingga tidak akan terbawa oleh aliran air dalam media. Proses ini secara tipikal digunakan untuk dekontaminasi zat-zat anorganik. Spesies tumbuhan yang biasa digunakan adalah berbagai jenis tumbuhan air, seperti bunga matahari dan jenis tumbuhan air lainnya serta kedelai. Keterangan gambar dari proses fitostabilisasi dapat dilihat pada Gambar 2.5.



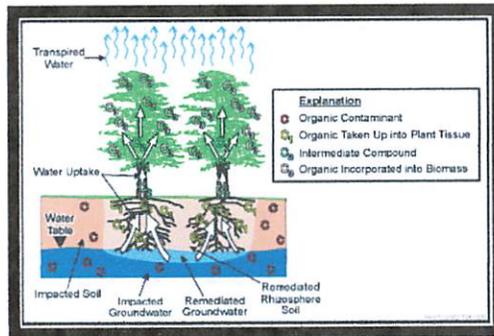
**Gambar 2.5 Proses Phytostabilization**  
(Mangkoedihardjo, 2005)

4. Rizodegradasi (*Rhizodegradation*) disebut juga *enhanced rhizosphere biodegradation*, or *planted-assisted bioremediation degradation*, yaitu penguraian zat-zat kontaminan oleh aktivitas mikroba yang berada disekitar akar tumbuhan. Misalnya ragi, fungi dan bakteri. Spesies tumbuhan yang bisa digunakan adalah berbagai jenis tumbuhan air. Keterangan gambar dari proses rizodegradasi dapat dilihat pada Gambar 2.6.



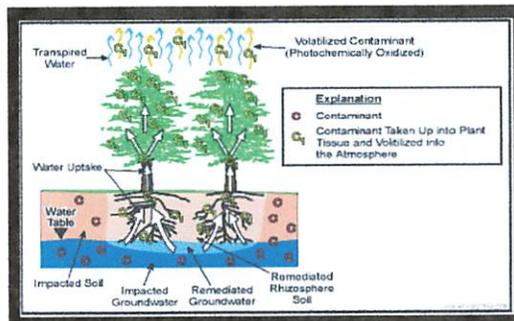
**Gambar 2.6** Proses Rhizodegradasi  
(Mangkoedihardjo, 2005)

5. Fitodegradasi (*Phytodegradation/phytotransformation*) yaitu proses yang dilakukan tumbuhan untuk menguraikan zat kontaminan yang mempunyai rantai molekul yang kompleks menjadi bahan yang tidak berbahaya dengan dengan susunan molekul yang lebih sederhana yang dapat berguna bagi pertumbuhan tumbuhan itu sendiri. Proses ini dapat berlangsung pada daun, batang, akar atau di luar sekitar akar dengan bantuan enzim yang dikeluarkan oleh tumbuhan itu sendiri. Beberapa tumbuhan mengeluarkan enzim berupa bahan kimia yang mempercepat proses degradasi. Spesies tumbuhan yang bisa digunakan adalah berbagai jenis tumbuhan air. Keterangan gambar dari proses fitodegradasi dapat dilihat pada Gambar 2.7.



**Gambar 2.7 Proses Phytodegradation**  
(Mangkoedihardjo, 2005)

6. Fitovolatilisasi (*Phytovolatilization*) yaitu proses menarik dan transpirasi zat kontaminan oleh tumbuhan dalam bentuk yang telah menjadi larutan terurai sebagai bahan yang tidak berbahaya lagi untuk selanjutnya di uapkan ke atmosfer. Beberapa tumbuhan dapat menguapkan air 200 sampai dengan 1000 liter perhari untuk setiap batang. Spesies tumbuhan yang bisa digunakan adalah tumbuhan kapas, pakis dan berbagai jenis tumbuhan air. Keterangan gambar dari proses fitovolatilisasi dapat dilihat pada Gambar 2.8.



**Gambar 2.8 Proses Phytovolatilization**  
(Mangkoedihardjo, 2005)



Peranan tanaman dalam proses mempercepat remediasi pada lokasi yang tercemar bisa dalam berbagai cara antara lain:

1) Solar driven-pump-and-trait-system

Tanaman mengalami transpirasi, proses ini adalah penyerapan air dan air tersebut diuapkan ke udara melewati stomata pada daun. Proses transpirasi ini menggunakan matahari sebagai sistem yang membantu transpirasi. Pada saat transpirasi terjadi akar tanaman menghisap zat cair dan larutan yang berada disekitar akar tertarik ke daerah rhizospher sehingga kontaminan lebih terkonsentrasi di daerah rhizospher dan mempermudah bakteri untuk mengambil sebagai sumber nutrisi. Proses penarikan polutan kedaerah rhizosfer dengan bantuan sinar matahari disebut dengan Solar driven-pump-and-trait-system.

2) Biofilter

Tanaman dapat mengadsorpsi dan biodegradasi kontaminan yang berada di udara, air dan daerah buffer. Proses adsorpsi tersebut bersifat menyaring atau filter untuk kontaminan.

3) Transfer oksigen dan menurunkan water table

Tanaman dengan sistem perakarannya dapat berfungsi sebagai oksigen transfer bagi mikroorganisme dan dapat menurunkan water table sehingga difusi gas dapat terjadi. Fungsi ini biasanya dilakukan oleh tanaman apabila kontaminannya bersifat readily degraded.

4) Penghasil sumber karbon dan energi

Kontaminan biasanya bersifat tidak terlarut baik pada air sehingga sebelum dapat mendegradasi polutan, mikroorganisme memerlukan nutrisi alternatif sebelum dapat menggunakan polutan sebagai sumber karbon dan energi. Dari beberapa hasil penelitian tanaman dapat berperan sebagai penghasil sumber karbon dan energi alternatif yaitu dengan cara mengeluarkan hasil metabolisme oleh akar tanaman. Hasil dari proses metabolisme tersebut dapat digunakan oleh mikroorganisme tanah sebagai

sumber karbon dan energi alternatif sebelum mikroorganisme tersebut menggunakan polutan sebagai sumber karbon dan energi.

#### 5) Rhizofiltrasi

Tanaman menyerap polutan yang terkandung di dalam air melalui perakaran tanaman.

Pada penelitian fitoremediasi di lapangan ada beberapa persyaratan bagi tanaman yang akan digunakan dalam penelitian tersebut. Tidak semua tanaman dapat digunakan dikarenakan semua tanaman tidak dapat melakukan metabolisme, volatilisasi dan akumulasi semua polutan dengan mekanisme yang sama.

Tanaman yang dapat digunakan pada penelitian fitoremediasi dipilih tanaman yang mempunyai sifat :

- 1) Cepat tumbuh.
- 2) Mampu mengkonsumsi air dalam jumlah yang banyak pada waktu yang singkat.
- 3) Mampu meremediasi lebih dari satu polutan.
- 4) Toleransi yang tinggi terhadap polutan.

#### 2.3.3 Jenis-jenis Tumbuhan Air

Tumbuhan air merupakan tumbuhan yang hidup dalam habitat air atau pada tempat yang basah. Daerah persebaran dari tumbuhan air ini cukup luas sehingga dapat dijumpai di daerah perairan, baik itu sungai, danau, rawa-rawa dan sebagainya dengan berbagai jenis ragam dan bentuk serta sifat-sifatnya.

Tumbuhan air yang hidup dalam perairan memberikan keuntungan antara lain: menyumbang produktivitas dan menyediakan media substrat untuk pertumbuhan mikroorganisme dan membantu siklus nutrisi akumulasi di dalam sedimen. Kaitannya dengan fungsi *fitoremediasi* sebagai sistem pengolahan limbah cair, tumbuhan air berperan penting dalam menyediakan tempat untuk menempelnya mikroba pengurai.

Berdasarkan habitat dan karakteristiknya, tanaman air dapat dibagi menjadi empat golongan yaitu :

1. Tumbuhan air yang hidup melayang di dalam perairan (*Submerged Aquatic Plant*)

Merupakan tumbuhan yang hidupnya keseluruhan di dalam air atau tenggelam seluruh bagian. Contoh dari tumbuhan jenis ini adalah hydrilla (*Hydrilla verticillata*), Charra, *Egeria densa*, *Myriophyllum aquaticum*, dan *Elodea nutallii*.

2. Tumbuhan air yang hidup di permukaan (*Floating Aquatic Plant*)

Ada dua jenis *floating type*, yaitu:

- a. *Floating attached*

Jenis ini mempunyai daun yang mengapung di atas permukaan air tetapi akarnya tertanam pada bagian dasar. Yang termasuk dalam golongan ini adalah *Water lily (Nymphaea nauchali)*.

- b. *Floating unattached*

Akar dari jenis ini menggantung di air dan tidak menempel pada dasar perairan dan juga tidak membutuhkan media di dalam penanamannya. Yang termasuk dalam golongan ini adalah Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*), Kayu Apu (*Pistia stratiotes*), Kangkung Air (*Ipomea aquatica*), Duckweed (*Lemna minor*), Giant salvinia (*Salvinia molesta*), *Azolla pinnata*.

3. Tumbuhan air yang hidup di tepi perairan (*Marginal Emergent Aquatic Plant*)

Jenis tumbuhan air ini memiliki akar dan batang yang terendam dalam air. Namun, sebagian besar batangnya justru menyembul ke permukaan air. Selain batang, bagian batang dan bunganya juga berada di atas permukaan air, yang termasuk tumbuhan jenis ini adalah *Cattail (Typha angustifolia)*, Rumput payung (*Cyperus alternifolius*) dan *Bulrush*.

4. Tanaman air yang tumbuh pada dasar perairan (*Deep Aquatic Plant*)

Tanaman air yang tumbuh pada dasar perairan mempunyai akar yang tertanam kuat pada bagian dasar tersebut, sedangkan batangnya berdiri tegak menopang daun dan bunga yang muncul pada permukaan air. Yang termasuk dalam golongan ini antara lain adalah *Nuphar* dan *Nymphaea*.

Penyerapan dan akumulasi polutan oleh tumbuhan air dapat dibagi menjadi tiga proses yang berkesinambungan, yaitu : (Amalia, 2005).

1. Penyerapan polutan oleh akar

Di dalam akar tanaman, terdapat daerah (kompartemen) yang merupakan tempat terjadinya transportasi larutan, terutama untuk larutan yang mengandung ion dan masuk ke dalam sistem perakaran tumbuhan.

2. Translokasi di dalam tubuh tumbuhan

Setelah polutan dibawa masuk ke dalam sel akar, selanjutnya polutan harus diangkut melalui jaringan pengangkut, yaitu xilem dan floem ke bagian tumbuhan lain.

3. Lokalisasi polutan dalam jaringan

Untuk mencegah terjadinya peracunan polutan terhadap sel, tumbuhan mempunyai mekanisme detoksifikasi, misalnya dengan cara menimbun polutan di dalam organ tertentu seperti akar.

Pada proses penyerapan polutan oleh tumbuhan air dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu :

1. Jenis tumbuhan yang digunakan

2. Konsentrasi awal larutan

3. Kapasitas penyerapan yang dimiliki oleh tumbuhan tersebut

4. pH larutan

Semakin rendah nilai pH dari suatu larutan akan mengakibatkan kapasitas penyerapan semakin berkurang karena  $H^+$  yang terlalu tinggi akan bersifat asam dan nantinya akan menghambat penyerapan.

5. Keberadaan polutan

## 6. Waktu detensi

Semakin lama waktu detensinya, maka semakin besar pula polutan yang dapat diserap oleh tumbuhan air. Namun faktor ini tidak berlaku apabila tumbuhan air telah mencapai titik jenuh sehingga berapapun waktu detensi berikutnya, tumbuhan air tidak akan mampu menyerap polutan lagi dan hal ini dapat dijadikan pedoman untuk menentukan kapan tumbuhan tersebut harus di *recovery*.

### 2.3.4 Eceng Gondok

Eceng gondok pertama kali ditemukan secara tidak sengaja oleh seorang ilmuwan bernama Carl Friedrich Philipp von Martius, seorang ahli botani berkebangsaan Jerman pada tahun 1824 ketika sedang melakukan ekspedisi di Sungai Amazon Brasil. Eceng gondok memiliki kecepatan tumbuh yang tinggi sehingga tumbuhan ini dianggap sebagai gulma yang dapat merusak lingkungan perairan. Eceng gondok dengan mudah menyebar melalui saluran air ke badan air lainnya.

Sistematika *Eichhornia crassipes* (sumber: Wikipedia, 2009)

Kingdom : Plantae  
Divisio : Magnoliophyta  
Class : Liliopsida  
Ordo : Commelinales  
Family : Pontederiaceae  
Genus : *Eichhornia*  
Species : *E. Crassipes*



Gambar 2.9. Eceng gondok  
(*Eichhornia crassipes*)



### 2.3.5 Morfologi Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*)

Eceng gondok merupakan tumbuhan parenial yang hidup di perairan terbuka, mengapung di air jika tempat tumbuhnya cukup dalam dan berakar di dasar jika air dangkal. Tingginya sekitar 0,4 - 0,8 meter. Tidak mempunyai batang. Daunnya tunggal dan berbentuk oval. Ujung dan pangkalnya meruncing, pangkal tangkai daun menggelembung. Permukaan daunnya licin dan berwarna hijau. Bunganya termasuk bunga majemuk, berbentuk bulir, kelopaknya berbentuk tabung. Bijinya berbentuk bulat dan berwarna hitam. Buahnya kotak beruang tiga dan berwarna hijau. Akarnya merupakan akar serabut (e-smartschool.com, 2007)

Perkembangbiakan dapat terjadi secara vegetatif maupun secara generatif. Perkembangan terjadi jika tunas baru tumbuh pada ketiak daun lalu membesar dan akhirnya menjadi tumbuhan baru. Eceng gondok dapat menggandakan daunnya pada 7-10 hari. Perkembangbiakan secara generatif terjadi melalui bijinya, sebelum terjadinya biji didahului oleh penyerbukan pada bunga. Karangan eceng gondok berbentuk bulir bertangkai panjang, berbunga 6 sampai 35 tangkai. Kelopaknya bunga berbentuk tabung, termasuk bunga majemuk, sehingga eceng gondok memungkinkan penyerbukan, setelah 20 hari bunganya akan masak, terbebas lalu pecah dan bijinya masuk ke perairan untuk kemudian menjadi tanaman baru. Satu tanaman dapat menghasilkan 5 sampai 6 ribu biji tiap musim.

Eceng gondok dikenal sebagai gulma air atau tanaman yang mengganggu ekosistem air karena pertumbuhannya sangat pesat dapat menutupi aliran sungai maupun danau. Tetapi tanaman ini memiliki banyak manfaat dan salah satunya yaitu sebagai stabilisator suatu perairan dan kemampuannya menetralsisir bahan tercemar yang masuk ke dalam perairan. Akar tanaman eceng gondok dapat menyerap partikel logam berat, fenol, dan senyawa fosfat (Marianto, 2002)

Kemampuan tanaman inilah yang banyak digunakan untuk mengolah air buangan, karena dengan aktivitas tanaman ini mampu mengolah air buangan domestik dengan tingkat efisiensi yang tinggi. Salah satu gambaran untuk mengetahui kemampuan eceng gondok dalam mengelola limbah domestik adalah hasil penelitian Djaenudin (2006) yang memperoleh hasil sebagai berikut : nilai

TSS (total padatan terlarut), sudah di bawah nilai baku mutu yang dipersyaratkan yaitu 180 mg/l dengan nilai ambang batas yaitu 200 mg/l. Tanaman eceng gondok juga ini mampu menurunkan konsentrasi ammonia sebesar 81% dalam waktu 10 hari. Adapun bagian-bagian tanaman yang berperan dalam penguraian air limbah adalah sebagai berikut :

- **Akar**

Bagian akar eceng gondok ditumbuhi dengan bulu-bulu akar yang berserabut, berfungsi sebagai pegangan atau jangkar tanaman. Sebagian besar peranan akar untuk menyerap zat-zat yang diperlukan tanaman dari dalam air. Pada ujung akar terdapat kantung akar yang mana di bawah sinar matahari kantung akar ini berwarna merah, susunan akarnya dapat mengumpulkan lumpur atau partikel-partikel yang terlarut dalam air.

- **Daun**

Daun eceng gondok tergolong dalam makrofit yang terletak di atas permukaan air, yang di dalamnya terdapat lapisan rongga udara dan berfungsi sebagai alat pengapung tanaman. Zat hijau daun (klorofil) eceng gondok terdapat dalam sel epidemis. Di permukaan atas daun dipenuhi oleh mulut daun (stomata) dan bulu daun. Rongga udara yang terdapat dalam akar, batang, dan daun selain sebagai alat penampung juga berfungsi sebagai tempat penyimpanan  $O_2$  dari proses fotosintesis. Oksigen hasil dari fotosintesis ini digunakan untuk respirasi tumbuhan di malam hari dengan menghasilkan  $CO_2$  yang akan terlepas kedalam air.

- **Tangkai**

Tangkai eceng gondok berbentuk bulat menggelembung yang di dalamnya penuh dengan udara yang berperan untuk mengapungkan tanaman di permukaan air. Lapisan terluar petiole adalah lapisan epidermis, kemudian di bagian bawahnya terdapat jaringan tipis sklerenkim dengan bentuk sel yang tebal disebut lapisan parenkim, kemudian di dalam jaringan ini terdapat jaringan pengangkut (*xylem dan floem*). Rongga-rongga udara dibatasi oleh dinding penyekat berupa selaput tipis berwarna putih.

- **Bunga**

Eceng gondok berbunga bertangkai dengan warna mahkota lembayung muda. Berbunga majemuk dengan jumlah 6-35 berbentuk karangan bunga bulir dengan putik tunggal.

Pemilihan tanaman eceng gondok didasarkan pada pertimbangan - pertimbangan berikut ini :

- 1) Tanaman eceng gondok merupakan jenis tanaman yang banyak dijumpai di Indonesia.
- 2) Dari segi ekonomi tanaman eceng gondok harganya relatif murah.
- 3) Tidak memerlukan perawatan khusus dan pemeliharaan sangat mudah.
- 4) Tanaman eceng gondok ini juga memiliki kemampuan untuk mengolah limbah, baik itu berupa logam berat, zat organik maupun anorganik.

### **2.3.6 Fisiologis Eceng Gondok**

Eceng gondok memiliki daya adaptasi yang besar terhadap berbagai macam hal yang ada di sekelilingnya dan dapat berkembang biak dengan cepat. Eceng gondok dapat hidup di tanah yang selalu tertutup oleh air yang banyak mengandung makanan. Selain itu daya tahan eceng gondok juga dapat hidup di tanah asam dan tanah yang basah.

Kemampuan eceng gondok untuk melakukan proses-proses sebagai berikut :

- **Transpirasi**

Jumlah air yang digunakan dalam proses pertumbuhan hanyalah memerlukan sebagian kecil jumlah air yang diadsorpsi atau sebagian besar dari air yang masuk ke dalam tumbuhan dan keluar meninggalkan daun dan batang sebagai uap air disebut sebagai proses transpirasi. Laju hilangnya air dari tumbuhan dipengaruhi oleh kuantitas sinar matahari dan musim penanaman. Laju transpirasi akan ditentukan oleh struktur daun eceng gondok yang terbuka lebar yang memiliki stomata yang banyak sehingga proses transpirasi akan besar dan beberapa faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, udara, cahaya dan angin.

- **Fotosintesis**

Fotosintesis adalah sintesa karbohidrat dari karbondioksida dan air oleh klorofil. Menggunakan cahaya sebagai energi dengan oksigen sebagai produk tambahan. Dalam proses fotosintesis ini tanaman membutuhkan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O dan dengan bantuan sinar matahari akan menghasilkan glukosa dan oksigen dan senyawa-senyawa organik lain. Karbondioksida yang digunakan dalam proses ini berasal dari udara dan energi matahari.

- **Respirasi**

Sel tumbuhan dan hewan mempergunakan energi untuk membangun dan memelihara protoplasma, membran plasma dan dinding sel. Energi tersebut dihasilkan melalui pembakaran senyawa-senyawa. Dalam respirasi molekul gula atau glukosa (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) diubah menjadi zat-zat sederhana yang disertai dengan pelepasan energi.

### **2.3.7 Perkembangbiakan Eceng Gondok**

Tumbuhan eceng gondok mempunyai daya regenerasi yang cepat karena potongan-potongan vegetatifnya yang terbawa arus akan terus berkembang menjadi eceng gondok dewasa. Setiap 10 tanaman eceng gondok mampu berkembangbiak menjadi 600.000 tanaman baru dalam waktu 8 bulan. Eceng gondok sangat peka terhadap keadaan yang unsur haranya di dalam air kurang mencukupi, tetapi responnya terhadap kadar unsur hara yang tinggi juga besar. Proses regenerasi yang cepat dan toleransinya terhadap lingkungan yang cukup besar, menyebabkan eceng gondok dapat dimanfaatkan sebagai pengendali pencemaran lingkungan.

Sel-sel akar tanaman umumnya mengandung ion dengan konsentrasi yang lebih tinggi dari pada medium sekitarnya yang biasanya bermuatan negative. Penyerapan ini melibatkan energi, sebagai konsekuensi dan keberadaannya, kation memperlihatkan adanya kemampuan masuk ke dalam sel secara pasif ke dalam gradient elektrokimia, sedangkan anion harus diangkut secara aktif ke dalam sel akar tanaman sesuai dengan keadaan gradient konsentrasi melawan gradient elektrokimia.

Di dalam akar, tanaman biasa melakukan perubahan pH kemudian membentuk suatu zat khelat yang disebut fitosiderofor. Zat inilah yang kemudian mengikat logam kemudian dibawa ke dalam sel akar. Agar penyerapan logam meningkat, maka tumbuhan ini membentuk molekul rediktase di membran akar. Sedangkan model transportasi di dalam tubuh tumbuhan adalah logam yang dibawa masuk ke sel akar kemudian ke jaringan pengangkut yaitu xylem dan floem, ke bagian tumbuhan lain. Sedangkan lokalisasi logam pada jaringan bertujuan untuk mencegah keracunan logam terhadap sel, maka tanaman akan melakukan detoksifikasi, misalnya menimbun logam kedalam organ tertentu seperti akar (Lilik Triyanto, 2011).

### 2.3.8 Pemanfaatan Eceng Gondok

Pemanfaatan eceng gondok untuk produk tertentu merupakan cara yang lebih bijak jika dibandingkan dengan cara-cara lain sebab risiko yang ditimbulkan lebih kecil. Pemanfaatan eceng gondok untuk memperbaiki kualitas air yang tercemar, khususnya terhadap limbah rumah tangga dan industri cukup efektif diterapkan pada *pre-treatment* sebagai biofilter alami, sebab eceng gondok memiliki kemampuan menyerap zat pencemar yang tinggi daripada jenis tumbuhan lainnya. Dari hasil percobaan laboratorium, kecepatan penyerapan Nitrogen ( $N_2$ ) yang maksimal dipengaruhi oleh kerapatan tanaman, sedangkan kecepatan penyerapan Phosphat (P) tidak saja dipengaruhi oleh kandungan Phosphat di dalam air dan kerapatan eceng gondok, tetapi dipengaruhi pula oleh kadar Phosphat dalam jaringan. Faktor penunjuk lainnya yang memengaruhi penyerapan senyawa Nitrogen dan Phosphat adalah waktu detensi zat tersebut di dalam limbah yang ditumbuhi oleh eceng gondok (Frutituti, 2009).

Sistem biofilter alami yang terjadi pada eceng gondok berlangsung melalui proses transportasi dan fotosintesis. Kedua proses tersebut merupakan kegiatan yang berlangsung dalam tanaman eceng gondok dalam mempertahankan hidupnya.



Syamsul (2010), menyebutkan bahwa eceng gondok banyak menimbulkan masalah pencemaran sungai atau waduk, tetapi mempunyai manfaat sebagai berikut :

- a. Mempunyai sifat biologis sebagai penyaring air yang tercemar oleh berbagai bahan kimia buatan industri.
- b. Sebagai bahan penutup tanah, kompos dalam kegiatan pertanian dan perkebunan.
- c. Sebagai sumber gas yang antara lain berupa gas ammonium sulfat, gas hidrogen dan metan yang diperoleh dengan cara fermentasi.
- d. Bahan baku pupuk tanaman yang mengandung unsur NPK yang merupakan tiga unsur utama yang dibutuhkan tanaman.
- e. Sebagai bahan industri kertas, papan buatan dan bahan baku karbon aktif.

### **2.3.9 Kerugian Eceng Gondok**

Kondisi merugikan yang timbul sebagai dampak pertumbuhan eceng gondok yang tidak terkendali diantaranya adalah :

- a. Menurunnya jumlah cahaya yang masuk kedalam perairan sehingga menyebabkan menurunnya tingkat kelarutan oksigen didalam air.
- b. Mengganggu lalu lintas (transportasi) air, khususnya bagi masyarakat yang kehidupannya masih tergantung dari sungai.
- c. Meningkatnya habitat bagi vector penyakit pada manusia dan menurunnya estetika lingkungan perairan.

### **2.3.10 Unsur Hara Yang Dibutuhkan**

Tanaman membutuhkan unsur-unsur hara dalam pertumbuhannya. Apabila salah satu dari unsur hara tersebut tidak dipenuhi, maka hal ini akan mempengaruhi metabolisme tanaman. Unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman air dibedakan menjadi :

1. Unsur makro

Yang termasuk dalam unsur makro adalah C, H, I, N, P, S, K, Ca dan Mg.

Unsur makro merupakan unsur yang dibutuhkan oleh tanaman dalam jumlah yang besar. Tanaman mengambil karbon (C) dalam bentuk CO<sub>2</sub> yang besar dari atmosfer. Air dan unsur lainnya diambil dari dalam tanah.

2. Unsur mikro

Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo, Co dan Cl merupakan unsur-unsur yang dibutuhkan tumbuhan dalam jumlah yang kecil. Umumnya unsur mikro ini didapatkan dari lapisan tanah dan air.

Agar dapat diserap oleh tumbuhan, maka unsur-unsur tersebut harus berbentuk larutan atau terlarut dalam air. Sedangkan fungsi air itu sendiri bagi tanaman adalah :

1. Sebagai sumber kehidupan
2. Sebagai pelarut unsur hara dalam tanah sehingga dapat diserap oleh tanaman
3. Merupakan proses terpenting dalam fotosintesis
4. Untuk mempertahankan suhu tanaman sehingga sesuai dengan suhu lingkungannya (Suwariyanti, 2002 dalam Sanaky, 2008)

### 2.3.11 Fotosintesis

Pada hakikatnya semua kehidupan di atas bumi ini tergantung langsung dari adanya proses asimilasi CO<sub>2</sub> menjadi senyawa kimia organik dengan energi yang didapat dari sinar matahari. Dalam proses ini energi sinar matahari (energi foton) ditangkap dan diubah menjadi energi yang dipakai oleh manusia untuk pemanasan, cahaya dan tenaga (Subrata, 2007).

Fotosintesis merupakan suatu sifat fisiologi yang hanya dimiliki oleh tanaman. Pada waktu proses fotosintesis berlangsung molekul-molekul air diambil dari media hidupnya, sedangkan karbondioksida (CO<sub>2</sub>) diambil dari udara atau dari dalam air dalam bentuk karbondioksida terlarut. Oleh kloroplas tanaman, atom-atom C, H dan O dari zat-zat tersebut diubah menjadi senyawa hidrat arang (gula atau pati). Sebagai hasil tambahan dari proses fotosintesis, tanaman mengeluarkan kelebihan oksigen ke udara dan perairan sehingga dapat

dimanfaatkan oleh organisme air. Sedangkan gula yang dihasilkan oleh proses fotosintesis ini, diperlukan adanya cahaya matahari. Besarnya energi yang diberikan oleh cahaya tergantung dari intensitas cahaya matahari (banyaknya sinar per cm<sup>2</sup> per detik) dan waktu penyinaran. Proses fotosintesis ini tidak dapat berjalan pada suhu kurang dari 5°C.

Laju fotosintesis akan tinggi bila intensitas cahaya tinggi dan akan menurun bila intensitas cahaya berkurang. Oleh karena itu cahaya berperan sebagai faktor pembatas utama dalam fotosintesis atau produktifitas primer (Sanaky, 2008). Unsur radiasi matahari yang penting bagi tanaman ialah intensitas cahaya, kualitas cahaya dan lamanya penyinaran. Bila intensitas cahaya yang diterima rendah, maka jumlah cahaya yang diterima oleh setiap luasan permukaan tanaman dalam jangka waktu tertentu juga rendah (Gardner *et al.*, 1991 ; Djukri dan Purwoko dalam Subrata, 2007).

Kondisi kekurangan cahaya berakibat terganggunya metabolisme, sehingga menyebabkan menurunnya laju fotosintesis dan sintesis karbohidrat. Faktor yang mempengaruhi proses fotosintesis selain CO<sub>2</sub>, air dan cahaya adalah sebagai berikut :

1. Unsur hara

Beberapa unsur hara seperti fosfat, nitrat dan unsur lainnya dapat meningkatkan proses fotosintesis karena unsur-unsur tersebut berperan terhadap pertumbuhan dan perkembangan bagian-bagian tumbuhan termasuk daun, kloroplas dan lainnya.

2. Suhu

Pengaruh suhu terhadap proses fotosintesis bergantung pada jenis tumbuhannya dan keadaan lingkungan tempat itu tumbuh.

3. Umur daun

Sejalan dengan pertumbuhan daun, kemampuannya untuk melakukan fotosintesis akan meningkat sampai daun tersebut berkembang penuh, kemudian mulai turun secara perlahan. Daun tua yang hampir mati tidak mampu berfotosintesis karena rusaknya klorofil dan hilangnya fungsi dari kloroplas (Suwariyanti, 2002 dalam Sanaky, 2008)

### **2.3.12 Mekanisme Penyerapan Unsur Hara Oleh Tumbuhan Air**

Tanaman dapat menyerap unsur hara melalui akar tanaman. Unsur karbon (C) dan oksigen (O) diambil oleh tanaman dari udara sebagai  $\text{CO}_2$  melalui stomata daun dalam proses fotosintesis. Sedangkan unsur H diambil dari air tanah ( $\text{H}_2\text{O}$ ) oleh akar tanaman dan dalam jumlah sedikit air juga diserap tanaman melalui daun. Unsur-unsur hara yang diserap oleh tanaman terdapat dalam bentuk kation dan anion yang terlarut dalam air. Air yang mengandung bahan pencemar dan berbahaya bagi lingkungan seperti air limbah dari industri logam berat, maupun air limbah domestik, tetapi bermanfaat bagi tanaman maka bahan tersebut akan diserap pula (Widyastuti dalam Subrata, 2007). Proses penyerapan unsur hara oleh tanaman ini dapat berlangsung bila unsur hara tersebut telah berkontak dengan permukaan akar. Penyerapan unsur hara oleh akar melibatkan beberapa proses antara lain :

1. Pergerakan ion dari media hidup tanaman menuju ke permukaan akar tanaman  
Secara garis besar proses yang terjadi pada pergerakan ion dari media ke permukaan akar memiliki kriteria tertentu diantaranya adalah terdapatnya gradien konsentrasi antara larutan media dan larutan ruang bebas di antara akar pada kondisi pertumbuhan normal.
2. Penimbunan ion dalam sel akar  
Penimbunan ion dalam sel akar dianggap sebagai tahap pertama dalam proses penyerapan unsur hara melalui akar. Ion-ion menempel di permukaan akar dan menembus dinding sel dan selanjutnya akan sampai pada membran sel. Dari lapisan membran sel inilah mekanisme penyerapan ini dimulai.
3. Pergerakan ion secara radial dari permukaan akar ke dalam pembuluh kayu. Pergerakan ion ini dilakukan melalui tiga jalan, yaitu :
  - a. Pergerakan antar vakuola sel
  - b. Pergerakan melalui simplas
  - c. Pergerakan melalui ruang bebas dari dinding sel/kombinasi ketiganya.  
Pergerakan ini dilakukan melalui difusi aliran massa diantara sel

4. Pengangkutan ion dari akar menuju batang dan daun, dimana pergerakan ion secara pasif melalui membran ini memerlukan adanya daya gerak hingga kesetimbangan pada dua sisi membran (Suwariyanti, 2002 dalam Sanaky, 2008)

## **2.4 Proses Aklimatisasi**

Aklimatisasi adalah proses dari sebuah organisme untuk menyesuaikan diri dengan perubahan lingkungan secara tiba-tiba, umumnya berupa perubahan temperatur, kelembaban, makanan yang biasanya disebabkan oleh perubahan musim atau iklim. Aklimatisasi umumnya hanya memakan waktu yang pendek dan tidak melebihi umur suatu organisme. Aklimatisasi adalah suatu proses yang terjadi secara alami, sedangkan “aklimasi” dipergunakan untuk aklimatisasi yang dilakukan secara paksa dalam waktu yang jauh lebih singkat (Wood, 1993 dalam Budiman, 2010). Proses penyesuaian ini berlangsung dalam waktu yang cukup bervariasi tergantung dari jauhnya perbedaan kondisi antara lingkungan baru yang akan dihadapi, dapat berlangsung selama beberapa hari hingga beberapa minggu (EPA, 1996 dalam Budiman 2010).

## **2.5 Parameter Yang Dikaji Dalam Pengolahan Limbah Cair**

### **2.5.1 Biological Oksigen Demand (BOD)**

*Biochemical Oxygen Demand* atau yang biasa dikenal dengan istilah BOD adalah suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik (Hariyadi, 2004)

Pemeriksaan BOD dalam limbah didasarkan atas reaksi oksidasi zat-zat organik dengan oksigen dalam air dimana proses tersebut berlangsung karena adanya sejumlah bakteri. BOD adalah kebutuhan oksigen bagi sejumlah bakteri untuk menguraikan (mengoksidasikan) semua zat-zat organik yang terlarut maupun sebagai tersuspensi dalam air menjadi bahan organik yang lebih sederhana (Ginting, 2007). BOD<sub>5</sub> adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau mg/l

yang diperlukan untuk menguraikan benda organik oleh bakteri pada suhu 20 °C selama 5 hari. Biasanya dalam waktu 5 hari, sebanyak 60% – 70% kebutuhan terbaik karbon dapat tercapai dan dalam waktu 20 hari akan mencapai 95%. BOD hanya menggambarkan kebutuhan oksigen untuk penguraian bahan organik yang dapat didekomposisikan secara biologis (*biodegradable*).

### **2.5.2 Chemical Oksigen Demand (COD)**

*Chemical Oxygen Demand* atau COD adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air (Hariyadi, 2004). Pengukuran nilai COD menekankan kebutuhan oksigen akan kimia dimana senyawa-senyawa yang diukur adalah bahan-bahan yang tidak dipecah secara biokimia. COD dapat dipakai sebagai ukuran untuk mengukur derajat pencemaran air yang ditimbulkan oleh senyawa-senyawa yang sukar diuraikan atau zat anorganik (Ginting, 2007). Definisi COD adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau milligram per liter yang dibutuhkan dalam kondisi khusus untuk menguraikan benda organik secara kimiawi. Nilai COD biasanya dalam satuan ppm, kilogram atau persentase (%). Pengujian kebutuhan oksigen kimia (KOK) atau *Chemical Oksigen Demand* (COD) merupakan cara uji yang digunakan secara luas untuk mengukur pencemaran air yang ditimbulkan oleh limbah domestik maupun industri.

Keuntungan pengujian COD yaitu membutuhkan waktu yang cukup cepat ( $\pm 3$  Jam) dibandingkan dengan pengujian BOD yang berlangsung selama 5 hari. Oleh karena itu dalam keadaan tertentu pengujian COD sering digunakan untuk menggantikan BOD. Data COD diinterpretasikan menjadi data BOD melalui perhitungan dengan faktor korelasi yang telah diketahui. Satuan nilai COD adalah mg O<sub>2</sub>/l atau biasanya cukup dipakai dengan menuliskan mg/l.

## **2.6 Metode Pengolahan Data**

Pengolahan data dilakukan secara statistik. Sebagai alat yang berfungsi untuk mengolah suatu data, penjabaran metodologi statistik didasarkan pada tiga hal yakni proses analisis, asumsi bentuk distribusi, dan banyaknya variabel yang

dilibatkan. Metodologi statistik berdasarkan proses analisisnya meliputi Analisis deskriptif dan analisis konfirmatif (inferensi).

### **2.6.1 Statistik Deskriptif dan Inferensi**

Secara garis besar, statistik dibedakan menjadi 2 yaitu statistika deskriptif dan statistika inferensi. Metode statistika yang meringkas, menyajikan, dan mendeskripsikan data dalam bentuk yang mudah dibaca sehingga memberikan kemudahan dalam memberikan informasi disebut statistika deskriptif. Statistika deskriptif menyajikan data dalam tabel, grafik, ukuran pemusatan data, dan penyebaran data. Agar mendapatkan data lebih terperinci, kita memerlukan analisis data dengan metode statistika tertentu. Hasil analisis data akan memberikan informasi lebih rinci sehingga kita memperoleh suatu kesimpulan mengenai suatu fenomena berdasarkan sampel yang diambil. Analisis tersebut dinamakan statistika inferensi. Statistika inferensi sering disebut statistika induktif. Statistika inferensi memerlukan pengetahuan lebih mengenai konsep probabilitas yang biasa dikenal sebagai ilmu peluang. Ilmu peluang tidak lepas dari statistika karena membantu pengambilan keputusan statistik suatu data (Irawan, 2006).

### **2.6.2 Analisis Korelasi**

Analisis korelasi dilakukan untuk mengukur tingkat keeratan hubungan linear antara variabel yang diamati. Nilai korelasi berkisar antara -1 sampai +1. Nilai korelasi negatif mempunyai artian bahwa hubungan antara dua variabel adalah negatif, dimana jika salah satu variabel menurun maka variabel lainnya meningkat. Nilai korelasi bernilai positif berarti hubungan antara kedua variabel adalah positif, dimana jika salah satu variabel meningkat maka variabel lainnya meningkat pula (Irawan, 2006).

Suatu hubungan antara dua variabel dikatakan berkorelasi kuat apabila makin mendekati 1 atau (-1) dan jika sebuah hubungan antara dua variabel dikatakan lemah apabila semakin mendekati 0 (nol).



Dalam Analisis korelasi ni juga terdapat hipotesa ada tidaknya korelasi antar variabel, dimana :

- $H_0$  = Tidak ada korelasi antara variabel ( $\rho = 0$ )
- $H_1$  = Ada korelasi antara variabel ( $\rho \neq 0$ )

Sementara dasar pengambilan keputusan dapat dilihat dari daerah penolakan berdasarkan nilai probabilitas, yaitu :

- Jika probabilitas  $\geq 0,05$  , maka  $H_0$  diterima
- Jika probabilitas  $< 0,05$  , maka  $H_0$  ditolak

### 2.6.3 Analisis Regresi

Analisis regresi sangat berguna dalam berbagai penelitian antara lain :

- Model regresi dapat digunakan untuk mengukur kekuatan hubungan antara variabel respons dan variabel prediktor.
- Model regresi dapat digunakan untuk mengetahui pengaruh suatu atau beberapa variabel predictor terhadap variabel respons.
- Model regresi berguna untuk mempredisikan pengaruh suatu variabel atau beberapa variabel prediktor terhadap variabel respons.

Model regresi memiliki variabel respons (y) dan variabel prediktor (x). Variabel respons adalah variabel yang di pengaruhi suatu variabel prediktor. Variabel respons sering dikenal variabel dependen karena peneliti tidak bisa bebas mengendalikannya. Kemudian, variabel prediktor digunakan untuk memprediksi nilai variabel respons dan sering disebut variabel independent karena penelitian bebas mengendalikannya (Irawan, 2006).

Pada Analisis regresi juga diperlukan beberapa pengujian, yaitu :

- Uji F yang digunakan untuk mengetahui kelinieran model regresi

Uji F mempunyai hipotesis bahwa :

$H_0$  = y tidak memiliki hubungan linier dengan x

$H_1$  = y memiliki hubungan linier dengan x

Dalam pengambilan keputusan, uji F membandingkan statistik F hitung dengan F tabel. F hitung  $>$  F tabel maka kesimpulannya adalah  $H_0$  ditolak

dan  $H_1$  diterima. Keputusan lain yang dapat diambil bahwa variabel  $y$  (variabel terikat) dengan  $x$  (variabel bebas) mempunyai hubungan linier.

- Uji T yang digunakan untuk mengetahui signifikansi koefisien dari variabel prediktor

Uji T mempunyai hipotesis bahwa :

$H_0$  = koefisien regresi tidak signifikan

$H_1$  = koefisien regresi signifikan

Dalam pengambilan keputusan, uji T membandingkan statistik T hitung dengan statistik T tabel.

- Jika statistik T hitung < statistik T tabel, maka  $H_0$  diterima dan  $H_1$  ditolak.
- Jika statistik T hitung > statistik T tabel, maka  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima.

Sementara dasar pengambilan keputusan dapat dilihat dari daerah penolakan berdasarkan nilai probabilitas, yaitu :

- Jika probabilitas  $\geq 0,05$  , maka  $H_0$  diterima
- Jika probabilitas < 0,05 , maka  $H_0$  ditolak

#### 2.6.4 Analisis Varian (ANOVA) Desain Faktorial

Analysis of Variance atau sering dikenal ANOVA digunakan untuk menyelidiki hubungan antara variabel respon (dependen) dengan 1 atau beberapa variabel prediktor (independent). ANOVA sama dengan regresi, tetapi skala data variabel independen adalah data kategori yaitu skala ordinal atau nominal. Lebih lanjut ANOVA tidak mempunyai nominal (Irawan, 2006).

Desain faktorial digunakan apabila eksperimen terdiri atas 2 faktor atau lebih, desain faktorial memungkinkan kita melakukan kombinasi antar level faktor. Kita memerlukan desain faktorial apabila interaksi antarfaktor mempengaruhi respon dan apabila menghilangkan interaksi antarfaktor mungkin mempengaruhi kesimpulan, kemudian kita mengetahui bahwa desain faktorial lebih efisien dibandingkan desain  $n$  faktor karena bisa mendeteksi pengaruh

perbedaan antarlevel faktor pada saat bersamaan, berbeda dengan desain  $n$  faktor pengaruh interaksi tidak bisa dideteksi (Irawan, 2006).

Dalam Analisis ANOVA terdapat hipotesis masalah, yaitu :

- $H_0 = \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = 0$   
(rata-rata sampel tiap perlakuan sama)
- $H_1 = \tau_1 \neq \tau_2 \neq \tau_3 \neq \tau_4 \neq \tau_5 \neq 0$   
(ada perlakuan yang rata-ratanya tidak sama)

Sementara dalam pengambilan keputusan akan didasarkan pada nilai probabilitas dan nilai F hitung, yaitu :

- a. Nilai probabilitas,
  - Jika probabilitas  $\geq 0,05$  ,  $H_0$  diterima
  - Jika probabilitas  $< 0,05$  ,  $H_0$  ditolak
- b. Nilai F hitung,
  - F hitung output  $> F$  tabel,  $H_0$  ditolak
  - F hitung output  $< F$  tabel,  $H_0$  diterima



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Lokasi Penelitian.

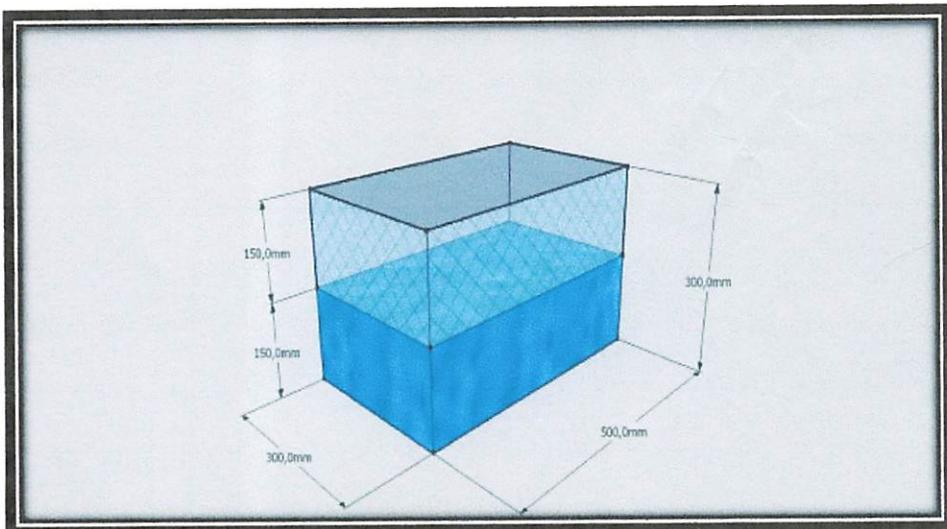
Penelitian ini dilaksanakan selama 10 hari dan tempat penelitian dilaksanakan di Laboratorium Lingkungan ITN Malang.

### 3.2 Peralatan dan Bahan Penelitian

#### 3.2.1 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

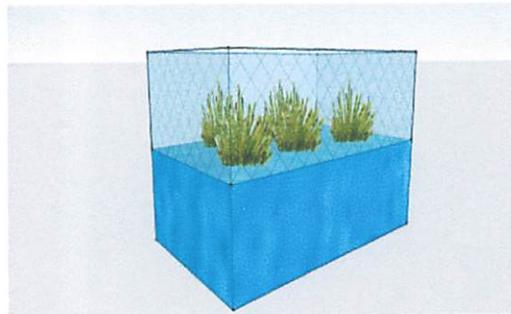
- Reaktor Kontrol
  - Dibutuhkan 5 buah reaktor kontrol berisi air limbah cair industri tahu dengan komposisi 50% air limbah tahu dan 50% aquadest pada masing-masing waktu detensi yang ditentukan tanpa tanaman uji dengan bentuk persegi panjang dengan panjang 50 cm, lebar 30 cm dan tinggi 30 cm dengan volume air sebesar 22,5 L.



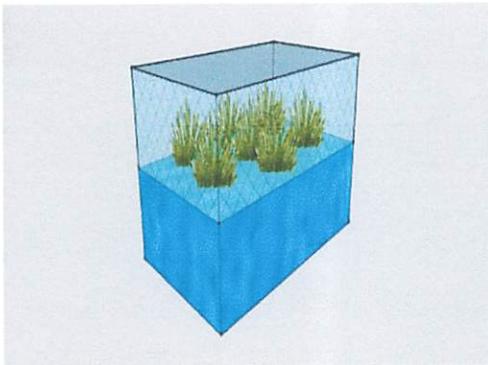
Gambar 3.1 Reaktor Kontrol

- Reaktor Uji

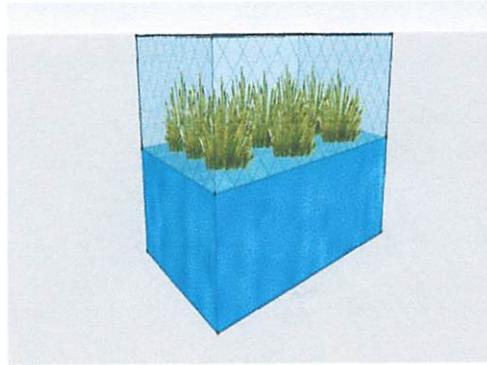
- Dibutuhkan 15 buah reaktor uji berisi air limbah cair industri tahu dengan komposisi 50% air limbah tahu dan 50% aquadest. Reaktor yang digunakan berbentuk persegi panjang dengan panjang 50 cm, lebar 30 cm dan tinggi 30 cm. Volume air dalam setiap reaktor uji sebesar 22,5 L. Masing-masing reaktor ditanami Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) sesuai kerapatan yang telah ditentukan untuk menurunkan kandungan BOD dan COD.



Eceng gondok Kerapatan  $90 \text{ mg/cm}^2$



Eceng gondok Kerapatan  $110 \text{ mg/cm}^2$



Eceng gondok Kerapatan  $130 \text{ mg/cm}^2$

Gambar 3.2 Reaktor Uji

- pH meter
- DO meter
- Neraca analitik

### 3.2.2 Bahan Penelitian

- Limbah Cair Industri Tahu
- Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)
- Aquadest

### 3.3 Variabel Penelitian

#### 3.3.1 Variabel respon

Variabel terikat dalam skripsi ini terdiri dari :

- BOD  
Konsentrasi BOD yang tinggi pada air limbah dipilih agar dapat diketahui perubahan konsentrasi selama proses pengolahan.
- COD  
Konsentrasi COD yang tinggi pada air limbah dipilih agar dapat diketahui perubahan konsentrasi selama proses pengolahan.

BOD dan COD dipilih sebagai parameter yang di analisis karena parameter BOD dan COD merupakan parameter wajib dalam proses pencemaran limbah cair industri tahu sesuai dengan Keputusan Gubernur Jawa Timur Nomor 45 Tahun 2002 tentang Baku Mutu Limbah Cair atau kegiatan Usaha lainnya di Jawa Timur. Nilai konsentrasi BOD dan COD yang anjurkan ialah sebesar 150 mg/L untuk BOD dan 300 mg/L untuk COD.

#### 3.3.2 Variabel Prediktor

Variabel bebas dalam skripsi ini terdiri dari :

- Variasi kerapatan tanaman
  - 90 mg/cm<sup>2</sup>
  - 110 mg/cm<sup>2</sup>
  - 130 mg/cm<sup>2</sup>

Pengambilan keputusan dari variasi kerapatan tanaman ini didasarkan pada penelitian Saputri.2011 yang memanfaatkan kerapatan tanaman 90 mg/cm<sup>2</sup> dengan efektivitas penurunan konsentrasi Phosphat dan BOD

sebesar 90,69% dan 71,12% (Saputri.2011). Hasil penelitian tersebut dijadikan dasar penentuan kerapatan tanaman 90 mg/cm<sup>2</sup>, 110 mg/cm<sup>2</sup> dan 130 mg/cm<sup>2</sup> agar penurunan konsentrasi BOD dan COD dapat terlihat jelas dengan peningkatan variasi kerapatan tanaman.

- Variasi waktu pengambilan sampel
  - a) Pengambilan pertama  
Pengambilan sampel pertama pada saat sampel dituangkan dalam bak reaktor sebagai analisa awal
  - b) Pengambilan kedua  
Pengambilan sampel setelah 2 hari dari pengambilan pertama
  - c) Pengambilan ketiga  
Pengambilan sampel setelah 4 hari dari pengambilan pertama
  - d) Pengambilan keempat  
Pengambilan sampel setelah 6 hari dari pengambilan pertama
  - e) Pengambilan kelima  
Pengambilan sampel setelah 8 hari dari pengambilan pertama
  - f) Pengambilan keenam  
Pengambilan sampel setelah 10 hari dari pengambilan pertama

Pengambilan sampel dilakukan pada interval waktu 2 hari selama 10 hari dengan memperhatikan umur hidup dari tanaman yang digunakan serta waktu kontak dengan limbah. Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) mampu hidup lama diperairan tergantung dari faktor lingkungan disekitarnya. Pertumbuhan eceng gondok sangat memerlukan cahaya matahari yang cukup, dengan suhu optimum antara 25°C - 30°C. Di samping itu untuk pertumbuhan yang lebih baik, eceng gondok lebih cocok terhadap pH 7,0 - 7,5, jika pH lebih atau kurang maka pertumbuhan akan terhambat (worldeducations.2011).



### **3.4 Tahapan Penelitian**

#### **3.4.1 Penelitian Pendahuluan**

Penelitian awal dilakukan analisis pendahuluan untuk mengetahui kondisi awal air sampel yang akan diolah. Parameter yang dianalisis adalah BOD dan COD.

#### **3.4.2 Aklimatisasi**

Aklimatisasi adalah proses dari sebuah organisme untuk menyesuaikan diri dengan perubahan lingkungan secara tiba-tiba yang nantinya akan menjadi tempat hidupnya, umumnya berupa perubahan temperatur, kelembaban, makanan yang biasanya disebabkan oleh perubahan musim atau iklim. Aklimatisasi tanaman uji dilakukan sebelum tanaman tersebut diaplikasikan untuk mereduksi kandungan senyawa organik. Proses aklimatisasi dan pemilahan tanaman dilakukan secara bertahap dengan tahap pengenceran. Setelah proses aklimatisasi dengan pengenceran bertahap selesai dan diperoleh tanaman uji yang sehat dan segar, maka tanaman uji siap untuk diaplikasikan. Pada penelitian ini dilakukan aklimatisasi dengan pengenceran 50% air limbah tahu dan 50% aquadest. Pada pengenceran 50% ini didapati tanaman yang dapat hidup lebih lama dibandingkan dengan kondisi pengenceran 25% dan tanpa pengenceran. Proses aklimatisasi ini dilakukan langsung pada reaktor uji dengan tahapan penambahan air limbah setiap 2 jam per sekali penambahan limbah yang dilakukan hingga 3 kali. Adanya penambahan secara bertahap ini dimaksudkan agar tanaman uji yang digunakan tidak langsung menerima beban organik yang besar.

### **3.5 Prosedur Penelitian**

Prosedur penelitian ini dilakukan setelah tanaman uji mengalami aklimatisasi. Adapun proses fitoremediasi adalah sebagai berikut :

1. Dibutuhkan 20 buah bak reaktor. Reaktor dibuat berbentuk persegi panjang dengan ukuran 50 cm, lebar 30 cm dan tinggi 30 cm.
2. Volume air dalam reaktor diisi air limbah industri tahu sebesar 11,25 liter limbah dan 11,25 liter aquadest. Total volume air menjadi 22,5 liter.

3. Masing-masing reaktor kemudian ditanami oleh tanaman eceng gondok dengan kerapatan yang telah ditentukan. Pemilihan kerapatan tanaman ini juga disesuaikan dengan ukuran reaktor dan ukuran tanaman uji dengan catatan bahwa luas permukaan dari media tanam masih mencukupi untuk pertumbuhan eceng gondok supaya tidak saling tumpang tindih.

- Reaktor 1 : Air Limbah Cair Industri Tahu 22,5 Liter tanpa tanaman uji (Sebagai Kontrol) untuk waktu detensi selama 2 hari
- Reaktor 2 : Air Limbah Cair Industri Tahu 22,5 Liter tanpa tanaman uji (Sebagai Kontrol) untuk waktu detensi selama 4 hari
- Reaktor 3 : Air Limbah Cair Industri Tahu 22,5 Liter tanpa tanaman uji (Sebagai Kontrol) untuk waktu detensi selama 6 hari
- Reaktor 4 : Air Limbah Cair Industri Tahu 22,5 Liter tanpa tanaman uji (Sebagai Kontrol) untuk waktu detensi selama 8 hari
- Reaktor 5 : Air Limbah Cair Industri Tahu 22,5 Liter tanpa tanaman uji (Sebagai Kontrol) untuk waktu detensi selama 10 hari
- Reaktor 6 : Air Limbah Cair Industri Tahu 22,5 Liter + tanaman Eceng Gondok kerapatan  $90 \text{ mg/cm}^2$  untuk waktu detensi selama 2 hari
- Reaktor 7 : Air Limbah Cair Industri Tahu 22,5 Liter + tanaman Eceng Gondok kerapatan  $110 \text{ mg/cm}^2$  untuk waktu detensi selama 2 hari
- Reaktor 8 : Air Limbah Cair Industri Tahu 22,5 Liter + tanaman Eceng Gondok kerapatan  $130 \text{ mg/cm}^2$  untuk waktu detensi selama 2 hari
- Reaktor 9 : Air Limbah Cair Industri Tahu 22,5 Liter + tanaman Eceng Gondok kerapatan  $90 \text{ mg/cm}^2$  untuk waktu detensi selama 4 hari
- Reaktor 10 : Air Limbah Cair Industri Tahu 22,5 Liter + tanaman Eceng Gondok kerapatan  $110 \text{ mg/cm}^2$  untuk waktu detensi selama 4 hari

- Reaktor 11 : Air Limbah Cair Industri Tahu 22,5 Liter + tanaman Eceng Gondok kerapatan 130 mg/cm<sup>2</sup> untuk waktu detensi selama 4 hari
- Reaktor 12 : Air Limbah Cair Industri Tahu 22,5 Liter + tanaman Eceng Gondok kerapatan 90 mg/cm<sup>2</sup> untuk waktu detensi selama 6 hari
- Reaktor 13 : Air Limbah Cair Industri Tahu 22,5 Liter + tanaman Eceng Gondok kerapatan 110 mg/cm<sup>2</sup> untuk waktu detensi selama 6 hari
- Reaktor 14 : Air Limbah Cair Industri Tahu 22,5 Liter + tanaman Eceng Gondok kerapatan 130 mg/cm<sup>2</sup> untuk waktu detensi selama 6 hari
- Reaktor 15 : Air Limbah Cair Industri Tahu 22,5 Liter + tanaman Eceng Gondok kerapatan 90 mg/cm<sup>2</sup> untuk waktu detensi selama 8 hari
- Reaktor 16 : Air Limbah Cair Industri Tahu 22,5 Liter + tanaman Eceng Gondok kerapatan 110 mg/cm<sup>2</sup> untuk waktu detensi selama 8 hari
- Reaktor 17 : Air Limbah Cair Industri Tahu 22,5 Liter + tanaman Eceng Gondok kerapatan 130 mg/cm<sup>2</sup> untuk waktu detensi selama 8 hari
- Reaktor 18 : Air Limbah Cair Industri Tahu 22,5 Liter + tanaman Eceng Gondok kerapatan 90 mg/cm<sup>2</sup> untuk waktu detensi selama 10 hari
- Reaktor 19 : Air Limbah Cair Industri Tahu 22,5 Liter + tanaman Eceng Gondok kerapatan 110 mg/cm<sup>2</sup> untuk waktu detensi selama 10 hari
- Reaktor 20 : Air Limbah Cair Industri Tahu 22,5 Liter + tanaman Eceng Gondok kerapatan 130 mg/cm<sup>2</sup> untuk waktu detensi selama 10 hari

Analisis sampel dilakukan setiap 2 hari sekali selama 10 hari. Parameter yang dianalisis adalah BOD dan COD. Perhitungan kerapatan dilampiran.

### 3.5.1 Analisis BOD

Prosedur analisis konsentrasi BOD dilakukan dengan metode APHA.Ed.20.5210 B, 1998. Adapun prosesnya sebagai berikut :

#### ❖ DO<sub>0</sub>

1. Isi botol winkler dengan sampel air hingga penuh
2. Tambahkan 2 ml larutan mangan sulfat (  $MnSO_4$  )
3. Tambahkan 2 ml larutan alkali-iodide-azida
4. Botol ditutup, dikocok dengan membolak-balik beberapa kali
5. Biarkan 10 menit, kemudian buang 100 ml larutan jernih
6. Tambahkan 2 ml asam sulfat pekat (  $H_2SO_4$  ). Kocok dan lalu pindahkan ke Erlenmeyer
7. Titrasi dengan tio sulfat hingga terjadi warna kuning muda
8. Tambahkan 2 ml indikator amylum, sampai timbul warna biru
9. Titrasi dengan tio sulfat sampai warna biru hilang pertama kali

#### ❖ DO<sub>5</sub>

1. Isi botol winkler dengan sampel air hingga penuh
2. Tambahkan 2 ml larutan mangan sulfat (  $MnSO_4$  )
3. Tambahkan 2 ml larutan alkali-iodide-azida
4. Botol ditutup, dikocok dengan membolak-balik beberapa kali, biarkan 10 menit
5. Botol di inkubasi pada suhu 25°C selama 5 hari
6. Kemudian buang 100 ml larutan jernih
7. Tambahkan 2 ml asam sulfat pekat (  $H_2SO_4$  ). Kocok dan lalu pindahkan ke Erlenmeyer
8. Titrasi dengan tio sulfat hingga terjadi warna kuning muda
9. Tambahkan 2 ml indikator amylum, sampai timbul warna biru
10. Titrasi dengan tio sulfat sampai warna biru hilang pertama kali

### 3.5.2 Analisis COD

Prosedur analisa konsentrasi COD dilakukan dengan metode Close Refluks Tetrimetric. Adapun prosesnya sebagai berikut :

❖ Cara Kerja

1. Cuci tabung COD dan rendam dalam 20% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> untuk penggunaan pertama kali.
2. Masukkan 2,5 ml sampel; 1,5 ml larutan dikromat; dan 3,5 ml pereaksi asam sulfat ke dalam tabung COD. Tutup tabung rapat-rapat dan kocok agar tercampur sempurna.
3. Masukkan pada pemanas COD mikro lalu panaskan pada suhu 150°C selama 2 jam.
4. Dinginkan pada temperatur kamar.
5. Buat blanko dengan air destilasi sebagai pengganti sample lalu langkah-langkah pengerjaan diatas diulangi kembali. Lalu catat ml FAS yang dipakai untuk mentitrasi blanko tersebut.

❖ PERHITUNGAN

$$\text{COD (mg O}_2\text{/l)} = (A-B) \times M \times 8000 / \text{ml sampel}$$

Dengan :

A = ml FAS yang dipakai untuk titrasi blanko

B = ml FAS yang dipakai untuk titrasi sampel

M = molaritas FAS



### 3.6 Analisis Data dan Pembahasan

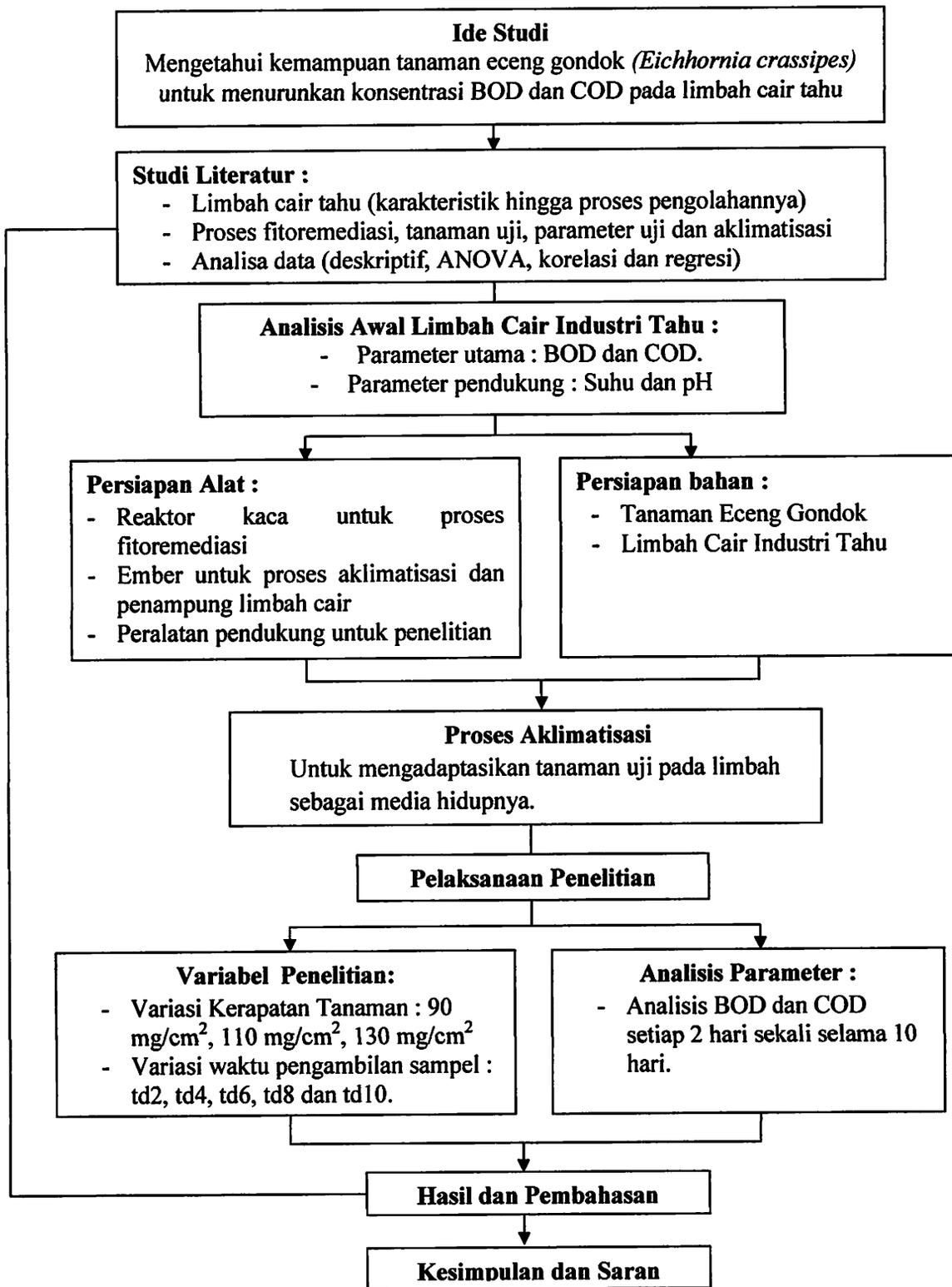
Dari hasil percobaan yang didapat dilakukan analisis data dengan metode :

1. Analisis Deskriptif, digunakan untuk mendapatkan gambaran berdasarkan fakta yang diperoleh dari sampel penelitian yang ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik.
2. Analisis Korelasi bertujuan untuk mengetahui hubungan antara variabel kerapatan tumbuhan, waktu detensi terhadap variabel penurunan konsentrasi BOD dan COD.
3. Analisis Regresi bertujuan untuk mengetahui apakah variabel kerapatan tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan waktu detensi dapat memprediksi penurunan BOD dan COD.
4. Analisis ANOVA bertujuan untuk mengetahui tingkat keterkaitan antara variabel kerapatan tumbuhan, waktu detensi terhadap variabel penurunan konsentrasi BOD dan COD.

### 3.7 Kerangka Penelitian

Kerangka acuan penelitian dibuat untuk dijadikan pedoman dalam melakukan penelitian. Dari Latar belakang yang mendasari pemikiran untuk melakukan penelitian tentang pemakaian tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) sebagai media fitoremediasi dalam menurunkan kandungan BOD dan COD pada limbah cair industri tahu, maka dibuat kerangka penelitian yang dapat dilihat pada gambar 3.3





Gambar 3.3. Kerangka Penelitian

**BAB IV**  
**ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

**4.1 Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu**

Limbah yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah cair berasal dari proses produksi sebuah industri tahu yang terdapat di Desa Tunggulwulung, Malang. Kondisi segar limbah cair industri tahu ketika pertama keluar dari outlet limbah industri tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1

**Tabel 4.1 Konsentrasi Awal Limbah Cair Industri Tahu Desa Tunggulwulung Pada Outlet Limbah**

No	Parameter	Satuan	Konsentrasi Awal Limbah Cair Industri Tahu
1.	pH	-	4
2.	BOD	mg/l	3.383,6
3.	COD	mg/l	5.376

Selanjutnya akan dikaji mengenai konsentrasi awal limbah cair dengan komposisi 50% air limbah tahu dan 50% aquadest yang dilakukan dalam kondisi setelah limbah cair tahu dimasukkan kedalam reaktor yaitu pada hari pertama setelah kondisi limbah sudah disesuaikan dengan media tumbuh tanaman uji. Adapun hasil analisis karakteristik limbah cair tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

**Tabel 4.2 Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu Desa Tunggulwulung**

No	Parameter	Satuan	Konsentrasi Awal Limbah Cair Industri Tahu
1.	pH	-	4
2.	BOD	mg/l	1.691,7
3.	COD	mg/l	2.666

Hasil analisis diatas menunjukkan bahwa kualitas limbah tersebut tidak memenuhi standar kualitas limbah terutama konsentrasi BOD dan COD yang nilainya tinggi dan menjadi parameter terpenting pada limbah cair industri tahu. Konsentrasi BOD pada limbah setelah keluar dari outlet industri tahu sebesar 3383,6 mg/l dan pada reaktor kontrol mencapai nilai 1.691,7 mg/l telah melebihi standar baku mutu limbah cair industri tahu berdasarkan Keputusan Gubernur Jawa Timur Nomor. 45 Tahun 2002 sebesar 150 mg/l.

Sementara untuk hasil konsentrasi COD pada limbah setelah keluar dari outlet industri tahu sebesar 5376 mg/l dan pada reaktor kontrol mencapai nilai 2.666 mg/l juga melebihi standar baku mutu limbah cair industri tahu berdasarkan Keputusan Keputusan Gubernur Jawa Timur Nomor. 45 Tahun 2002 sebesar 300 mg/l.

Konsentrasi BOD limbah segar pada outlet industri turun menjadi 1691,9 mg/l pada reaktor kontrol, begitu juga dengan konsentrasi COD turun menjadi 2710 mg/l. Hal ini disebabkan pada reaktor kontrol ditambahkan aquadest untuk pengenceran sebesar 50% dari volume limbah dalam reaktor yaitu 11,25 L dari total keseluruhan limbah yaitu 22,5 L . Pengenceran pada reaktor kontrol ini dimaksudkan agar sama seperti pada kondisi reaktor uji, dimana bertujuan agar limbah tidak terlalu pekat sehingga tanaman uji yang digunakan dapat bertahan hidup hingga waktu detensi yang telah ditentukan. Selain dari adanya pengenceran, penurunan juga dapat terjadi pada saat proses pengambilan limbah dari industri menuju lokasi penelitian dan juga penambahan limbah kedalam reaktor secara bertahap selama 2 jam per sekali penambahan kedalam reaktor yang dilakukan hingga 3 kali.

## 4.2 Karakteristik Limbah Cair Tahu Setelah Proses Pengolahan

Proses penelitian diawali dengan mempersiapkan tanaman uji yang digunakan yaitu tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) yang dipilih dalam keadaan segar. Tanaman uji dibuat seragam, yaitu mempunyai jumlah daun sebanyak 7-9 buah dan panjang akar 7-10 cm. Hal ini dimaksudkan agar kemampuan tanaman sama dalam menyerap konsentrasi BOD dan COD yang ada dalam limbah. Penelitian dilakukan dengan aliran *batch* dimana pada aliran ini tidak ada aliran yang masuk atau keluar dari reaktor. Reaktor yang digunakan sebanyak 20 reaktor, yang terdiri dari 5 reaktor kontrol dan 15 reaktor uji.

Penelitian ini menggunakan 2 variabel, yaitu variabel kerapatan tanaman dan waktu detensi. Variabel kerapatan tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) menggunakan variasi kerapatan yaitu : 90 mg/cm<sup>2</sup>, 110 mg/cm<sup>2</sup> dan 130 mg/cm<sup>2</sup> serta variabel waktu detensi dengan variasi waktu detensi 2 hari, 4 hari, 6 hari, 8 hari dan 10 hari.

### 4.2.1 Karakteristik Limbah Cair Tahu Pada Reaktor Kontrol

Reaktor kontrol merupakan reaktor yang digunakan untuk mengontrol kondisi dimana terjadi penguraian secara alami oleh aktivitas mikroorganisme tanpa adanya tanaman uji didalamnya. Hasil penelitian penurunan BOD dan COD pada reaktor kontrol dapat dilihat pada Tabel 4.3

**Tabel 4.3 Nilai Konsentrasi Akhir Pada Reaktor Kontrol Fitoremediasi**

Reaktor	Waktu detensi (Hari ke-)	Konsentrasi Akhir BOD (mg/l)	Konsentrasi Akhir COD (mg/l)
Kontrol	2	952,0	1354,66
	4	575,3	869,33
	6	328,7	405,33
	8	191,7	314,67
	10	-	-

Pada Tabel 4.3 diatas menunjukkan bahwa konsentrasi akhir BOD dan COD mengalami penurunan dari hari ke-2 hingga hari ke-8. Konsentrasi awal

BOD yang bernilai 1.691,7 mg/l secara perlahan dapat menurun menjadi 952 mg/l pada hari ke-2. Kemudian menurun lagi menjadi 575,3 mg/l pada hari ke-4 dan 328,7 mg/l pada hari ke-6 hingga didapatkan hasil akhir 191,7 mg/l pada hari ke-8. Begitu juga dengan konsentrasi awal COD sebesar 2.666 mg/l secara perlahan juga dapat menurun menjadi 1354,66 mg/l pada hari ke-2. Kemudian menurun lagi menjadi 869,33 mg/l pada hari ke-4 dan 405,33 mg/l pada hari ke-6 hingga menjadi 314,67 mg/l pada hari ke-8.

Kondisi dari hari pertama menuju hari ke-2 menurun sebesar 739,67 mg/l, kemudian menurun lagi pada hari ke-4 sebesar 376,7 mg/l dan menurun lagi sebesar 246,6 mg/l pada hari ke-6 hingga pada hari ke-8 turun sebesar 137 mg/l. Hal serupa juga terjadi pada konsentrasi COD dimana dari hari pertama menuju hari ke-2 menurun sebesar 1311,34 mg/l, kemudian menurun lagi pada hari ke-4 sebesar 485,33 mg/l dan menurun lagi sebesar 464 mg/l pada hari ke-6 hingga pada hari ke-8 turun sebesar 90,66 mg/l.

Konsentrasi akhir BOD dan COD masih melebihi standar baku mutu limbah cair industri tahu berdasarkan Keputusan Gubernur Jawa Timur Nomor. 45 Tahun 2002 sebesar 150 mg/l untuk BOD dan 300 mg/l untuk COD, didapati hasil akhir pada reaktor kontrol hari ke-8 sebesar 191,7 mg/l pada BOD dan 314,67 mg/l pada COD.

#### **4.2.2 Karakteristik Limbah Cair Tahu Pada Reaktor Uji Dengan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)**

Reaktor uji merupakan reaktor yang digunakan dalam penelitian dimana pada penelitian ini berisi limbah yang terdapat tanaman uji untuk menurunkan konsentrasi yang ada dalam limbah. Hasil penelitian penurunan BOD dan COD pada reaktor uji yang menggunakan tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut.

**Tabel 4.4 Nilai Konsentrasi Akhir BOD dan COD Pada Reaktor Uji**

Variasi kerapatan (mg/cm <sup>2</sup> )	Waktu detensi (Hari ke-)	Konsentrasi Akhir BOD (mg/l)	Konsentrasi Akhir COD (mg/l)
90	2	883.5	1306.7
	4	547.9	789.3
	6	232.8	336.0
	8	342.4	405.3
	10	-	-
110	2	869.8	1290.7
	4	534.2	762.7
	6	171.2	320
	8	479.4	512
	10	-	-
130	2	849.3	1264
	4	513.7	725.3
	6	143.8	298.7
	8	500.0	570.6
	10	-	-

(Sumber : Hasil Perhitungan. 2013)

Pada Tabel 4.4 menunjukkan bahwa nilai konsentrasi akhir BOD dan COD pada reaktor uji mengalami penurunan dari hari ke-2 hingga hari ke-6. Pada hari ke-8 konsentrasi BOD dan COD mengalami kenaikan karena tanaman sudah layu dan banyak akar dan daun yang terlepas dari tanaman tersebut. Untuk hari ke-10 tidak dilakukan uji karena tanaman uji yang digunakan semuanya mati.

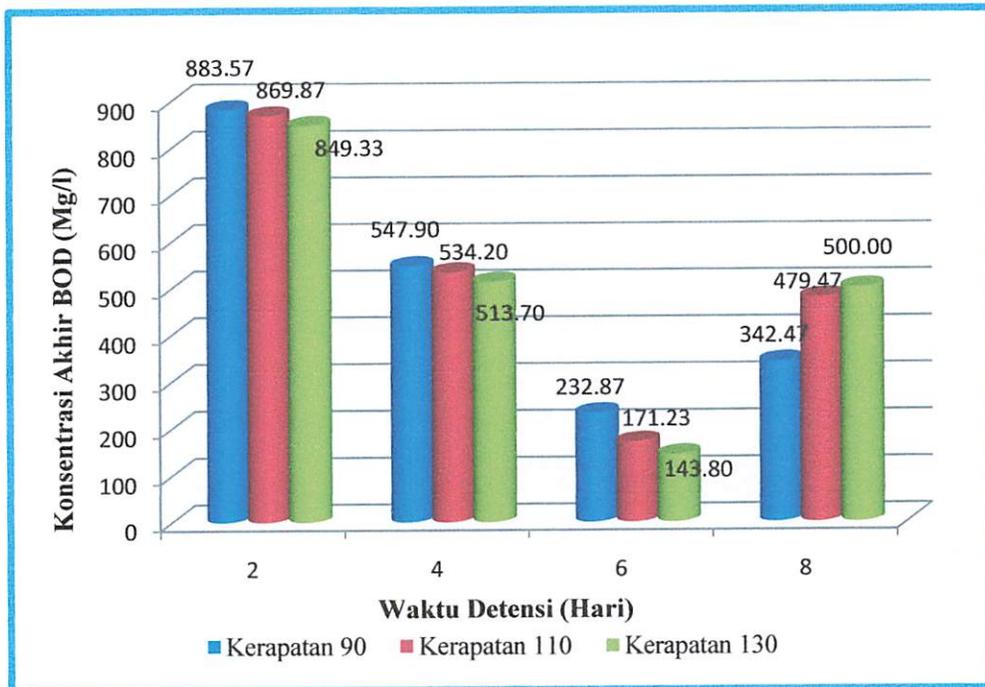
### 4.3 Analisis Penurunan BOD

Penurunan BOD dianalisis menggunakan analisis deskripsi, analisis ANOVA, analisis korelasi dan analisis regresi pada sub bab berikut ini.

#### 4.3.1 Analisis Deskriptif

Pada Tabel 4.4 menunjukkan bahwa nilai konsentrasi akhir BOD pada reaktor uji mengalami penurunan dari hari ke-2 hingga hari ke-6. Pada hari ke-8

konsentrasi BOD mengalami kenaikan dan pada hari ke-10 analisa tidak dilakukan karena tanaman uji yang digunakan mati. Nilai akhir BOD pada Tabel 4.4 tersebut diplotkan pada Gambar 4.1 berikut ini.



**Gambar 4.1 Hubungan Konsentrasi Akhir BOD (mg/l) Terhadap Waktu Pengambilan Sampel**

Berdasarkan Tabel 4.4 dan Gambar 4.1 menunjukkan bahwa konsentrasi akhir BOD pada reaktor tanaman dengan masing-masing variasi kerapatan mengalami penurunan dari hari analisis ke-2 hingga ke-6. Pada hari ke-8 konsentrasi akhir BOD mengalami kenaikan pada reaktor di setiap kerapatan yaitu kerapatan 90 mg/cm<sup>2</sup>, kerapatan 110 mg/cm<sup>2</sup> dan kerapatan 130 mg/cm<sup>2</sup>.

Pada kerapatan 90 waktu detensi ke-2, nilai konsentrasi BOD sebesar 883,57 mg/l turun menjadi 547,9 mg/l pada waktu detensi ke-4, kemudian turun lagi pada waktu detensi ke-6 menjadi 232,87 mg/l dan naik pada waktu detensi ke-8 menjadi 342,47 mg/l. Konsentrasi pada hari ke-2 menuju hari ke-4 turun sebesar 335,67 mg/l, kemudian konsentrasi pada hari ke-4 menuju hari ke-6 turun

sebesar 315,03 mg/l dan konsentrasi pada hari ke-6 menuju hari ke-8 naik sebesar 79,6 mg/l.

Pada kerapatan 110 waktu detensi ke-2, nilai konsentrasi BOD sebesar 869,87 mg/l turun menjadi 534,2 mg/l pada waktu detensi ke-4, kemudian turun lagi pada waktu detensi ke-6 menjadi 171,23 mg/l dan naik pada waktu detensi ke-8 menjadi 479,47 mg/l. Konsentrasi pada hari ke-2 menuju hari ke-4 turun sebesar 335,67 mg/l, kemudian konsentrasi pada hari ke-4 menuju hari ke-6 turun sebesar 362,97 mg/l dan konsentrasi pada hari ke-6 menuju hari ke-8 naik sebesar 308,24 mg/l.

Pada kerapatan 130 waktu detensi ke-2, nilai konsentrasi BOD sebesar 849,33 mg/l turun menjadi 513,7 mg/l pada waktu detensi ke-4, kemudian turun lagi pada waktu detensi ke-6 menjadi 143,8 mg/l dan naik pada waktu detensi ke-8 menjadi 500 mg/l. Konsentrasi pada hari ke-2 menuju hari ke-4 turun sebesar 335,63 mg/l, kemudian konsentrasi pada hari ke-4 menuju hari ke-6 turun sebesar 369,9 mg/l dan konsentrasi pada hari ke-6 menuju hari ke-8 naik sebesar 356,2 mg/l.

Berdasarkan data BOD akhir pada Tabel 4.4, maka dapat dicari persentase penyisihan BOD pada tiap-tiap reaktor dengan menggunakan rumus:

$$\% \text{ Removal} = \frac{(\text{konsentrasi awal} - \text{konsentrasi akhir})}{\text{konsentrasi awal}} \times 100\%$$

Hasil dari perhitungan rumus diatas, maka nilai persentase penyisihan BOD dapat dilihat pada Tabel 4.5 di bawah ini.

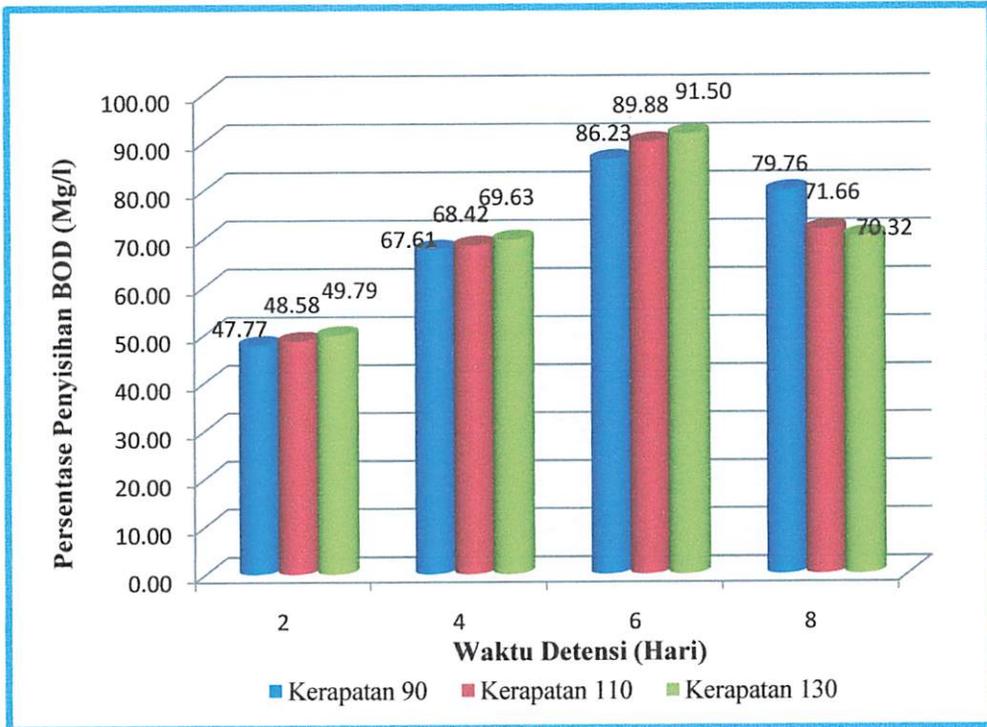


**Tabel 4.5 Persentase Penyisihan BOD (%)**

Variasi kerapatan (mg/cm <sup>2</sup> )	Waktu pengambilan sampel (Hari ke-)	BOD	
		Nilai Akhir (mg/l)	% R
90	2	883.5	47.77
	4	547.9	67.61
	6	232.8	86.23
	8	342.4	79.76
	10	-	
110	2	869.8	48.58
	4	534.2	68.42
	6	171.2	89.88
	8	479.4	71.66
	10	-	
130	2	849.3	49.79
	4	513.7	69.63
	6	143.8	91.50
	8	500.0	70.32
	10	-	-

(Sumber : Hasil Perhitungan. 2013)

Berdasarkan data persentase penyisihan konsentrasi BOD pada Tabel 4.5, maka dapat diplotkan menjadi sebuah grafik persentase penyisihan BOD pada Gambar 4.2 berikut ini.



**Gambar 4.2 Hubungan Persentase Penyisihan BOD (%) Terhadap Waktu Pengambilan Sampel**

Pada kerapatan 90 waktu detensi ke-2, persentase penyisihan BOD sebesar 47,77 % naik menjadi 67,61% pada waktu detensi ke-4, kemudian naik lagi pada waktu detensi ke-6 menjadi 86,23% dan turun pada waktu detensi ke-8 menjadi 79,76% . Persentase penyisihan BOD pada hari ke-2 menuju hari ke-4 naik sebesar 19,84% , kemudian konsentrasi pada hari ke-4 menuju hari ke-6 naik sebesar 18,62% dan konsentrasi pada hari ke-6 menuju hari ke-8 turun sebesar 6,47%.

Pada kerapatan 110 waktu detensi ke-2, persentase penyisihan BOD sebesar 48,58 % naik menjadi 68,42% pada waktu detensi ke-4, kemudian naik lagi pada waktu detensi ke-6 menjadi 89,88% dan turun pada waktu detensi ke-8 menjadi 71,66% . Persentase penyisihan BOD pada hari ke-2 menuju hari ke-4 naik sebesar 19,84% , kemudian konsentrasi pada hari ke-4 menuju hari ke-6 naik

sebesar 21,46% dan konsentrasi pada hari ke-6 menuju hari ke-8 turun sebesar 18,22%.

Pada kerapatan 130 waktu detensi ke-2, persentase penyisihan BOD sebesar 49,79 % naik menjadi 69,63% pada waktu detensi ke-4, kemudian naik lagi pada waktu detensi ke-6 menjadi 91,5% dan turun pada waktu detensi ke-8 menjadi 70,32% . Persentase penyisihan BOD pada hari ke-2 menuju hari ke-4 naik sebesar 19,84% , kemudian konsentrasi pada hari ke-4 menuju hari ke-6 naik sebesar 21,87% dan konsentrasi pada hari ke-6 menuju hari ke-8 turun sebesar 21,28%.

#### **4.3.1.1 Reaktor dengan Tanaman Eceng Gondok**

Berdasarkan Tabel 4.4 dan Gambar 4.1 konsentrasi akhir BOD terendah terjadi pada reaktor dengan kerapatan 130 mg/cm<sup>2</sup> dengan waktu detensi ke-6 sebesar 143,8 mg/l . Berdasarkan Tabel 4.5 dan Gambar 4.2 persentase penyisihan konsentrasi BOD terbesar juga terjadi pada waktu detensi ke-6 dengan kerapatan tanaman 130 mg/cm<sup>2</sup> sebesar 91,50 %.

#### **4.3.2 Analisis Korelasi**

Analisis korelasi dilakukan untuk mengukur tingkat keeratan hubungan linear antara variabel yang diamati. Nilai korelasi berkisar antara -1 sampai +1. Nilai korelasi negatif mempunyai artian bahwa hubungan antara dua variabel adalah tidak searah, dimana jika salah satu variabel menurun maka variabel lainnya meningkat. Nilai korelasi bernilai positif berarti hubungan antara kedua variabel adalah searah, dimana jika salah satu variabel meningkat maka variabel lainnya meningkat pula.

Suatu hubungan antara dua variabel dikatakan berkorelasi kuat apabila makin mendekati 1 atau (-1) dan jika sebuah hubungan antara dua variabel dikatakan lemah apabila semakin mendekati 0 (nol). Nilai dari derajat keeratan (r) tersebut dapat dibaca dengan melihat klasifikasi hubungan statistika dua peubah.

Analisis korelasi ini juga terdapat hipotesa ada tidaknya korelasi antar variabel, dimana :

- $H_0$  = Tidak ada korelasi antara variabel ( $\rho = 0$ )
- $H_1$  = Ada korelasi antara variabel ( $\rho \neq 0$ )

Sementara dasar pengambilan keputusan dapat dilihat dari daerah penolakan berdasarkan nilai probabilitas, yaitu :

- Jika probabilitas  $\geq 0,05$  , maka  $H_0$  diterima
- Jika probabilitas  $< 0,05$  , maka  $H_0$  ditolak

#### 4.3.2.1 Analisis Korelasi Untuk Penyisihan Konsentrasi BOD pada Tanaman Uji Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)

Hasil analisis korelasi untuk penyisihan konsentrasi BOD pada tanaman uji Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7 berikut ini.

**Tabel 4.6 Hasil Analisis Korelasi Persentase penyisihan BOD (%) Dengan Kerapatan Tanaman ( $\text{mg}/\text{cm}^2$ ) Pada Tanaman Uji Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)**

**Correlations: %Penyisihan BOD, Kerapatan**

Pearson correlation of %Penyisihan BOD and Kerapatan = 0.076  
P-Value = 0.845

Tabel 4.6 diketahui bahwa nilai korelasi antara variabel kerapatan tanaman pada reaktor uji terhadap persentase penyisihan BOD sebesar 0,076. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara variabel kerapatan tanaman terhadap persentase penyisihan BOD lemah, karena nilai koefisien korelasi mendekati 0. Hubungan antara kedua variabel searah karena adanya nilai positif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti jika makin padat kerapatan tanaman, maka persentase penyisihan BOD semakin meningkat.

Untuk nilai probabilitas antara variabel kerapatan tanaman pada reaktor uji terhadap persentase penyisihan BOD sebesar 0,845. Karena nilai probabilitas ( $P$ )  $> 0,05$ , maka keputusan yang diambil adalah menerima hipotesis awal ( $H_0$ ) dan menolak hipotesis alternatif ( $H_1$ ). Berdasarkan kondisi tersebut menunjukkan bahwa tidak ada korelasi yang signifikan antara variabel kerapatan tanaman dengan persentase penyisihan BOD.

**Tabel 4.7 Hasil Analisis Korelasi Persentase penyisihan BOD (%) Dengan Waktu Detensi (hari) Pada Tanaman Uji Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)**

<b>Correlations: %Penyisihan BOD, Waktu Detensi</b>
Pearson correlation of %Penyisihan BOD and Waktu Detensi = 0.996 P-Value = 0.000

Nilai korelasi yang didapatkan pada Tabel 4.7 antara waktu detensi pada reaktor uji terhadap persentase penyisihan BOD sebesar 0,996. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara waktu detensi terhadap persentase penyisihan BOD kuat karena nilai koefisien korelasi mendekati 1. Hubungan antara kedua variabel searah karena adanya nilai positif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti jika semakin lama waktu detensi, maka persentase penyisihan BOD semakin meningkat.

Untuk nilai probabilitas antara waktu detensi pada reaktor uji terhadap persentase penyisihan BOD sebesar 0,000. Karena nilai probabilitas ( $P$ )  $< 0,05$ , maka keputusan yang diambil adalah menolak hipotesis awal ( $H_0$ ) dan menerima hipotesis alternatif ( $H_1$ ). Berdasarkan kondisi tersebut menunjukkan bahwa terdapat korelasi antara waktu detensi dengan persentase penyisihan BOD.

### 4.3.3 Analisis Variasi (ANOVA) One Ways

Analisis ANOVA ini dilakukan untuk menguji rata-rata atau pengaruh perlakuan dari suatu percobaan yang menggunakan 1 faktor, dimana 1 faktor tersebut memiliki 3 atau lebih level. Disebut 1 arah karena peneliti dalam penelitiannya hanya berkepentingan dengan 1 faktor saja.

Dalam analisis ANOVA terdapat hipotesis masalah, yaitu :

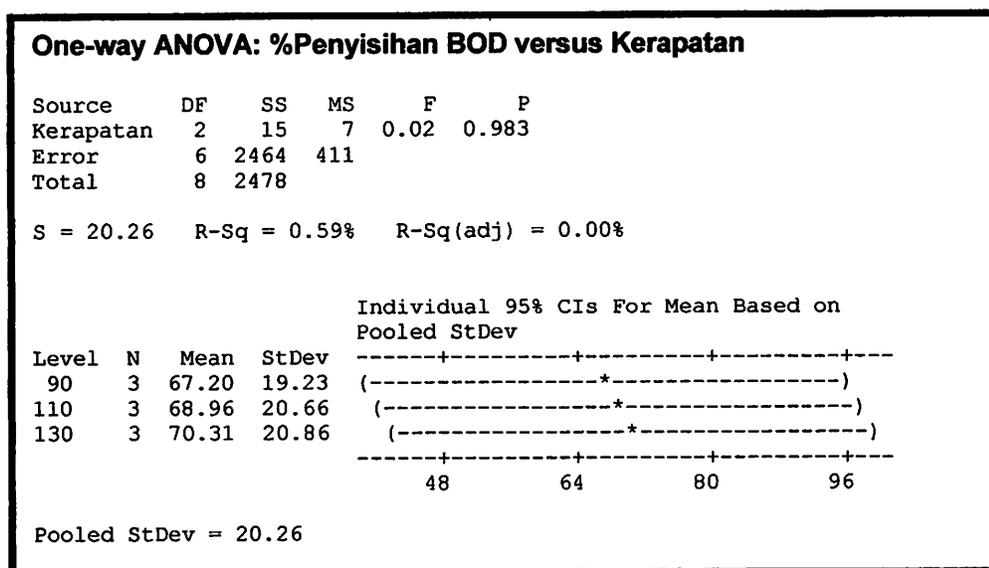
- $H_0 = 1 = 2 = 3 = 4 = 5 = 6$  (identik)
- $H_1 = 1 \neq 2 \neq 3 \neq 4 \neq 5 \neq 6$  (tidak identik)

Sementara dalam pengambilan keputusan akan didasarkan pada nilai probabilitas dan nilai F hitung, yaitu :

- a. Nilai probabilitas,
  - Jika probabilitas  $\geq 0,05$  ,  $H_0$  diterima
  - Jika probabilitas  $< 0,05$  ,  $H_0$  ditolak
- b. Nilai F hitung,
  - F hitung output  $> F$  tabel,  $H_0$  ditolak
  - F hitung output  $< F$  tabel,  $H_0$  diterima

Hasil analisis untuk persentase penyisihan BOD terhadap kerapatan tanaman dan waktu detensi dilihat pada Tabel 4.8 dan Tabel 4.9 berikut ini.

**Tabel 4.8 Hasil Analisis ANOVA antara Kerapatan Tanaman Terhadap Persentase Penyisihan BOD (%)**



Hasil Tabel 4.8 diatas memuat keterangan sebagai berikut :

- DF = Derajat Bebas
- SS = Variasi Residual
- MS = Mean Square
- F = Nilai statistik uji (membandingkan dengan nilai tabel F pada lampiran)
- P = Nilai Probabilitas (dengan  $\alpha = 0,05$ )

Untuk taraf signifikansi ( $\alpha$ ) sebesar 5%, maka dari tabel distribusi F kerapatan tanaman didapat  $F_{(0,05,2,9)} = 4,26$ . Nilai F hitung output kerapatan tanaman adalah sebesar 0,02. Nilai probabilitas kerapatan tanaman adalah 0,983.

Keputusan yang dapat diambil untuk variasi kerapatan tanaman adalah menerima hipotesis awal ( $H_0$ ) dan menolak hipotesis alternatif ( $H_1$ ) karena nilai F hitung  $< F$  tabel dan nilai  $P \geq 0,05$ . Artinya bahwa persentase penyisihan BOD dalam perlakuan tersebut memang identik atau tidak terdapat perbedaan yang signifikan.

**Tabel 4.9 Hasil Uji ANOVA antara Waktu Detensi Terhadap Persentase Penyisihan BOD (%)**

One-way ANOVA: %Penyisihan BOD versus Waktu Detensi					
Source	DF	SS	MS	F	P
Waktu Detensi	2	2459.49	1229.74	394.42	0.000
Error	6	18.71	3.12		
Total	8	2478.20			

S = 1.766    R-Sq = 99.25%    R-Sq(adj) = 98.99%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev			
Level	N	Mean	StDev
2	3	48.713	1.017
4	3	68.553	1.017
6	3	89.203	2.699

48                  60                  72                  84

Pooled StDev = 1.766

Untuk taraf signifikansi ( $\alpha$ ) sebesar 5%, maka dari tabel distribusi F waktu detensi didapat  $F_{(0,05,3,8)} = 4,07$ . Nilai F hitung output waktu detensi adalah sebesar 394.42. Nilai probabilitas waktu detensi adalah 0,000.

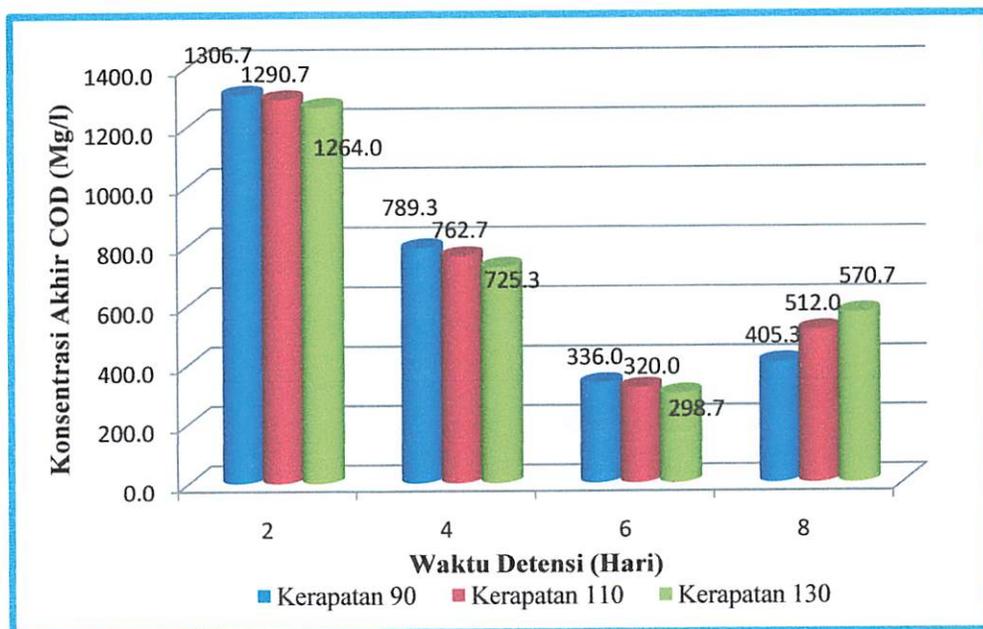
Keputusan yang dapat diambil untuk variasi waktu detensi adalah menolak hipotesis awal ( $H_0$ ) dan menerima hipotesis alternatif ( $H_1$ ) karena nilai F hitung  $>$  F tabel dan nilai  $P < 0,05$ . Artinya bahwa persentase penyisihan BOD dalam perlakuan tersebut tidak identik atau terdapat perbedaan yang signifikan.

#### 4.4 Analisis Penurunan COD

Penurunan COD dianalisis menggunakan analisis deskripsi, analisis ANOVA, analisis korelasi dan analisis regresi pada sub bab berikut ini.

##### 4.4.1 Analisis Deskriptif

Pada Tabel 4.4 menunjukkan bahwa nilai konsentrasi akhir COD pada reaktor uji mengalami penurunan dari hari ke-2 hingga hari ke-6. Pada hari ke-8 konsentrasi COD mengalami kenaikan dan pada hari ke-10 analisa tidak dilakukan karena tanaman uji yang digunakan mati. Nilai akhir COD pada Tabel 4.4 tersebut diplotkan pada Gambar 4.3 berikut ini.



Gambar 4.3 Hubungan Konsentrasi Akhir COD (mg/l) Terhadap Waktu Pengambilan Sampel

Berdasarkan Tabel 4.4 dan Gambar 4.3 menunjukkan bahwa konsentrasi akhir COD pada reaktor tanaman dengan masing-masing variasi kerapatan mengalami penurunan dari hari analisis ke-2 hingga ke-6. Pada hari ke-8 konsentrasi akhir COD mengalami kenaikan pada reaktor disetiap kerapatan yaitu kerapatan 90 mg/cm<sup>2</sup>, kerapatan 110 mg/cm<sup>2</sup> dan kerapatan 130 mg/cm<sup>2</sup>.

Pada kerapatan 90 waktu detensi ke-2, nilai konsentrasi COD sebesar 1306,7 mg/l turun menjadi 789,3 mg/l pada waktu detensi ke-4, kemudian turun lagi pada waktu detensi ke-6 menjadi 336 mg/l dan naik pada waktu detensi ke-8 menjadi 405,3 mg/l. Konsentrasi pada hari ke-2 menuju hari ke-4 turun sebesar 517,4 mg/l, kemudian konsentrasi pada hari ke-4 menuju hari ke-6 turun sebesar 453,3 mg/l dan konsentrasi pada hari ke-6 menuju hari ke-8 naik sebesar 69,3 mg/l.

Pada kerapatan 110 waktu detensi ke-2, nilai konsentrasi COD sebesar 1290,7 mg/l turun menjadi 762,7 mg/l pada waktu detensi ke-4, kemudian turun lagi pada waktu detensi ke-6 menjadi 320 mg/l dan naik pada waktu detensi ke-8 menjadi 512 mg/l. Konsentrasi pada hari ke-2 menuju hari ke-4 turun sebesar 528 mg/l, kemudian konsentrasi pada hari ke-4 menuju hari ke-6 turun sebesar 442,7 mg/l dan konsentrasi pada hari ke-6 menuju hari ke-8 naik sebesar 192 mg/l.

Pada kerapatan 130 waktu detensi ke-2, nilai konsentrasi COD sebesar 1264 mg/l turun menjadi 725,3 mg/l pada waktu detensi ke-4, kemudian turun lagi pada waktu detensi ke-6 menjadi 298,7 mg/l dan naik pada waktu detensi ke-8 menjadi 570,6 mg/l. Konsentrasi pada hari ke-2 menuju hari ke-4 turun sebesar 538,7 mg/l, kemudian konsentrasi pada hari ke-4 menuju hari ke-6 turun sebesar 426,6 mg/l dan konsentrasi pada hari ke-6 menuju hari ke-8 naik sebesar 271,9 mg/l.

Berdasarkan data COD akhir pada Tabel 4.4, maka dapat dicari persentase penyisihan COD pada tiap-tiap reaktor dengan menggunakan rumus:

$$\% \text{ Removal} = \frac{(\text{konsentrasi awal} - \text{konsentrasi akhir})}{\text{konsentrasi awal}} \times 100\%$$

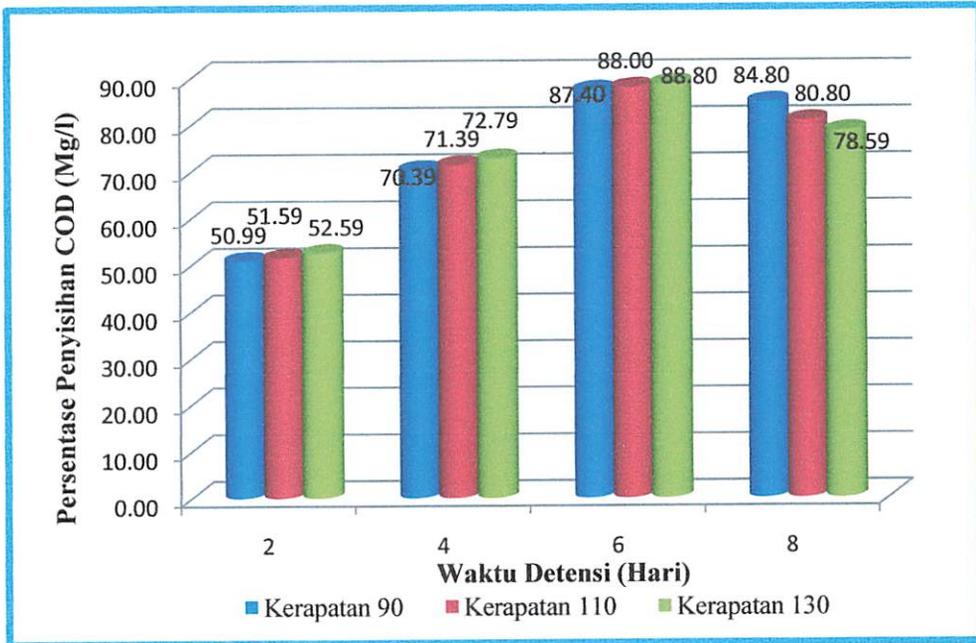
Hasil dari perhitungan rumus diatas, maka nilai persentase penyisihan COD dapat dilihat pada Tabel 4.10 di bawah ini.

**Tabel 4.10 Persentase Penyisihan COD (%)**

Variasi kerapatan (mg/cm <sup>2</sup> )	Waktu pengambilan sampel (Hari ke-)	COD	
		Nilai Akhir Rata-rata (mg/l)	% R
90	2	1306.7	50.99
	4	789.3	70.39
	6	336.0	87.40
	8	405.3	84.80
	10	-	
110	2	1290.7	51.59
	4	762.7	71.39
	6	320	88.00
	8	512	80.80
	10	-	
130	2	1264	52.59
	4	725.3	72.79
	6	298.7	88.80
	8	570.6	78.59
	10	-	-

(Sumber : Hasil Perhitungan. 2013)

Berdasarkan data persentase penyisihan konsentrasi COD pada Tabel 4.10, maka dapat diplotkan menjadi sebuah grafik persentase penyisihan COD pada Gambar 4.4 berikut ini.



**Gambar 4.4 Hubungan Persentase Penyisihan COD (%) Terhadap Waktu Pengambilan Sampel**

Pada kerapatan 90 waktu detensi ke-2, persentase penyisihan COD sebesar 50,99 % naik menjadi 70,39% pada waktu detensi ke-4, kemudian naik lagi pada waktu detensi ke-6 menjadi 87,4% dan turun pada waktu detensi ke-8 menjadi 84,8% . Persentase penyisihan COD pada hari ke-2 menuju hari ke-4 naik sebesar 19,4% , kemudian konsentrasi pada hari ke-4 menuju hari ke-6 naik sebesar 17,01% dan konsentrasi pada hari ke-6 menuju hari ke-8 turun sebesar 2,6%.

Pada kerapatan 110 waktu detensi ke-2, persentase penyisihan COD sebesar 51,59 % naik menjadi 71,39% pada waktu detensi ke-4, kemudian naik lagi pada waktu detensi ke-6 menjadi 88% dan turun pada waktu detensi ke-8 menjadi 80,80% . Persentase penyisihan COD pada hari ke-2 menuju hari ke-4 naik sebesar 19,8% , kemudian konsentrasi pada hari ke-4 menuju hari ke-6 naik sebesar 16,61% dan konsentrasi pada hari ke-6 menuju hari ke-8 turun sebesar 7,2%.

Pada kerapatan 130 waktu detensi ke-2, persentase penyisihan COD sebesar 52,59% naik menjadi 72,79% pada waktu detensi ke-4, kemudian naik

lagi pada waktu detensi ke-6 menjadi 88,8% dan turun pada waktu detensi ke-8 menjadi 78,59% . Persentase penyisihan COD pada hari ke-2 menuju hari ke-4 naik sebesar 20,2% , kemudian konsentrasi pada hari ke-4 menuju hari ke-6 naik sebesar 16,01% dan konsentrasi pada hari ke-6 menuju hari ke-8 turun sebesar 10,21%.

#### 4.4.1.1 Reaktor dengan Tanaman Eceng Gondok

Berdasarkan Tabel 4.4 dan Gambar 4.3 konsentrasi akhir COD terendah terjadi pada reaktor dengan kerapatan 130 mg/cm<sup>2</sup> dengan waktu detensi ke-6 sebesar 298,7 mg/l. Berdasarkan Tabel 4.10 dan Gambar 4.4 persentase penyisihan konsentrasi COD terbesar juga terjadi pada waktu detensi ke-6 dengan kerapatan tanaman 130 mg/cm<sup>2</sup> sebesar 88,80 %.

#### 4.4.2 Analisis Korelasi

Analisis korelasi antara persentase penyisihan COD pada masing-masing tanaman uji akan dijelaskan pada sub bab berikut ini.

##### 4.4.2.1 Analisis Korelasi Untuk Penyisihan Konsentrasi COD pada Tanaman Uji Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)

Hasil analisis korelasi untuk penyisihan konsentrasi COD pada tanaman uji Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dapat dilihat pada Tabel 4.11.

**Tabel 4.11 Hasil Analisis Korelasi Persentase penyisihan COD (%) Dengan Kerapatan Tanaman (mg/cm<sup>2</sup>) Pada Tanaman Uji Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)**

**Correlations: %Penyisihan COD, Kerapatan**

Pearson correlation of %Penyisihan COD and Kerapatan = 0.049  
P-Value = 0.900

Tabel 4.11 diketahui bahwa nilai korelasi antara variabel kerapatan tanaman pada reaktor uji terhadap persentase penyisihan COD sebesar 0,049. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara variabel kerapatan tanaman terhadap

persentase penyisihan COD lemah karena nilai koefisien korelasi mendekati 0. Hubungan antara kedua variabel searah karena adanya nilai positif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti jika makin padat kerapatan tanaman, maka persentase penyisihan COD semakin meningkat.

Untuk nilai probabilitas antara variabel kerapatan tanaman pada reaktor uji terhadap persentase penyisihan COD sebesar 0,900. Karena nilai probabilitas ( $P$ )  $> 0,05$ , maka keputusan yang diambil adalah menerima hipotesis awal ( $H_0$ ) dan menolak hipotesis alternatif ( $H_1$ ). Berdasarkan kondisi tersebut menunjukkan bahwa terdapat korelasi tetapi tidak signifikan antara variabel kerapatan tanaman dengan persentase penyisihan COD.

**Tabel 4.12 Hasil Analisis Korelasi Persentase penyisihan COD (%) Dengan Waktu Detensi (hari) Pada Tanaman Uji Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)**

**Correlations: %Penyisihan COD, Waktu Detensi**

Pearson correlation of %Penyisihan COD and Waktu Detensi = 0.997  
P-Value = 0.000

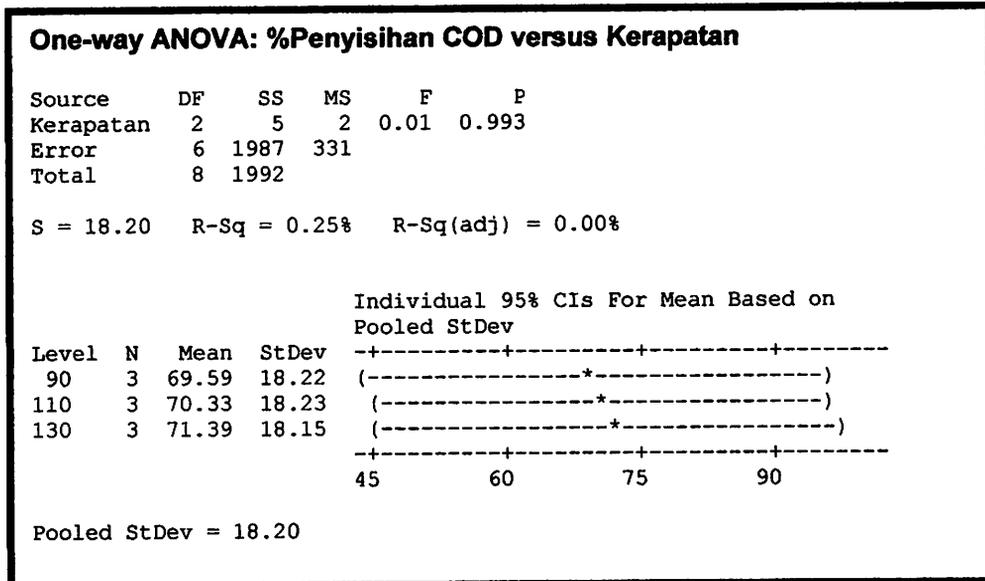
Nilai korelasi yang didapat pada Tabel 4.12 antara waktu detensi pada reaktor uji terhadap persentase penyisihan COD sebesar 0,997. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara waktu detensi terhadap persentase penyisihan COD kuat karena nilai koefisien korelasi mendekati 1. Hubungan antara kedua variabel searah karena adanya nilai positif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti jika semakin lama waktu detensi, maka persentase penyisihan COD semakin meningkat.

Untuk nilai probabilitas antara waktu detensi pada reaktor uji terhadap persentase penyisihan COD sebesar 0,000. Karena nilai probabilitas ( $P$ )  $< 0,05$ , maka keputusan yang diambil adalah menolak hipotesis awal ( $H_0$ ) dan menerima hipotesis alternatif ( $H_1$ ). Berdasarkan kondisi tersebut menunjukkan bahwa terdapat korelasi antara waktu detensi dengan persentase penyisihan COD.

#### 4.4.3 Analisis Varian (ANOVA) One Ways

Hasil analisis untuk prosentase penyisihan COD terhadap waktu pengambilan sampel dapat dilihat pada Tabel 4.13 berikut ini:

**Tabel 4.13 Hasil Analisis ANOVA antara Variasi Kerapatan Tanaman Terhadap Persentase Penyisihan COD (%)**



DF = Derajat Bebas

SS = Variasi Residual

MS = Mean Square

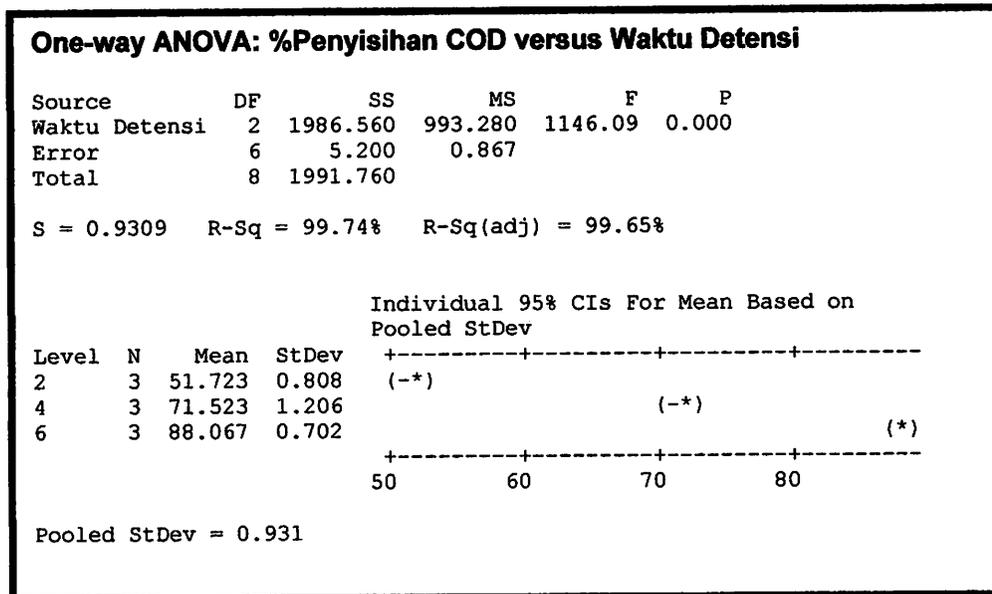
F = Nilai statistik uji (membandingkan dengan nilai tabel F pada lampiran)

P = Nilai Probabilitas (dengan  $\alpha = 0,05$ )

Untuk taraf signifikansi ( $\alpha$ ) sebesar 5%, maka dari tabel distribusi F kerapatan tanaman didapat  $F_{(0,05,2,9)} = 4,26$ . Nilai F hitung output kerapatan tanaman adalah sebesar 0,01. Nilai probabilitas kerapatan tanaman adalah 0,993.

Keputusan yang dapat diambil untuk variasi kerapatan tanaman adalah menerima hipotesis awal ( $H_0$ ) dan menolak hipotesis alternatif ( $H_1$ ) karena nilai F hitung < F tabel dan nilai  $P \geq 0,05$ . Artinya bahwa persentase penyisihan COD dalam perlakuan tersebut memang identik atau tidak terdapat perbedaan yang signifikan.

**Tabel 4.14 Hasil Analisis ANOVA antara Variasi Waktu Detensi Terhadap Persentase Penyisihan COD (%)**



Untuk taraf signifikansi ( $\alpha$ ) sebesar 5%, maka dari tabel distribusi F waktu detensi didapat  $F_{(0,05,3,8)} = 4,07$ . Nilai F hitung output waktu detensi adalah sebesar 146,09. Nilai probabilitas waktu detensi adalah 0,000.

Keputusan yang dapat diambil untuk variasi waktu detensi adalah menolak hipotesis awal ( $H_0$ ) dan menerima hipotesis alternatif ( $H_1$ ) karena nilai F hitung  $>$  F tabel dan nilai  $P < 0,05$ . Artinya bahwa persentase penyisihan COD dalam perlakuan tersebut tidak identik atau terdapat perbedaan yang signifikan.

## 4.5 Pembahasan

### 4.5.1 Pengaruh Waktu Detensi Terhadap Penyisihan BOD dan COD

Penelitian fitoremediasi dengan menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) ini dilakukan selama 10 hari. Selama waktu detensi 10 hari dilakukan analisis waktu detensi setiap 2 hari sekali dengan pertimbangan agar tanaman uji mempunyai waktu yang cukup dalam menyerap bahan pencemar. Penurunan konsentrasi BOD dan COD mengalami penurunan yang cukup signifikan pada waktu awal percobaan, nilai konsentrasi awal BOD sebesar 1691,7 mg/l pada hari ke-2 berkurang menjadi 917,8 mg/l, begitu juga dengan COD dengan konsentrasi awal sebesar 2666 mg/l berkurang menjadi 1354,6 mg/l pada hari ke-2. Hal ini dipengaruhi oleh kandungan nutrient yang dibutuhkan untuk pertumbuhan mikroorganisme cukup melimpah, sehingga akan terjadi fase pertumbuhan dipercepat (*Exponential growth phase*), dimana pada fase ini mikroba membelah dengan cepat dan konstan mengikuti kurva logaritmik. Pada fase ini pula kecepatan pertumbuhan sangat dipengaruhi oleh medium tempat tumbuhnya seperti pH dan kandungan nutrient, juga kondisi lingkungan termasuk suhu dan kelembaban udara.

Selanjutnya dilakukan peninjauan pada reaktor kontrol yang hanya memanfaatkan mikroorganisme dalam air limbah untuk menguraikan bahan-bahan organik tanpa adanya tanaman uji didalamnya. Pada reaktor kontrol ini tidak terjadi kompetisi penyerapan nutrien oleh tanaman uji dengan mikroorganisme, sehingga kondisi air limbah tidak mengalami kejenuhan. Prinsip degradasi polutan pada reaktor kontrol ini sama seperti prinsip kerja kolam oksidasi yaitu pemulihan air dengan kekuatan alami. Oksidasi berlangsung ketika sinar matahari dapat memasuki dasar kolam (Ginting, 2007).

Peninjauan selanjutnya dilakukan pada reaktor uji yang dilakukan dengan sistem *batch*, dimana pada sistem ini tidak dilakukan penambahan nutrient baru yang dapat mendukung kehidupan mikroorganisme, sehingga pada pertengahan waktu penelitian (hari ke-4) pertumbuhan mikroorganisme telah mencapai titik optimal terhadap ketersediaan nutrient. Kondisi ini menyebabkan terjadi keseimbangan antara pertumbuhan dan kematian mikroorganisme / bakteri atau

sering disebut sebagai *Stationary Phase*. Pada fase ini kecepatan pertumbuhan mulai menurun karena pengaruh dari kurangnya nutrient pada limbah, perubahan pH dan faktor lainnya. Selama fase ini, jumlah sel yang hidup tetap konstan untuk periode yang berbeda, bergantung pada bakteri, tetapi pada akhirnya menuju periode penurunan populasi.

Semakin lama waktu detensi maka nilai BOD dan COD yang terremoval juga semakin tinggi. Hal ini berdasarkan pada hasil analisis statistik pada reaktor uji dengan menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), hasil analisis korelasi menunjukkan bahwa pengaruh waktu detensi terhadap persen penyisihan BOD dan COD adalah kuat karena nilai koefisien mendekati 1 dan hubungan antara kedua variabel searah karena nilai positif yang didapati pada koefisien korelasi. Selain itu uji anova menunjukkan variasi waktu detensi terhadap persen penyisihan BOD dan COD adalah tidak identik atau terdapat perbedaan yang signifikan.

Pernyataan diatas tidak berlaku pada penelitian ini, karena pada waktu penelitian hari ke-8 terjadi kenaikan konsentrasi BOD dan COD pada reaktor uji disetiap kerapatannya. Kenaikan konsentrasi pada hari ke-8 ini disebabkan karena tanaman uji yang digunakan pada semua reaktor mati. Kematian tanaman uji ini disebabkan karena tanaman mengalami kejenuhan dan terjadi kompetisi dari tanaman uji dalam mendapatkan nutrien agar dapat tetap tumbuh. Akibat dari matinya tanaman uji ini, akhirnya menjadi bahan organik didalam air limbah, serta menambah pendangkalan karena adanya akar dan daun dari tanaman uji yang terlepas dari tanamannya.

Pada hari ke-10 tidak dilakukan analisa karena terjadi kematian tanaman pada semua reaktor. Kematian tanaman ini disebabkan oleh banyak faktor selain berkompetisi untuk mendapatkan nutrien, misalnya ; intensitas cahaya matahari yang kurang mencukupi. Pada lokasi penelitian memang intensitas cahaya matahari kurang sehingga sedikit menghambat proses fotosintesis pada tanaman. Selain itu, pH pada air limbah juga asam yaitu 4, sedangkan lingkungan hidup eceng gondok yang baik berada pada pH 7-7,5. Dibawah atau diatas dari itu, maka pertumbuhannya akan terganggu.

Pada penelitian ini didapatkan waktu yang paling efektif yaitu pada hari ke-6, dimana konsentrasi BOD dan COD mengalami penurunan dan telah memenuhi standart baku mutu yang telah ditetapkan. Hal serupa juga terjadi pada penelitian Supriyanto (2007) yang menggunakan tanaman eceng gondok untuk menurunkan konsentrasi BOD dan COD pada limbah cair industri pengolahan tahu, didapati waktu terbaik pada hari ke-6 dengan hasil persentase removal BOD sebesar 68,06% dan COD sebesar 72,76%. Kemudian hasil penelitian Pistol (2008) yang memanfaatkan tanaman *Azolla Pinnata* untuk menurunkan konsentrasi BOD dan COD pada limbah industri tahu, didapati waktu detensi terbaik pada hari ke-6 dengan persentase penyisihan sebesar 78,5% dan COD sebesar 80,4%.

Nilai BOD selalu lebih kecil daripada nilai COD, diukur pada senyawa organik yang dapat diuraikan maupun senyawa organik yang tidak dapat berurai. Pada uji COD biasanya menghasilkan nilai kebutuhan oksigen yang lebih tinggi daripada uji BOD karena bahan-bahan organik yang stabil terhadap reaksi biologi dan mikroorganisme dapat ikut teroksidasi dalam uji COD. Sebagai contoh, selulosa yang sering tidak terukur dalam uji BOD karena sukar dioksidasi melalui reaksi biokimia, tetapi dapat diukur melalui uji COD.

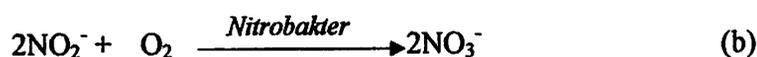
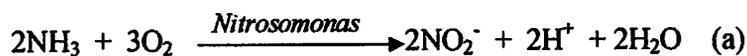
Hasil akhir dari penelitian ini untuk waktu detensi adalah nilai konsentrasi BOD mengalami penurunan konsentrasi pada hari ke-6 dengan nilai 143,8 mg/l dan nilai konsentrasi COD mengalami penurunan konsentrasi pada hari ke-6 juga dengan nilai 298,7 mg/l. Kesimpulan yang diambil adalah tanaman eceng gondok efektif dalam menurunkan nilai BOD dan COD pada hari ke-6 pada kerapatan 130 mg/cm<sup>2</sup>.



#### 4.5.2 Pengaruh Kerapatan Tanaman Terhadap Penyisihan BOD dan COD

Eceng gondok sebagai biofilter dapat mempercepat penguapan air melalui proses evapotranspirasi. Evapotranspirasi merupakan kombinasi proses kehilangan air dari suatu lahan bertanaman melalui evaporasi dan transpirasi. Evaporasi mengubah air menjadi uap air (penguapan) dan transpirasi terjadi dalam jaringan tanaman dan selanjutnya uap air yang dihasilkan tersebut dipindahkan dari permukaan tanaman ke atmosfer. Dari adanya proses evapotranspirasi ini akan mendukung laju pengambilan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman dalam proses fotosintesis melalui mekanisme penyerapan air melalui bulu-bulu yang terdapat pada akarnya. Proses fotosintesis yang dilakukan oleh tanaman, akan menghasilkan oksigen yang akan dilepas di air melalui akar maupun diudara melalui daun. Oksigen yang dilepas didalam air limbah akan meningkatkan jumlah oksigen terlarut dalam air limbah sehingga akan memacu kerja mikroorganisme dalam menguraikan senyawa-senyawa pencemar.

Oksigen ini akan digunakan oleh mikroorganisme untuk mendegradasi bahan organik menjadi anorganik, seperti  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  dan lainnya. Eceng gondok akan menyerap unsur-unsur hara yang larut dalam air melalui akarnya yang serabut. Penyerapan tersebut dilakukan oleh akar tumbuhan dimana terdapat mikroorganisme yang hidup bersimbiosa di sekitar akar. Mikroorganisme yang biasa terdapat di akar adalah *Nitrosomonas* dan *Nitrobakter* yang merupakan mikroorganisme autotrofik yang dapat menyelesaikan oksidasi nitrogen secara sempurna. Secara sederhana reaksi penguraian senyawa organik aerobik dapat dituliskan sebagai berikut.



Proses ini berlangsung dalam dua tahap dan masing-masing dilakukan oleh grup bakteri yang berbeda. Tahap pertama adalah proses oksidasi amonium menjadi nitrit yang dilaksanakan oleh bakteri *Nitrosomonas sp* dan tahap kedua adalah proses oksidasi enzimatik nitrit menjadi nitrat yang dilaksanakan oleh bakteri *Nitrobakter sp* (Supriyanto, 2007).

Mikroorganisme tersebut menguraikan bahan-bahan organik menjadi partikel-partikel kecil agar tumbuhan lebih mudah untuk menyerap dan menggunakan bahan-bahan organik tersebut untuk proses pertumbuhannya dibantu dengan sinar matahari untuk proses fotosintesis. Selain itu untuk sistem pertukaran gas dapat terjadi karena adanya proses fotosintesis yang dilakukan oleh tanaman dimana CO<sub>2</sub> diambil dari atmosfer dan menghasilkan O<sub>2</sub> yang dilepas kedalam air melalui akar. Pelepasan oksigen dari akar tanaman ini menyebabkan air disekitar rambut-rambut akar memiliki kadar oksigen terlarut yang tinggi sehingga memungkinkan organisme pengurai seperti bakteri aerob dapat hidup dalam lingkungan yang berkondisi anaerob (Pistal, 2008).

Semakin padat kerapatan tanaman, maka oksigen yang dihasilkan pada saat proses fotosintesis dari tanaman yang dilepas melalui akar akan meningkatkan jumlah oksigen yang terlarut dalam air, dimana oksigen ini akan dimanfaatkan oleh mikroorganisme yang bersimbiosis pada bagian akar untuk meningkatkan proses dekomposisi bahan organik. Pernyataan tersebut berlaku pada penelitian ini yang dapat dilihat pada hasil penyisihan yang didapatkan disetiap kerapatannya. Penyisihan terbesar terdapat pada kerapatan 130 mg/cm<sup>2</sup>. Hasil serupa juga didapati pada hasil penelitian Karwayu (2012) yang memanfaatkan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dalam menurunkan konsentrasi BOD dan Phospat dengan menggunakan kerapatan 30 mg/cm<sup>2</sup>, 60 mg/cm<sup>2</sup> dan 90 mg/cm<sup>2</sup>. Hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa makin rapat kerapatan, yaitu pada kerapatan 90 mg/cm<sup>2</sup> merupakan kerapatan optimum dan efektif dalam menurunkan kandungan senyawa organik dalam air limbah.

Namun untuk variasi kerapatan tanaman juga harus memperhatikan luasan tempat yang digunakan. Hal ini disampaikan oleh Sitompul dan Guritno (1995) dalam Subrata (2007) yang menyatakan bahwa apabila variasi kerapatan yang digunakan tidak disesuaikan, maka akan menimbulkan pendangkalan dan perombakan bahan organik akibat pembusukan tanaman dan dapat menyebabkan kenaikan konsentrasi bahan pencemar itu sendiri. Makin rapat tanaman yang ada di suatu area juga akan mengakibatkan kompetisi yang terjadi antara mikroorganisme dengan tanaman uji untuk mendapatkan nutrien semakin besar

sehingga akan berpengaruh pada pertumbuhan tanaman itu sendiri dan mikroorganismenya di dalam air limbah.

Pada hasil analisis korelasi menunjukkan bahwa pengaruh kerapatan tanaman terhadap persen penyisihan BOD dan COD adalah lemah karena nilai koefisien mendekati 0 dan hubungan antara kedua variabel searah karena nilai positif yang didapati pada koefisien korelasi. Namun, hasil dari nilai probabilitas pada analisis statistik menunjukkan korelasi yang tidak signifikan pada kerapatan tanaman karena nilai probabilitasnya > dari 0,05. Hal ini dapat disebabkan karena range dari kerapatan tanaman yang digunakan selisihnya terlalu kecil, sehingga pembacaan angka pada statistik tidak memberikan adanya korelasi yang signifikan pada persentase penyisihan BOD. Selain itu uji anova menunjukkan variasi kerapatan tanaman terhadap persen penyisihan BOD dan COD adalah identik atau tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Kesimpulan yang diambil adalah jika kerapatan tanaman makin rapat, maka persentase penyisihan BOD dan COD akan meningkat.

Pada penelitian ini, didapati efektifitas tanaman eceng gondok yang paling optimal dalam mengolah limbah tahu yaitu pada kerapatan 130 mg/cm<sup>2</sup>. Dari konsentrasi awal limbah BOD sebesar 1.691,7 mg/l mampu diturunkan menjadi 143,8 mg/l dengan persentase removal sebesar 91,50%. Sedangkan konsentrasi awal COD sebesar 2.666 mg/l mampu diturunkan menjadi 298,7 mg/l dengan persentase removal sebesar 88,80%.

### 4.5.3 Kualitas Akhir Pengolahan Setelah Proses Fitoremediasi

Konsentrasi awal BOD pada limbah cair tahu adalah sebesar 1.691,7 mg/l sementara konsentrasi awal COD sebesar 2666 mg/l. Konsentrasi awal BOD dan COD tersebut melebihi standart baku mutu limbah cair industri tahu berdasarkan Keputusan Gubernur Jawa Timur Nomor. 45 Tahun 2002 tentang Baku Mutu Limbah Cair atau Kegiatan Usaha Lainnya di Jawa Timur. Konsentrasi BOD mempunyai standart baku mutu sebesar 150 mg/l dan untuk standart konsentrasi COD sebesar 300 mg/l. Setelah dilakukan pengolahan dengan *fitoremediasi* yang memanfaatkan tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*), konsentrasi BOD dan COD yang terkandung dalam limbah tersebut mengalami penurunan.

Konsentrasi akhir BOD dan COD limbah cair industri tahu yang telah mengalami proses penyerapan oleh tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) sehingga menghasilkan konsentrasi akhir pada waktu detensi 6 hari sebesar 143,8 mg/l pada kerapatan 130 mg/cm<sup>2</sup> dan konsentrasi akhir COD sebesar 298,7 mg/l pada kerapatan 130 mg/cm<sup>2</sup>. Dari hasil konsentrasi akhir tersebut dapat diketahui bahwa hasil output pengolahan *fitoremediasi* dengan menggunakan tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) selama 6 hari sudah memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan untuk parameter BOD dan COD.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

1. Tanaman eceng gondok yang digunakan dalam proses Fitoremediasi mampu menurunkan konsentrasi BOD dan COD pada limbah cair tahu. Hasil akhir dari proses fitoremediasi ini untuk konsentrasi BOD mendapatkan persentase removal sebesar 91,50% dan untuk konsentrasi COD mendapatkan persentase removal sebesar 88,80%
2. Waktu tinggal yang efektif dari tanaman terapung Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) selama proses fitoremediasi adalah 6 (enam) hari.
3. Kerapatan optimum dari tanaman terapung Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) adalah 130 mg/cm<sup>2</sup>. Pada kerapatan 130 mg/cm<sup>2</sup>, tanaman eceng gondok mampu menurunkan konsentrasi BOD menjadi 143,8 mg/l dan konsentrasi COD menjadi 298,7 mg/l.

#### 5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan memperhitungkan sistem aliran serta sistem sirkulasi oksigen.
2. Gunakan tanaman yang berumur sekitar 2-3 bulan dari hasil pengembangbiakkan sendiri agar didapati tanaman yang mampu hidup lebih lama dalam air limbah.
3. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk memperoleh persentase penyisihan BOD dan COD dengan variasi kerapatan 150 mg/cm<sup>2</sup>, 170 mg/cm<sup>2</sup> dan 190 mg/cm<sup>2</sup> dengan mempertimbangkan volume limbah cair dalam reaktor dan luas reaktor yang digunakan.
4. Mengingat penelitian ini menggunakan pengenceran 50%, maka pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan variasi pengenceran 25% atau tanpa pengenceran dengan mempertimbangkan waktu detensinya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G dan Santika, S. S. 1984. **Metode Penelitian Air**. Usaha Nasional. Surabaya.
- Amalia, Dian . 2005. **“Studi Keefektifan Penurunan Kromium ( $\text{Cr}^{6+}$ ) pada Air Limbah Dengan Menggunakan Eceng Gondok”**. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan. ITS Surabaya
- Anonim. **“Dasar-dasar teknologi pengolahan limbah cair”**. (<http://dephut.go.id>) Diakses tanggal 8 Maret 2013 pukul 16.54
- Anonim. **“*Eichhornia Crassipes*”**. (<http://wikipedia.com>) Diakses tanggal 8 Maret 2013 pukul 16.54
- Anonim. **“Evapotranspirasi”**. (<http://catatankuliah.blogspot.com>) Diakses tanggal 13 juli 2013 pukul 00.06
- Anonim. **“Fitoremediasi”**. (<http://ltd.bppt.tripod.com/sublab/1floral.htm>). Diakses tanggal 9 Maret 2013 pukul 11.35
- Anonim. **“Morfologi Eceng Gondok”** .(<http://e-smartschool.com>) Diakses tanggal 8 Maret 2013 pukul 16.54
- Anonim. **”Perkembangbiakan Eceng Gondok”**. (<Http://LilikTriyanto/Blogspot>) . Diakses tanggal 9 Maret 2013 pukul 11.38
- Anonim. **”Pemanfaatan Eceng Gondok”**. (<Http://fruituti-blogspot>) Diakses tanggal 9 Maret 2013 pukul 11.40
- Dethan, Daniel Andry. 2012. **Pengolahan Limbah Cair Laundry Dengan Metode Fitoremediasi Menggunakan Tumbuhan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)**”. Laporan Tugas Akhir Teknik Lingkungan FTSP ITN Malang.
- Ginting, Perdana. **Sistem Pengelolaan Lingkungan Dan Limbah Industri**. Bandung. 2007

- Hariyadi, Sigit. 2004. **BOD Dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Air Dan Baku Mutu Air Limbah. Makalah Pengantar Falsafat Sains.** Sekolah Pascasarjana /S3, IPB Bogor.
- Herlambang dan Said. 2001. **Teknologi Pengolahan Limbah Tahu-Tempe dengan Proses Biofilter Anaerob dan Aerob. (On-line)** <http://www.kelair.bppt.go.id/Sipta/Artikel/Limbahtt/html>. Diakses tanggal 9 Maret 2013.
- Iriawan, N dan Astuti, S.P. 2006. **Mengolah Data Statistik Dengan Mudah Menggunakan Minitab 14.** Andi. Yogyakarta.
- Kuniadie, Denny. 2011. **Teknologi Pengolahan Limbah Cair secara Biologis.** Bandung : Widya Padjadjaran.
- Lakitan, Benyamin. 2007. **Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan.** Penerbit PT. Rajagrafindo Persada. Jakarta.
- Mangkoedihardjo, S. 2005. **“Remediation Technologies Selection for Oil-Polluted Marine Ecosystem”.** Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Metcalf dan Eddy, 1981. **Wastewater Engineering Treatment, Disposal, Reuse, Resived By Geo Tchobanoglous.** Tata MC Graw-Hill Publising Company LTD, New Delhi.
- Nurhasan dan Pramudyanto. 2008. **Informasi Praktis Pengolahan dan Pemanfaatan Limbah Tahu-Tempe. (On-line)** [http://www.menlh.go.id/usaha-kecil/index\\_view.php?sub=7](http://www.menlh.go.id/usaha-kecil/index_view.php?sub=7) Diakses tanggal 9 Maret 2013.
- Pistal, Aroffie. 2008. **“Pemanfaatan Paku Air (*Azolla Pinnata*) Untuk Menurunkan BOD, COD Dan TSS Pada Limbah Cair Produksi Tahu Secara Kontinyu”.** Laporan Tugas Akhir Teknik Lingkungan FTSP ITN Malang.

- Pohan, Nurhasmawati. 2008. **“Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Dengan Proses Biofilter Aerobik”**. Laporan Tesis. Universitas Sumatra Utara. Medan.
- Poppy Arsil, Supriyanto. 2007. **“Pengolahan Limbah Cair Dari Industri Kecil Pengolahan Tahu Secara Biofiltrasi Menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*)”**. Universitas Diponegoro
- Ratnani, Rita D. 2011. **Pemanfaatan Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Untuk Menurunkan Kandungan COD (*Chemical Oxygen Demand*), pH, Bau, Dan Warna Pada Limbah Cair Tahu**. Jurusan Teknik Kimia. Universitas Wahid Hasyim. Semarang
- Sanaky, Aini Nur. 2008. **“Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Dengan Metode Fitoremediasi Menggunakan Tumbuhan Duckweed (*Lemna Minor*)**. Laporan Tugas Akhir Teknik Lingkungan FTSP ITN Malang.
- Saputri, Ajeng Zhara. 2012. **“Penurunan Phophat Dan BOD Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Sebagai pengolahan air Sungai Dengan Metode Fitoremediasi Menggunakan Pola Aliran Kontinyu”**. Laporan Tugas Akhir Teknik Lingkungan FTSP ITN Malang.
- Sarwono, B. 2011. **Membuat Aneka Tahu**. Penebar Swadaya. Jakarta
- Subagio, Nurganda . 2011. **“Konstruksi Alat Dan Studi Adsorpsi Fase Gas Logam Merkuri (Hg) Oleh Biomassa Batang Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)”**. Laporan Tugas Akhir Teknik Kimia. Fakultas Sains dan Teknologi. UIN Malang.
- Subrata, Yudha. 2007. **“Fitoremediasi Logam Berat  $Cu^{2+}$  Pada Air Limbah Industri Elektroplating Dengan Menggunakan Tumbuhan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Kayu Apu (*Pistia Stratiotes L.*)”**. Laporan Tugas Akhir Teknik Lingkungan. FTSP ITN Malang.
- Sugiharto. 2008. **Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah**. Universitas Indonesia Press. Jakarta.

- Suparli . 2010. **Pengaruh Kepadatan Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Terhadap Penurunan Kadar Biological Oxygen Demand (BOD) Air Limbah Tahu Dalam Kolam Eceng Gondok Di Kelurahan Kalitaman – Salatiga.** Universitas Diponegoro. Semarang
- Tyagita, Agnes. 2011. **“Perbandingan Efektifitas Tanaman Air Lemna Minor Dan Hydrilla Verticillata Dalam Pengolahan Limbah Cair Tahu : Parameter BOD Dan COD”.** Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITN Malang.
- Widowati, H. 2000. **Peranan Tumbuhan air sebagai Bioemidiator Pencemaran Akibat kegiatan Industri Batik.** Tesis. Fakultas Geografi UGM. Yogyakarta.



LAMP - IRAN



LEMBAR ASISTENSI  
SKRIPSI



Nama : Hèndi Setiono Thio  
NIM : 09.26.013  
Jurusan : Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing : Candra Dwi Ratna ST.MT

No	Tanggal	Catatan / keterangan	Tanda Tangan
1.	16-4-2013	Bab I latur belakang ditubah di akhir dan akhir	
2.	22-4-2013	Bab I - acc Lanjutan bab II	
3.	24-4-2013	Bab II - acc, Lanjutkan Bab III	
4.	10-5-2013	Bab III - acc, Lanjutkan	
5.	12-6-2013	Bab IV o) cek redaksional o) konsistensi dlm penulisan o) Lanjutkan & statistik	



LEMBAR ASISTENSI  
SKRIPSI



Nama : Hendi Setiono Thio  
NIM : 09.26.013  
Jurusan : Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing : Candra Dwi Ratna ST.MT

No	Tanggal	Catatan / keterangan	Tanda Tangan
6	13-6-2013	o) pelajari statistik o) lanjutkan dg pembahasan COD	
7	20-6-2013	o) pembahasan di per dalam o) cek Redaksional o) leykapi laporan	
8	2.7-2013	o) Bab IV pembahasan cek redaksional leykapi dg Kehidupan dan sifat	



LEMBAR ASISTENSI  
SKRIPSI



Nama : Hendi Setiono Thio  
NIM : 09.26.013  
Jurusan : Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing : Candra Dwi Ratna ST.MT

No	Tanggal	Catatan / keterangan	Tanda Tangan
8.	3-7-2013	Ujungi Laporan	
10	16-7-2013	ACC Seminar	



# LEMBAR ASISTENSI

## SKRIPSI



Nama : Hendi Setiono Thio  
NIM : 09.26.013  
Jurusan : Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing : Sudiro ST.MT

No	Tanggal	Catatan / keterangan	Tanda Tangan
	16/04 - 2013	=> Buat outline laporan. = Revisi? uraian elemen dipersejajarkan. = Paragraf kalimat diperbaiki	
	20/04 - 2013	=> Deskripsi latar belakang diperjelas. Mfr konsep limbah hrs diteliti. = lay out laporan diperbaiki.	
	22/04 - 2013	=> Deskripsi Latar belakang mengenai pengolahan limbah secara umum => Lay out laporan diperbaiki	
	10/05 - 2013	=> Laporan penelitian sesuai methodology.	
	29/06 - 2017	=> Masalah dipersejajarkan dengan regulasi. Kondisi per bagian - pembalasan neyoral per pencapcua tugas -> Keterampilan!	



LEMBAR ASISTENSI

SKRIPSI



Nama : Hendi Setiono Thio  
NIM : 09.26.013  
Jurusan : Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing : Sudiro ST.MT

No	Tanggal	Catatan / keterangan	Tanda Tangan
		<p>Analisa esherh... → kombinasi ke - Analisa Statistik → keperluan. = Debitasi → soal akhir → menyasar hyon</p> <hr/>	
	9 07 - 2013	<p>lakukan uji Aku = pertanyaan pembantu di jawab? Ilmiah? dan. Jurnal.</p>	
	10 07 - 2013	<p>= pembesaran lebih di bagian bagi di akar alih bal. <hr/>↓ kefempula.</p>	



LEMBAR ASISTENSI  
SKRIPSI



Nama : Hendi Setiono Thio  
NIM : 09.26.013  
Jurusan : Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing : Sudiro ST.MT

No	Tanggal	Catatan / keterangan	Tanda Tangan
	13 07-2017	-> Buat kesimpulan = menyimpulkan ~~~~~	



## HASIL ANALISIS SAMPEL

**Nama** : Hendi Setiono Thio (NIM : 09.26.013)  
**Alamat** : Mahasiswa Teknik Lingkungan ITN Malang  
**Lokasi** : Industri Tahu Desa Tunggulwulung Malang  
**Sampling** : Oleh Konsumen  
**Analisis** : Oleh Konsumen  
**Tanggal Analisis Sampel** :

### Hasil Analisis Awal

No	Parameter	Konsentrasi Awal (mg/l)			Rata-rata
		1	2	3	
1	BOD	1684,9	1705,4	1684,9	1691.7
2	COD	2656	2672	2672	2666
3	pH	4	4	4	4
4	Suhu	26°C	26°C	26°C	26°C

### Nilai Konsentrasi Akhir BOD dan COD Pada Reaktor Kontrol Fitoremediasi

Reaktor	Waktu detensi (Hari ke-)	Konsentrasi Akhir BOD (mg/l)				Konsentrasi Akhir COD (mg/l)			
		1	2	3	Rata-rata	1	2	3	Rata-rata
Kontrol	2	965.7	945.2	945.2	952.03	1376	1344	1344	1354,6
	4	595.8	575.3	554.8	575.3	864	896	848	869,3
	6	308.2	349.3	328.7	328.7	416	384	384	405,3
	8	205.4	184.9	184.9	191.7	320	320	304	314,6

### Nilai Konsentrasi Akhir BOD dan COD Pada Reaktor Uji Fitoremediasi

Variasi kerapatan (mg/cm <sup>2</sup> )	Waktu detensi (Hari ke-)	Konsentrasi Akhir BOD (mg/l) Pada Reaktor				Konsentrasi Akhir COD (mg/l) Pada Reaktor			
		1	2	3	Rata-rata	1	2	3	Rata-rata
90	2	863	883.6	904.1	883.5	1296	1312	1312	1306.7
	4	534.2	575.3	534.2	547.9	784	800	784	789.3
	6	226.0	226.0	246.6	232.8	352	336	336	336.0
	8	349.3	328.8	349.3	342.4	416	384	416	405.3
	10	-	-	-	-	-	-	-	-
110	2	883.6	863.0	863.0	869.8	1312	1280	1280	1290.7
	4	534.2	534.2	554.8	534.2	768	768	752	762.7
	6	164.4	184.9	164.4	171.2	320	320	320	320
	8	472.6	472.6	493.2	479.4	528	496	512	512
	10	-	-	-	-	-	-	-	-
130	2	842.5	863.0	842.5	849.3	1280	1248	1264	1264
	4	513.7	534.2	493.2	513.7	736	736	704	725.3
	6	143.8	143.8	143.8	143.8	288	320	288	298.7
	8	493.2	472.6	534.2	500.0	592	544	576	570.6
	10	-	-	-	-	-	-	-	-

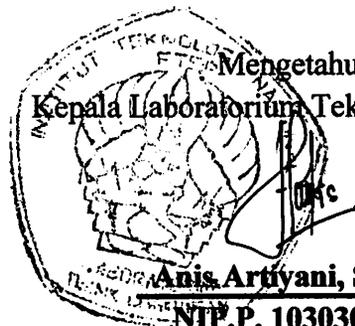
Hasil analisis ini hanya berlaku untuk kondisi sampel saat itu. Pengambilan sampel dan proses analisis di laboratorium dilakukan sendiri oleh konsumen.

Asisten Laboratorium Pendamping

**Sitti Anggraini**  
**NIM : 10.26.018**

Malang, Mei 2013  
 Mahasiswa

**Hendi Setiono Thio**  
**NIM : 09.26.013**



Mengetahui,  
 Kepala Laboratorium Teknik Lingkungan

**Anis Artiyani, ST.MT**  
**NIP.P. 1030300384**

## KRITERIA DISAIN REAKTOR

### A. Perhitungan Bak Reaktor

- ❖ Bak yang digunakan berbentuk persegi panjang

**Direncanakan :**

$$\text{Panjang reaktor (P)} = 0,50 \text{ m}$$

$$\text{Lebar reaktor (L)} = 0,30 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi reaktor (T)} = 0,30 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi air permukaan (Tpermukaan)} = 0,15 \text{ m}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= P \times L \times T_{\text{permukaan}} \\ &= 0,50 \text{ m} \times 0,30 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \\ &= 0,0225 \text{ m}^3 \\ &= 22,5 \text{ Liter} \end{aligned}$$

## KRITERIA PERHITUNGAN KERAPATAN TANAMAN

### 1) Untuk Kerapatan 90 mg/cm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} - \text{ Luas Reaktor} &= p \times l \\ &= 50 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \\ &= 1500 \text{ cm}^2 \\ - \text{ Kerapatan} &= \frac{\text{Berat Tanaman (gr)}}{\text{Luas Reaktor}} \\ 90 \text{ mg/cm}^2 &= \frac{x \text{ (gr)}}{1500 \text{ cm}^2} \\ X_{90} &= 135 \text{ gram} \end{aligned}$$

### 2) Untuk Kerapatan 110 mg/cm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} - \text{ Luas Reaktor} &= p \times l \\ &= 50 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \\ &= 1500 \text{ cm}^2 \\ - \text{ Kerapatan} &= \frac{\text{Berat Tanaman (gr)}}{\text{Luas Reaktor}} \\ 110 \text{ mg/cm}^2 &= \frac{x \text{ (gr)}}{1500 \text{ cm}^2} \\ X_{110} &= 165 \text{ gram} \end{aligned}$$

### 3) Untuk Kerapatan 130 mg/cm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} - \text{ Luas Reaktor} &= p \times l \\ &= 50 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \\ &= 1500 \text{ cm}^2 \\ - \text{ Kerapatan} &= \frac{\text{Berat Tanaman (gr)}}{\text{Luas Reaktor}} \\ 130 \text{ mg/cm}^2 &= \frac{x \text{ (gr)}}{1500 \text{ cm}^2} \\ X_{130} &= 195 \text{ gram} \end{aligned}$$

# ANALISA BOD

## I. METODE

Titrimetri

## II. TUJUAN

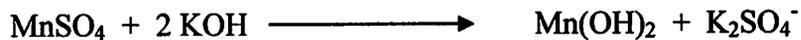
- Menentukan konsentrasi oksigen terlarut dalam sampel air
- Menentukan nilai kebutuhan oksigen biologis
- Mengetahui kualitas sampel air

## III. PRINSIP ANALISA

### A. Prinsip reaksi DO

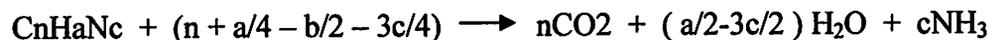
Pada analisis oksigen terlarut, sampel harus dianalisis sesegera mungkin.

Reaksi :



### B. Prinsip Reaksi BOD

Reaksi oksidasi :



Zat Organik                      Oksigen                      Karbon Dioksida                      Air                      Amoniak

#### IV. PERALATAN DAN PEREAKSI

##### A. Peralatan

- Buret
- Statif
- Erlenmeyer
- Neraca Analitis
- Gelas Ukur
- Pipet
- Beaker Glass
- Inkubator
- Botol Winkler

##### B. Perekasi

###### 1. Larutan $\text{MnSO}_4$ (Mangan Sulfat)

- Larutan 5,54 gr  $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  dalam 15 ml aquadest

###### 2. Larutan Alkali – Iodida – Azidida

- 10 gr NaOH dilarutkan dalam 2 ml aquadest
- Tambahkan 0,2 gr  $\text{NaN}_3$  dalam 0,8 ml aquadest
- Tambahkan 3 gr KI dalam 2 ml aquadest
- Campurkan ke tiga larutan dan tambah aquadest hingga 20 ml

###### 3. Indikator Amylum 0,5%

- 0,1 gr amyllum dilarutkan dalam 20 ml aquadest. Dididihkan dan didinginkan

###### 4. Asam sulfat pekat 2 ml untuk tiap sampel

###### 5. Larutan Tiosulfat 0,1 N

- Larutkan 3,723 gr  $\text{Na}_2\text{S}_3\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  dalam 150 ml aquadest yang telah dididihkan dan didinginkan.

## V. CARA KERJA

### ❖ DO<sub>0</sub>

1. Isi botol winkler dengan sampel air hingga penuh
2. Tambahkan 2 ml larutan mangan sulfat (  $MnSO_4$  )
3. Tambahkan 2 ml larutan alkali-iodide-azida
4. Botol ditutup, dikocok dengan membolak-balik beberapa kali
5. Biarkan 10 menit, kemudian buang 100 ml larutan jernih
6. Tambahkan 2 ml asam sulfat pekat (  $H_2SO_4$  ). Kocok dan lalu pindahkan ke Erlenmeyer
7. Titrasi dengan tio sulfat hingga terjadi warna kuning muda
8. Tambahkan 2 ml indikator amylum, sampai timbul warna biru
9. Titrasi dengan tio sulfat sampai warna biru hilang pertama kali

### ❖ DO<sub>5</sub>

1. Isi botol winkler dengan sampel air hingga penuh
2. Tambahkan 2 ml larutan mangan sulfat (  $MnSO_4$  )
3. Tambahkan 2 ml larutan alkali-iodide-azida
4. Botol ditutup, dikocok dengan membolak-balik beberapa kali, biarkan 10 menit
5. Botol di inkubasi pada suhu 25°C selama 5 hari
6. Kemudian buang 100 ml larutan jernih
7. Tambahkan 2 ml asam sulfat pekat (  $H_2SO_4$  ). Kocok dan lalu pindahkan ke Erlenmeyer
8. Titrasi dengan tio sulfat hingga terjadi warna kuning muda
9. Tambahkan 2 ml indikator amylum, sampai timbul warna biru
10. Titrasi dengan tio sulfat sampai warna biru hilang pertama kali

## VI. PERHITUNGAN

$$\text{DO (Mg/l)} = \frac{a \times N \times 8000}{V-4}$$

DO = Oksigen Terlarut (mg O<sub>2</sub>/l)

a = Volume Titrasi Natrium Tiosulfat (ml)

N = Normalitas Natrium Tiosulfat (ek/l)

V = Volume Botol Winkler (ml)

$$\text{BOD (mg/l)} = \text{OT}_0 - \text{OT}_5$$

OT<sub>0</sub> = Oksigen terlarut pada t = 0 hari

OT<sub>5</sub> = Oksigen terlarut pada t = 5 hari



# ANALISA COD

## I. METODE

Closed Refluks Tetrimetric

## II. TUJUAN

Untuk mengetahui jumlah oksigen ( $\text{mg O}_2$ ) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam 1L sample air, dimana pengoksidasi  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  digunakan sebagai sumber oksigen (oksidizing agent).

## III. PRINSIP ANALISA

Senyawa organik dalam air dioksidasi oleh larutan kalium dikromat dalam suasana asam sulfat pada temperature  $150^\circ\text{C}$  selama  $\pm 2$ jam. Kelebihan kalium dikromat (yang tidak tereduksi) dititrasi dengan larutan fero amonium sulfat (FAS) memakai indicator ferroin. Materi organik yang teroksidasi akan dikalkulasi dalam bentuk ekivalensi oksigen.

## IV. PERALATAN DAN PEREAKSI

### A. Peralatan

- Buret
- Statip
- Neraca Analitis
- Pipet
- Tabung COD
- Beaker Glass
- Erlenmeyer
- Pemanas COD

## B. Pereaksi

### 1. Larutan standar kalium dikromat 0,0167 M

Tambahkan 4,193 gram  $K_2Cr_2O_7$ , yang sebelumnya telah dikeringkan pada suhu  $103^\circ C$  selama 2 jam, pada 500 ml air destilasi. Lalu tambahkan 167 ml  $H_2SO_4$  pekat dan 3,33 gram  $HgSO_4$ . larutkan dan dinginkan sampai temperatur

### 2. Pereaksi asam sulfat

Tambahkan  $Ag_2SO_4$  (berbentuk kristal atau bubuk) pada  $H_2SO_4$  pekat dengan perbandingan 5,5 gram  $Ag_2SO_4$  per Kg  $H_2SO_4$ . Biarkan selama 1 atau 2 hari hingga seluruh  $Ag_2SO_4$  larut.

### 3. Larutan indikator ferroin

Larutkan 1,485 gram 1,10-phenanthrolin monohidrat dan 695 mg  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  dalam air destilasi dan encerkan hingga volumenya 100 ml.

### 4. Larutan fero ammonium sulfat

Larutkan 39,2 gram  $Fe(NH_4)_2SO_4 \cdot 6H_2O$  dalam air destilasi. Lalu tambahkan 20 ml  $H_2SO_4$  pekat dan encerkan hingga volumenya 100 ml. larutan ini harus distandarisasi dengan cara sebagai berikut :

Masukkan 2,5 ml air destilasi; 1,5 ml kalium dikromat; dan 3,5 ml pereaksi asam tambahkan 1 sampai 2 tetes indikator ferroin. Titrasi dengan FAS. Molaritas FAS yang dipakai diperoleh dengan rumus :

Molaritas FAS =  $(ml K_2Cr_2O_7 \times 0,1) / ml FAS$



## V. CARA KERJA

1. Cuci tabung COD dan rendam dalam 20% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> untuk penggunaan pertama kali.
2. Masukkan 2,5 ml sampel; 1,5 ml larutan dikromat; dan 3,5 ml pereaksi asam sulfat ke dalam tabung COD. Tutup tabung rapat-rapat dan kocok agar tercampur sempurna.
3. Masukkan pada pemanas COD mikro lalu panaskan pada suhu 150°C selama 2jam.
4. Dinginkan pada temperatur kamar.
5. Buat blanko dengan air destilasi sebagai pengganti sample lalu langkah-langkah pengerjaan diatas diulangi kembali. Lalu catat ml FAS yang dipakai untuk mentitrasi blanko tersebut.

## VI. PERHITUNGAN

$$\text{COD (mg O}_2\text{/l)} = (A-B) \times M \times 8000 / \text{ml sampel}$$

Dengan :

A = ml FAS yang dipakai untuk titrasi blanko

B = ml FAS yang dipakai untuk titrasi sampel

M = molaritas FAS



LOKASI PENGAMBILAN ECENG GONDOK DI WASUK SELOREJO



PEMILAHAN INDUK ECENG GONDOK



MENGEMBANG BIAKKAN ECENG GONDOK



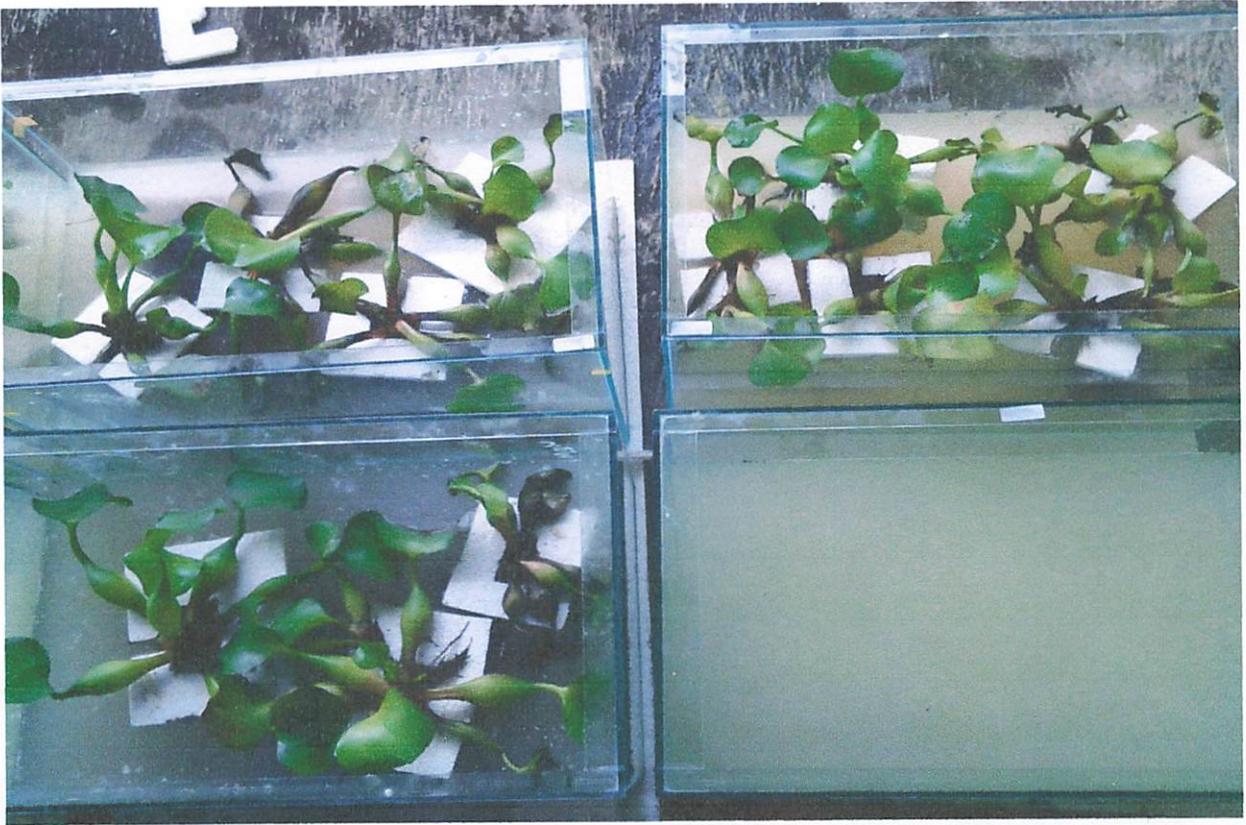
ANALISIS LABORATORIUM





Waktu Detensi ke-0





Waktu Detensi ke-2



Waktu Detensi ke-4



Waktu Detensi ke-6



## LEMBAR PERSEMBAHAN

My special thanks I gave to my Savior, JESUS CHRIST..

Karenanya saya bisa ada hingga saat ini dalam keadaan yang serba sangat baik semuanya. Karena kasihnya yang menyelamatkan dan penyertaannya selalu juga membawa saya ketempat ini.

Maaf jika selama 4 tahun kuliah disini belum ada pelayanan sama sekali, setelah pulang kekota asal saya,tolong ijjinkan saya dan berikan kesempatan agar dapat melayaniMu lagi seperti biasanya. Dan maaf juga kadang bolong gerejanya.

Please forgive me when I try to do everything on my own. I NEED YOU. I need UR HOLY SPIRIT to give me strength, wisdom and direction.

Cinta dari Tuhan selalu hadir dalam setiap langkah hidup kita Meskipun terkadang kita melupakanNya dan seringkali menyalahkan Dia Namun ketulusan hatiNya yang selalu memaafkan kita yang membuat sampai detik ini kita masih merasakan indahnya hidup.

Tetap teguh dalam iman dan percayalah bahwa dalam situasi apapun, Tuhan tidak pernah melupakan kita.



## **UNTUK PAPA DAN MAMA SAYA**

Trima kasih telah melahirkan saya kedunia yang indah ini dan terima kasih karena telah mendidik saya menjadi anak yang berakhlak baik dan yang sopan santun. (ini beneran lhoo..dipuji salah 1 dosen soalnya) hehe.

Telah menyekolahkan saya juga hingga sampai keperguruan tinggi. Mengeluarkan sangat banyak biaya untuk saya terutama saat kuliah ini. Biaya hidup malah lebih tinggi dari biaya kuliah soalnya. Hehehe

Maap sering boros, jajan nda karuan... tapi sumpee dehh, nda pernah korupsi kok tentang uang kuliah. Semua omongan temanku yang mengatakan sering korupsi adalah fitnah belaka, jadi jangan dipercaya..

Kini anakmu telah lulus kuliah ,.

Tiba saatnya nanti anakmu ini akan membalas segala budi baik yang telah kalian berikan, walaupun semuanya tak cukup diukur dengan materi. Tapi dari saya, berjanji untuk membahagiakan kalian.

Maaf jika selama ini selalu membantah omongan kalian, kadang juga kasar dan berkata dengan nada yang tinggi, maaf juga pernah berbohong (kalau ini sering) hehe.. terutama masalah HP baru yang hilang, kebohongannya sudah 1 tahun lebih masih belum diakui. Habis ini ngaku deh.

Selama kuliah dan jauh dari kalian, sangat rindu untuk melihat kalian. Tapi nama kalian selalu kusebutkan dalam doaku setiap malam. Hanya kesehatan dan keselamatan yang selalu kuminta, agar nantinya bisa bertemu dengan kalian lagi.

Untuk Para Dosen..

Bu Chandra selaku dosen wali dan Ketua Jurusan.. terima kasih sudah membimbing saya selama 4 tahun ini.. mohon maaf klo semasa kuliah sering bolos dan datang terlambat. Yang terspesial memang selalu diakhir, saat kompre makasih udah jadi moderatornya.. senyumnya ibu saat ujian kmaren benar-benar menenangkan saya dan bisa kembali fokus untuk menjawab semua pertanyaan.

Bu Evi selaku wakil ketua Jurusan.. Sangat menyenangkan ikut kuliahnya ibu.. mendebarkan tapi nyantol semua pelajarannya diotak. Dosen yang paling tegas dan mengajarkan banyak hal. Terutama pada kedisiplinan dan manajemen waktu. Semuanya menjadi lebih baik karena ibu.

Pak Sudiro selaku dosen pembimbing saya,, jujur sebelumnya sangat segan sama bapak dan rada tidak suka. Saya yakin itu semua karena belum pernah sekali pun saya berbicara langsung sama bapak. Dan terbukti ketika proses bimbingan, terlihat kebaikan dan keasikan si bapak. Benar-benar bisa memposisikan diri sebagai dosen, sahabat dan sebagai ayah juga. Salut sama Bapak.

Bu anis selaku Kepala Lab.Lingkungan , biarpun baru kenal ibu sebentar tapi dekatnya terbilang sangat cepat. Hehe makasih atas kebaikan ibu yang selalu memberikan ketenangan ketika seminar proposal dan seminar hasil. Maaf jika ada salah saya dan kurang ajaran saya ketika berbicara dengan ibu.

Pak Heri yang Menguji saya.. makasih atas pelajaran menyikapi berbagai hal dan nasehat-nasehat yang diberikan. Itu semua pasti tertanam dalam saya untuk memotivasi dan menyadarkan saya lagi jika lalai.

Dan yang terakhir. Pak Hardianto.. Mantapp bapak.. hehee . benar-benar banyak kenangan sama bapaknya... Berkali-kali diusir itu sesuatu banget. Haha. Maaf ya pak akan celotehan saya juga. Ini aka teringat terus pak..Semoga cepat lulus juga bapak S3 nya. Jangan molor ya pak.. hehehe

Untuk Kak AYU dan Mba DEWI

Kalian ber-2 benar-benar sangat berperan besar dalam proses skripsi saya. Terima kasih telah mensupport terus dan mengingatkan.

Kak ayu yang selalu menenangkan ketika mau seminar, dengan mba dewi ber dua hujan-hujan keselorejo. Mba dewi juga sudah bersedia nemenin cuci tanaman uji nya, bersihkan reaktornya, sampai yang paling akhir nemenin untuk bantu analisa di lab dari pagi sampai malam. Maaf mba ninggalin duluan, harusnya sama-sama kita lulusnya.. semangat mba dew.. Untuk kak ayu juga thanks udah kasi banyak info yang harus dipersiapkan setelah kelulusan. Banyak yang harus saya pelajari dari kk didunia kerja nanti. Mohon bantuannya ya kak..

## **...UNTUK ANGKATAN 2009...**

Wahhh, . susah menjelaskan kalian.

Luar biasa, Kurang ajar, nda tau malu, Lucu semua campur aduk. Seru lah pokoknya. Terima kasih karena kekompakannya selama 4 tahun ini, terutama ketika pengerjaan skripsi ini. Banyak cobaan berhasil kita lalui semuanya.

Satu-satu sudah kujelasin semua personilnya..

Kita mulai dari Yuvita Dian anaknya Nonoy pak kumis nyuunn. Si kutu beras. Bising kali suaranya. Sakit kuping. Suka nda jelas juga. Dari badannya yang lebar kayak kuda nil hamil tu jadinya suka buang hajat mulu dikampus. 80% limbah cair ITN tu disumbang dia smua.

Prabhavali Aji si hidung pesek berlendir anaknya pak Kuncoro aniiyy. Teman pertamaku waktu kuliah, kerjanya tiap hari cuma hina-hinaan dimanapun dan kapanpun. Selalu mataku yang eksotis ini yang dihinanya. Kutempeleng hidungmu jadi panjang nanti bulu-bulu hidungmu.

And last, pantun ku buat mu.. dalam hutan lindung banyak pohon pinus, eh itu hidung atau anus. Ahahahha.. piss brow,, pasti kau hina juga aq dilembaranmu kan.. hehe

Nurlaily Fajrin, unidentifiy parents name. si hobi nangis. Mau ngapain aja nangis. Tapi oke lahh.. yang selalu kuingat tetap waktu dia jatuh pas ospek. Selalu terngiang dikepala bunyinya. Ahahaa. Mamak kita-kita dari Lombok ini katanya sih seksi. Klo ibarat lempur, dia mah yang mahal. Harga 20ribuan, tebal, padet, Kenyal2 gimana gitu, sayang gosong diluar. Hehe

M. Khairul Imam ,, Memphizz Kuda Binal. Anaknya Mahfudd . Si penyokk muka nda beraturan, kepala mereng2, badan daki. Suka garuk2 selangkangan. Ahahaha. Utang jingkang km nyok.. nda dijingkangnya aq. Wkwkwkwk . Suaminya Nurlaily Fajrin..cie cie.. suda punya bini masih aja cari yang lain, ada yang bening langsung dipuji. Istri sendiri nda pernah dipujinya..malah dikatain Badak Jawa.

Trio Wibowo anaknya pak Djoko Supriyadi, yang banyak bohong, banyak omong dan sok berani. Babon tarakan yang takut sama mantan. Gemeteran klo ketemu polisi. Nda malu kah sama bulu diperutmu.. ahaha. Masih ada dendam sebenarnya sama dia ni, belum kesampaian aq kentutin mukanya mpe skarang.

Yudi Wariarman si sedihh dari Lombok.. Bapak kahim 2009.. Kapan2 ke korea ya kita.. operasi muka yud. Betulin alismu . masa mau sedih terus. Nda banyak yang bisa diejek dia ni.. kasian.. makin sedih ntar mukanya. Hehe..

Congratzzz ya buat kita ber-7.. Keep Contact ,,

Next nya..

Ryartha.. Jidat boneng. Anaknya Partini. Anak kota samarinda yang selalu membanggakan kota kelahirannya yg suka banjir tu. Membanggakan mesjid dan lapangan bolanya yang nda jelas apa fungsi lapangannya. Buat latihan bola teamnya kalah terus, dibuat bandara sama jogging track, atau buat daerah resapan air klo banjir.. hihi Cepat lulus ya gan,, jangan b\*k\*p thok yg kau urus.. wkwk

Ida Ayu M. Sii pancee. Nda kalah bisingnya.. partner beberapa tugas besar.. cepat lulus juga ya.. segera urus laporan PKNnya biar bisa skripsian..oke gann... maaf yak lo semala ini banyak salah.. suka marah2 pada saat ngerjain tugass. Hihi.. tp kan demi kebaikan.. ^.^ dimaapin yaaa..

Aloysiuss Sari... badan besar nama sari..takut sama anak pank, doyan minum cucu dan bobo jam 8 malam tiap hari.. cuucookkk deh..ahaha beruang madu 1 ni sayang baru dekat diakhir2.. gokil abizz anaknya. Skali ngomong langsung tembus. Kayak garuk selangkangan pake garukan sampah. Ahaaha

Sigi.. ini ni rajanyaa.. cek aja laptopnya isinya apa.. wkwkwkwwk filmnya Scooby doo dan avatar. Haha. Blajar ngomong PDF yang baik dan benar. Artikulasinya juga diperjelas e..

Armin Norau.. Si tuyull . Muka keriput. Pekerjaan : Pajem. (ada yang ingat ngak tu singkatan dari apa ?) hehe. Mbahnya angkatan 2009. Suka godain cewe tp nda pernah berhasil. Cewenya kena beri-beri seketika.

Idham Buamona,, Mr.Ternate .. Pria yang kurang cerah .. sama nasibnya kayak armin. Oiya..makasih dam kmaren mau temanin hujan-hujan cari eceng gondok. Terjun kesawah pula..

Yoan Kartika.. the only one dancer in our community. And I;m the singer. The only one juga.. perfect combination lha pokoknya.. Bagus kita buat band. Nda ada pendepakan anggota lagi kok kyk kmaren. haha

Semoga kalian segera menyusul yah.. Jangan lama-lama. Semangat ya di bulan maret.. Maaf kami mendahului. Glad to know you all..

## FOR VCC MY SECOND FAMILY

Untuk Pak Pelatih.. Amril Huda.

Trima kasih sudah menjadi kakak, sahabat dan pelatih yang sangat teramat baik. Trima kasih sudah temani kemana-mana selama kuliah dan saat pengerjaan skripsi juga. Yang udah ngebelain bolak-balik berapa kali buat cari eceng gondok di Selorejo, beliin kertas untuk print, pinjem duit klo lagi ndada uang sama skali. Maaf jika sering buat kesal, marah dan lainnya. Nda sengaja itu. Hehe

Buat teman-teman seperjuangan angkatan 2009.. congratz udah lulus sama-sama. Ayu, Tata, Titi, Hani, Erol dan my soulmate Rita Ole. Hehe  
Buat yang sisa ayoo semangat..

Untuk adek-adekku..

Terutama Siska dan Vannie... Trima kasih sudah ngebantuin dan nemenin selama persiapan penelitian kmaren. Jangan sedih yahh klo aq pulang nanti.. Dan dek siska makasihh ya buku statistiknya..

Untuk para tenor.. semangat yaaa....permana, paul, angga, agus.. jangan mesum semuanya. Makin hari makin binal kalian ni.. makin rusak.. sapa sih yang ngajarin..

For the rest... deni, vega, isno, johan, sari, titi, kiki, vina, mitha, maria, eyos, adheik (peseq), lori dan lainnya.. nasib vcc ditangan kalian.. tunjukkan yang terbaik yah..

Pengalaman berharga banyak kudapat selama mengikuti Paduan Suara ini, kenal banyak orang baik dalam kampus maupun kampus lain berbagai daerah.. Maju terus VCC.

