

**FITOREMEDIASI LIMBAH CAIR INDUSTRI TAPIOKA DENGAN  
PEMANFAATAN TANAMAN AIR ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*)  
DAN KAYU APU (*Pistia stratiotes*)**

**LAPORAN SKRIPSI  
PROGRAM STUDI MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN  
JURUSAN MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN**

Oleh:  
**FARIDA NIKMATUSYA'BAN**  
NIM. 125080101111059



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2016**

**FITOREMEDIASI LIMBAH CAIR INDUSTRI TAPIOKA DENGAN  
PEMANFAATAN TANAMAN AIR ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*)  
DAN KAYU APU (*Pistia stratiotes*)**

**LAPORAN SKRIPSI  
PROGRAM STUDI MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN  
JURUSAN MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Meraih Gelar Sarjana Perikanan  
di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan  
Universitas Brawijaya**

**Oleh:  
FARIDA NIKMATUSYA'BAN  
NIM. 125080101111059**

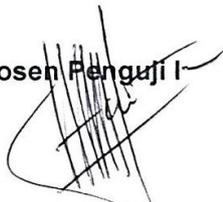


**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2016**

LAPORAN SKRIPSI  
FITOREMEDIASI LIMBAH CAIR INDUSTRI TAPIOKA DENGAN  
PEMANFAATAN TANAMAN AIR ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*)  
DAN KAYU APU (*Pistia stratiotes*)

Oleh:  
FARIDA NIKMATUSYA'BAN  
NIM. 125080101111059

telah dipertahankan di depan penguji  
pada tanggal 1 Juni 2016  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat  
SK Dekan No. : \_\_\_\_\_  
Tanggal : \_\_\_\_\_

Dosen Penguji I  


(Ir. Kusriani, MP)  
NIP. 19560417 198403 2 001  
Tanggal: 09 JUN 2016

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing I



(Ir. Herwati Umi S., MS)  
NIP. 19520402 198003 2 001  
Tanggal: 09 JUN 2016

Dosen Penguji II



(Dr. Ir. Mulyanto, M.Si)  
NIP. 19600317 198602 1 001  
09 JUN 2016

Dosen Pembimbing II



(Nanik Retno Buwono, S.Pi, MP)  
NIP. 19840420 201404 2 002  
09 JUN 2016

Mengetahui,  
Ketua Jurusan  


(Dr. Ir. Arning Wilujeng Ekawati, MS)  
NIP. 19620805 198603 2 001  
09 JUN 2016



## PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Farida Nikmatusya'ban

NIM : 125080101111059

Prodi : Manajemen Sumberdaya Perairan

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi yang saya tulis ini merupakan hasil karya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang tertulis dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa Skripsi ini adalah hasil plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut sesuai hukum yang berlaku di Indonesia.

Malang, 1 Juni 2016

Farida Nikmatusya'ban

NIM. 125080101111059

## UCAPAN TERIMA KASIH

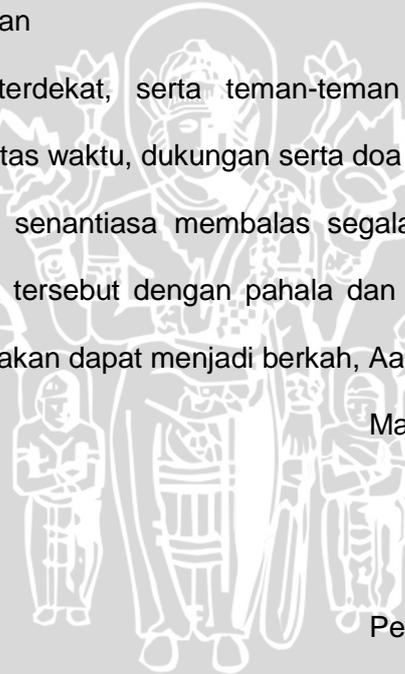
Dalam penyusunan laporan penelitian skripsi ini tidak lepas dari segala bentuk dukungan yang penulis peroleh dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua tercinta dan keluarga atas setiap dukungan baik moril maupun materil yang telah diberikan
2. Ir. Herwati Umi S., MS dan Nanik Retno Buwono, S.Pi, MP selaku dosen pembimbing atas bimbingan serta nasehat yang telah diberikan
3. Ir. Kusriani, MP dan Dr. Ir. Mulyanto, M.Si selaku dosen penguji atas kritik dan saran yang telah diberikan
4. Sahabat dan teman terdekat, serta teman-teman se-angkatan senasib seperjuangan MSP'12 atas waktu, dukungan serta doa yang telah diberikan

Semoga Allah SWT senantiasa membalas segala kebaikan yang telah diberikan oleh pihak-pihak tersebut dengan pahala dan ilmu yang bermanfaat. Semoga apa yang kita kerjakan dapat menjadi berkah, Aamiin.

Malang, 1 Juni 2016

Penulis



## RINGKASAN

**FARIDA NIKMATUSYA'BAN.** Skripsi tentang Fitoremediasi Limbah Cair Industri Tapioka dengan Pemanfaatan Tanaman Air Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) (dibawah bimbingan Ir. **Herwati Umi S., MS** dan **Nanik Retno Buwono, S.Pi, MP**).

Pertambahan jumlah penduduk turut mendorong perkembangan industri pangan, salah satunya yaitu industri tepung tapioka. Tepung ini berbahan baku singkong dan banyak digunakan masyarakat dalam pembuatan berbagai produk olahan makanan. Proses produksi industri tepung tapioka juga menghasilkan limbah, baik limbah padat, cair, maupun gas. Limbah padat masih dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak, namun limbah cair biasanya hanya akan dibuang. Limbah cair tapioka mengandung bahan organik tinggi serta zat racun seperti Sianida (CN). Berdasarkan uji awal kandungan limbah cair tapioka, didapatkan kandungan BOD sebesar 2040 ppm, COD 2670 ppm, TSS 3862 ppm, Sianida (CN) 9,3 ppm, serta memiliki pH 4. Besarnya kandungan-kandungan tersebut dalam limbah cair tapioka dapat menyebabkan pencemaran dan meracuni biota, jika limbah ini dibuang ke perairan tanpa melalui pengolahan terlebih dahulu, mengingat sekarang ini masih banyak industri tapioka skala rumah tangga yang belum memiliki suatu sistem pengolahan limbah. Untuk itu, diperlukan suatu upaya untuk meminimalisir ancaman pencemaran ini. Salah satu cara sederhana dan relatif murah yang dapat dilakukan yaitu dengan fitoremediasi, memanfaatkan tanaman air seperti eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*) untuk menyerap zat pencemar di perairan.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui efektifitas fitoremediasi tanaman air eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*) pada air yang terpapar limbah cair tapioka. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari-Maret 2016 di Laboratorium Reproduksi Ikan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan dan Laboratorium Lingkungan Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya, Malang.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Penelitian ini menggunakan 2 perlakuan jenis tanaman yang berbeda yaitu eceng gondok dan kayu apu, serta terdapat bak kontrol yang tidak diberi perlakuan tanaman, dimana masing-masing perlakuan tersebut mendapat 3 kali pengulangan dan mendapat pengaruh waktu dalam proses fitoremediasinya. Konsentrasi limbah tapioka yang digunakan sebanyak 25% dengan berat tanaman yang digunakan  $\pm$  200 gram. Penelitian dilakukan selama 8 hari, dengan pengukuran parameter BOD, COD, TSS, Sianida (CN), dan pH setiap 2 hari sekali, serta pengukuran bobot basah tanaman dilakukan pada awal dan akhir penelitian.

Hasil penelitian menunjukkan nilai parameter kualitas air pada awal penelitian yaitu BOD sebesar 725 ppm, COD sebesar 1140 ppm, TSS sebesar 1015 ppm, sianida sebesar 8,45 ppm, dan pH sebesar 4,29. Bak penelitian kontrol tanpa perlakuan tanaman, pada akhir penelitian mengalami penurunan nilai BOD menjadi 479 ppm, COD turun menjadi 807,33 ppm, TSS turun menjadi 592,33 ppm, sianida turun menjadi 6,7 ppm, dan nilai pH naik menjadi 5,03. Bak penelitian dengan perlakuan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) mengalami penurunan nilai BOD menjadi 202 ppm, COD turun menjadi 374,67 ppm, TSS turun menjadi 506,33 ppm, sianida turun menjadi 3,16 ppm, nilai pH naik menjadi 5,92, serta bobot basah tanaman eceng gondok turun dari berat

awal 203,37 gram menjadi 179,23 gram. Bak penelitian dengan perlakuan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) pada akhir penelitian mengalami penurunan nilai BOD menjadi 333,67 ppm, COD turun menjadi 553,33 ppm, TSS turun menjadi 564 ppm, sianida turun menjadi 2,79 ppm, pH naik menjadi 5,46, serta bobot basah tanaman kayu apu turun dari berat awal 205,3 gram menjadi 145,47 gram. Hasil analisa sidik ragam dan uji BNT menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang sangat nyata antara perlakuan jenis tanaman dan waktu dalam perlakuan terhadap nilai BOD, COD, TSS, sianida, dan pH, dimana F-hitung lebih besar dari F-tabel pada selang kepercayaan 99%.

Perlakuan fitoremediasi limbah cair tapioka terbaik pada penelitian selama 8 hari yaitu dengan menggunakan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*), terbukti karena kemampuannya menurunkan kadar Sianida (CN) sebagai zat racun lebih tinggi dibandingkan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) lebih efektif dalam fitoremediasi limbah cair tapioka ditinjau dari parameter BOD, COD, TSS, dan pH. Bobot basah tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*) mengalami penurunan akibat dari aktifitas fitoremediasi pada limbah cair tapioka.

Saran dari penelitian ini adalah perlu adanya kesadaran dan aksi aktif oleh pelaku industri rumah tangga untuk melakukan pengolahan limbah sebelum dibuang ke perairan, sehingga meminimalisir terjadinya pencemaran. Pengolahan limbah cair tapioka dengan fitoremediasi sebaiknya juga memperhatikan waktu daya tahan tanaman terhadap toksisitas limbah, sehingga meminimalisir terjadinya penurunan kualitas air limbah akibat dari banyaknya tanaman yang mati selama proses fitoremediasi. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai besar akumulasi sianida pada tanaman serta penggunaan tanaman jenis lain dalam upaya fitoremediasi limbah cair tapioka.



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Skripsi yang berjudul "Fitoremediasi Limbah Cair Industri Tapioka dengan Pemanfaatan Tanaman Air Eceng Gondok (*Echhornia crassipes*) dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)". Tujuan dibuatnya Laporan Skripsi ini adalah sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana Perikanan (S.Pi) di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Malang.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Laporan Skripsi ini masih memiliki kekurangan baik penulisan maupun penyampaian, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat membangun agar tulisan ini menjadi lebih baik, sehingga dapat memberikan informasi yang bermanfaat bagi pembaca.

Malang, 1 Juni 2016

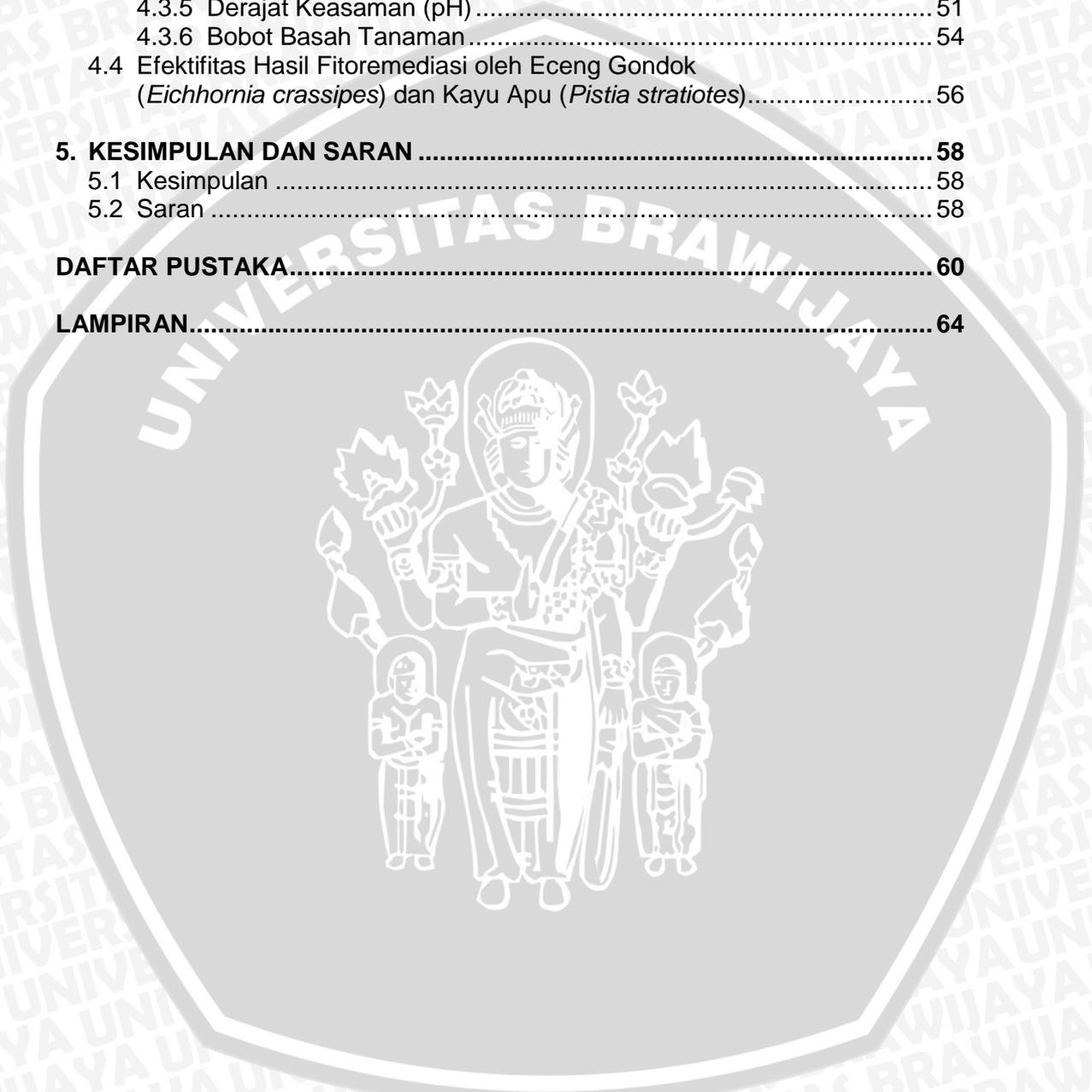
Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b> .....	<b>iv</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xii</b>
<b>1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan.....	5
1.4 Hipotesis.....	5
1.5 Kegunaan.....	6
1.6 Waktu dan Tempat.....	6
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
2.1 Limbah.....	7
2.2 Limbah Cair Tapioka.....	8
2.3 Tanaman Air.....	9
2.3.1 Eceng Gondok ( <i>Eichhornia crassipes</i> ).....	11
2.3.2 Kayu Apu ( <i>Pistia stratiotes</i> ).....	12
2.4 Fitoremediasi.....	14
2.5 Parameter Penelitian.....	15
2.5.1 BOD ( <i>Biological Oxygen Demand</i> ).....	16
2.5.2 COD ( <i>Chemical Oxygen Demand</i> ).....	16
2.5.3 TSS ( <i>Total Suspended Solid</i> ).....	17
2.5.4 Sianida (CN).....	18
2.5.5 Derajat Keasaman (pH).....	19
2.5.6 Bobot Basah Tanaman.....	20
<b>3. METODE PENELITIAN</b> .....	<b>21</b>
3.1 Materi.....	21
3.2 Alat dan Bahan.....	21
3.3 Lokasi Pengambilan Sampel.....	21
3.4 Metode Penelitian.....	21
3.5 Tahapan Penelitian.....	23
3.6 Prosedur Pengukuran Parameter Kualitas Air.....	26
3.7 Analisis Data.....	30
<b>4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>33</b>
4.1 Karakteristik Limbah Cair Tapioka pada Awal Penelitian.....	33



4.2	Kondisi Eceng Gondok ( <i>Eichhornia crassipes</i> ) dan Kayu Apu ( <i>Pistia stratiotes</i> ) pada Awal dan Akhir Penelitian.....	33
4.3	Hasil Pengukuran Parameter Kualitas Air.....	35
4.3.1	BOD ( <i>Biological Oxygen Demand</i> ).....	35
4.3.2	COD ( <i>Chemical Oxygen Demand</i> ).....	39
4.3.3	TSS ( <i>Total Suspended Solid</i> ) .....	43
4.3.4	Sianida (CN).....	47
4.3.5	Derajat Keasaman (pH) .....	51
4.3.6	Bobot Basah Tanaman .....	54
4.4	Efektifitas Hasil Fitoremediasi oleh Eceng Gondok ( <i>Eichhornia crassipes</i> ) dan Kayu Apu ( <i>Pistia stratiotes</i> ).....	56
<b>5.</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>58</b>
5.1	Kesimpulan .....	58
5.2	Saran .....	58
	<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>60</b>
	<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>64</b>



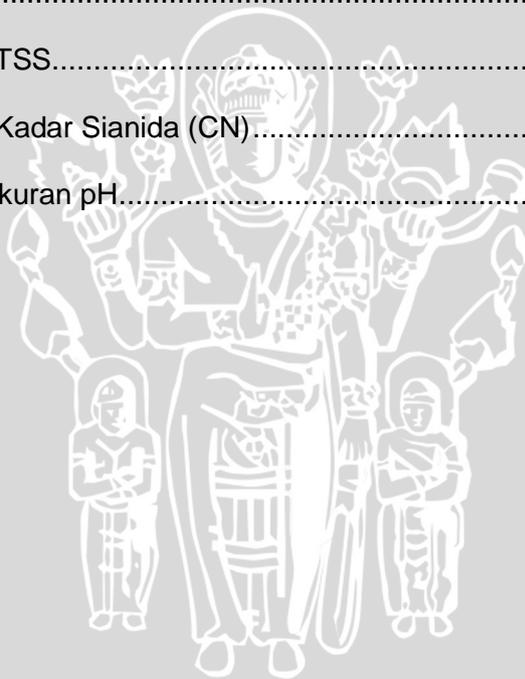
DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Sidik Ragam (ANOVA) RAL .....	31
2. Perubahan Kondisi Fisik Tanaman Eceng Gondok ( <i>Eichhornia crassipes</i> ) dan Kayu Apu ( <i>Pistia stratiotes</i> ) .....	34
3. Data Hasil Rerata dan Efisiensi Penurunan BOD .....	36
4. Sidik Ragam Nilai BOD.....	38
5. Data Hasil Rerata dan Efisiensi Penurunan COD .....	40
6. Sidik Ragam Nilai COD .....	41
7. Data Hasil Rerata dan Efisiensi Penurunan TSS .....	43
8. Sidik Ragam Nilai TSS .....	46
9. Data Hasil Rerata dan Efisiensi Penurunan Sianida (CN).....	47
10. Sidik Ragam Nilai Sianida (CN) .....	49
11. Data Hasil Rerata dan Efisiensi Kenaikan pH .....	51
12. Sidik Ragam Nilai pH .....	53
13. Data Hasil Pengukuran Bobot Basah Tanaman .....	55



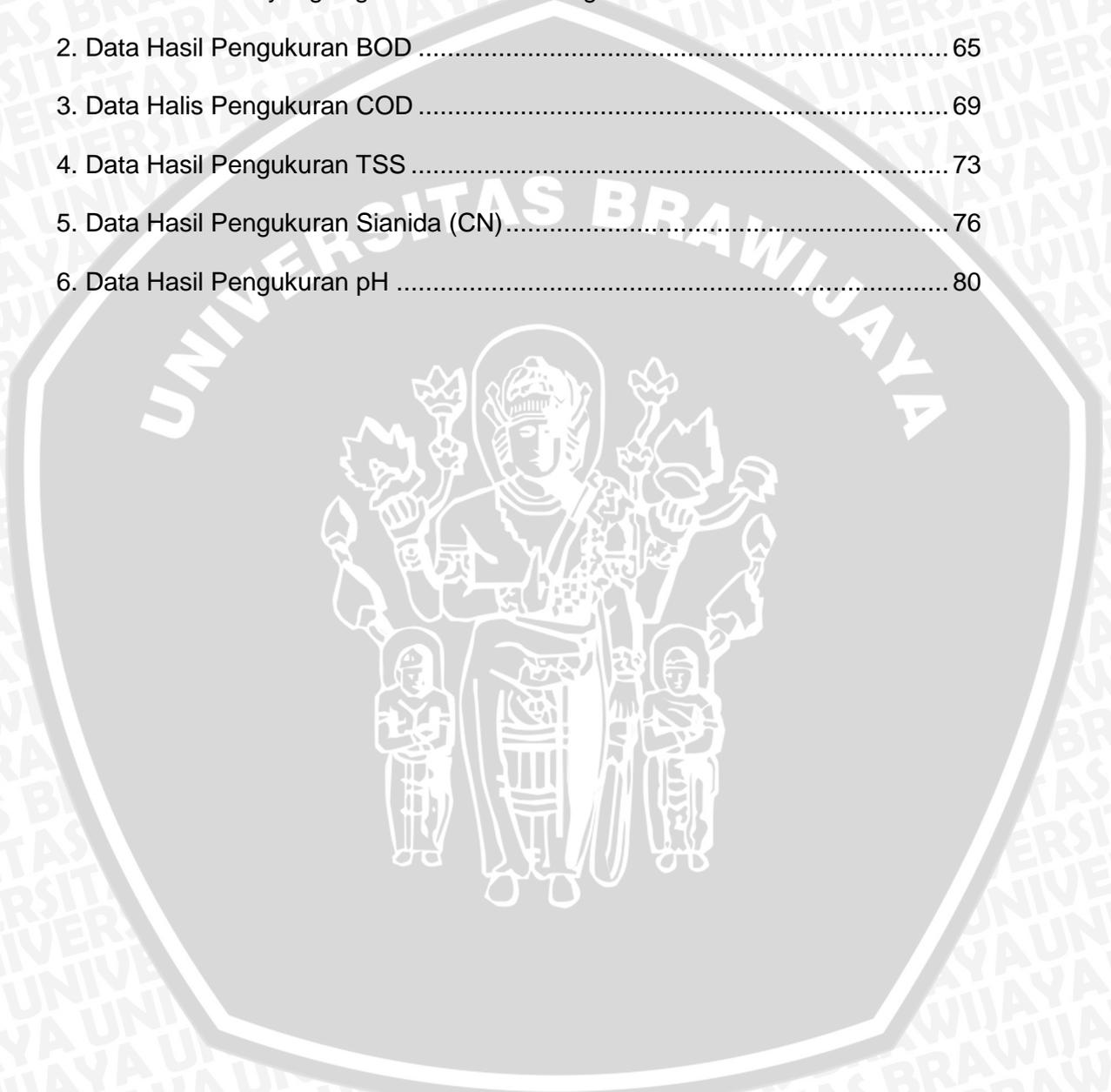
## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Bagan Alir Rumusan Masalah .....	4
2. Eceng gondok ( <i>Echhornia crassipes</i> ) .....	11
3. Kayu apu ( <i>Pistia stratiotes</i> ) .....	13
4. Denah Tata Letak Bak Penelitian .....	23
5. Bagan Tahapan Penelitian .....	26
6. Grafik Nilai BOD .....	37
7. Grafik Nilai COD .....	41
8. Grafik Penurunan TSS .....	45
9. Grafik Penurunan Kadar Sianida (CN) .....	48
10. Grafik Hasil Pengukuran pH .....	53



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Alat dan Bahan yang Digunakan dalam Pengukuran Parameter.....	64
2. Data Hasil Pengukuran BOD .....	65
3. Data Hasil Pengukuran COD .....	69
4. Data Hasil Pengukuran TSS .....	73
5. Data Hasil Pengukuran Sianida (CN).....	76
6. Data Hasil Pengukuran pH .....	80



## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pangan merupakan salah satu kebutuhan primer manusia untuk bertahan hidup, sehingga keberadaannya mutlak untuk dipenuhi. Bertambahnya jumlah penduduk khususnya di Indonesia, mendorong pula perkembangan industri pangan yang selanjutnya ikut berperan dalam pembangunan industri serta perekonomian nasional. Perkembangan industri pangan ini salah satunya ditandai dengan banyaknya jenis industri dengan bahan baku yang berasal dari sektor pertanian, contohnya yaitu industri tepung tapioka yang menggunakan bahan baku singkong. Tepung tapioka dibuat dengan mengekstraksi singkong segar sehingga didapatkan sari pati yang kemudian dikeringkan hingga menjadi tepung. Tepung tapioka ini banyak digunakan sebagai bahan baku berbagai produk olahan. Menurut Suprpti (2009), tepung tapioka dapat digunakan untuk pembuatan bahan makanan seperti kerupuk, kue kering, dan jajanan tradisional, selain itu dapat juga digunakan sebagai dekstrin, gula cair, lem, dan biji mutiara.

Perkembangan industri tak lepas dari masalah limbah. Menurut Jenie dan Rahayu (2007), limbah industri pangan dapat menimbulkan masalah dalam penanganannya karena mengandung banyak bahan organik seperti karbohidrat, protein, lemak, garam-garam mineral, dan juga sisa bahan kimia yang digunakan untuk proses pembersihan dan pengolahan. Limbah ini sebenarnya tidak secara langsung membahayakan manusia, tetapi kandungan bahan organiknya dapat menjadi sumber perkembangan mikroba.

Industri tapioka sendiri menghasilkan tiga jenis limbah, yaitu limbah padat, limbah gas dan limbah cair. Limbah padat yang berupa ampas dan kulit singkong masih dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak, limbah cair yang berasal dari pencucian singkong dan perendaman pati singkong akan dibuang, sedangkan

limbah gas berasal dari HCN dan bau busuk dari limbah cair yang tidak diolah. Tapioka yang diproduksi dalam skala pabrik biasanya telah memiliki suatu sistem pengolahan limbah sebelum dibuang ke perairan, namun untuk skala rumah tangga (*home industry*) umumnya tidak memiliki sistem pengolahan limbah tersebut, sehingga langsung dibuang begitu saja ke perairan. Limbah yang tidak diolah terlebih dahulu ini selanjutnya akan menyebabkan pencemaran di perairan tersebut.

Limbah industri tapioka kaya akan bahan organik, dimana dalam perairan bahan organik ini akan didekomposisi oleh mikroorganisme. Menurut Agarwal (2009), berjalannya dekomposisi bahan organik di perairan bergantung pada jumlah oksigen. Perairan dengan jumlah oksigen cukup maka dekomposisi dilakukan oleh organisme aerobik dan menghasilkan senyawa yang tidak berbahaya, namun saat oksigen tidak cukup maka yang bekerja adalah organisme anaerobik dan menghasilkan senyawa racun seperti nitrit dan senyawa sulfida seperti  $H_2S$ . Berdasarkan uji awal kandungan limbah cair tapioka, didapatkan kandungan BOD sebesar 2040 ppm, COD 2670 ppm, TSS 3862 ppm, Sianida (CN) 9,3 ppm, serta memiliki pH 4. Besarnya kandungan-kandungan tersebut dalam limbah cair tapioka akan berakibat pada berbagai masalah lingkungan, seperti rendahnya oksigen di perairan, kekeruhan, bau yang tidak sedap, serta kadar sianida yang tinggi dapat bersifat racun bagi organisme perairan.

Menurut Peraturan Pemerintah RI Nomor 82 Tahun 2001, pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia, sehingga mengakibatkan turunnya kualitas air hingga ke tingkat tertentu dan menyebabkan air tersebut tidak dapat dimanfaatkan sebagaimana mestinya. Upaya untuk menekan pencemaran ini yaitu dengan dilakukan pengolahan limbah sebelum dibuang ke

perairan, salah satunya yaitu dengan menggunakan fitoremediasi. Pengolahan limbah dengan metode ini dianggap lebih mudah dan murah dari pada metode fisika dan kimia, karena agen yang digunakan dapat memanfaatkan langsung sumber daya di alam. Salah satu agen fitoremediasi yang dapat digunakan yaitu tanaman air. Menurut Subroto (1996) dalam Hardyanti dan Rahayu (2007), fitoremediasi yaitu suatu upaya pemanfaatan tanaman untuk menyerap atau mengkontaminasi berbagai pencemaran di lingkungan.

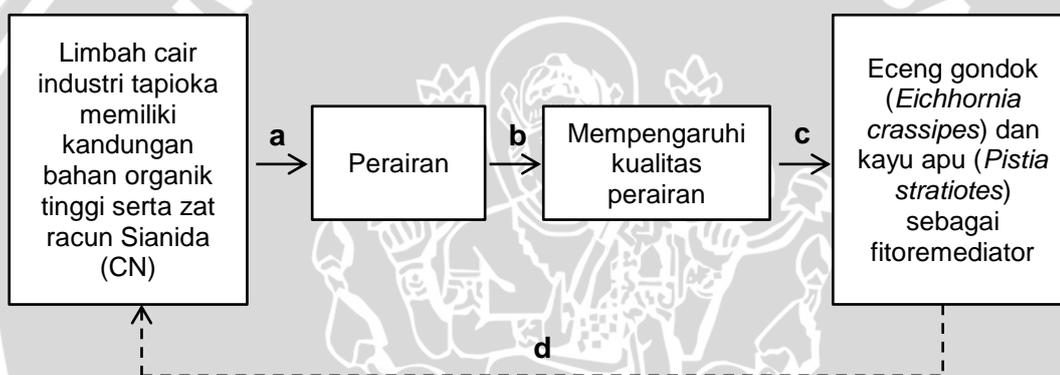
Tanaman air adalah tanaman yang sebagian atau seluruh daur hidupnya berada di air dan berperan sebagai produsen primer, selain itu tanaman air ini berperan dalam aerasi di perairan dengan melakukan fotosintesis, mengatur dan membersihkan air yang tercemar melalui proses sedimentasi serta penyerapan partikel dan mineral (Utomo *et al.*, 2001 dalam Burwani dan Subroto, 2011). Menurut Wolverton dan Mcknown (1975) dalam Hermawati *et al.* (2005), secara umum semua tanaman mempunyai kemampuan untuk menyerap dan mengakumulasi zat yang sangat dibutuhkan hingga zat yang sangat sedikit dibutuhkannya yang larut dalam air maupun tanah melalui pergerakan ion yang menembus membran sel. Salah satu tanaman air yang dapat digunakan sebagai fitoremediator yaitu eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*).

Penelitian sebelumnya oleh Fachrurozi *et al.* (2010), menyebutkan bahwa kayu apu (*Pistia stratiotes*) dapat meremediasi limbah cair tahu yang kaya akan bahan organik dengan menurunkan kadar BOD, COD, dan TSS. Menurut Hadiyanto dan Christwardana (2012), eceng gondok mampu menurunkan kontaminan bahan organik limbah cair jamu, dengan menurunkan kadar COD sebesar 72,5%, nitrogen 68,47%, dan fosfor hingga 43%, hal ini karena eceng gondok memiliki struktur tubuh yang mendukung dan mempengaruhi penyerapan bahan organik. Menurut Indah *et al.* (2014), eceng gondok dan kayu apu mampu

dengan efektif menurunkan bahan organik pada limbah cair tahu hingga 92,2% dan 84%. Menurut penelitian Momonto (2013), bahwa kayu apu mampu mengakumulasi atau menyerap Sianida (CN) ke dalam tubuhnya hingga 64% dari kadar awal pada medianya. Ashraf *et al.* (2013), menambahkan pula bahwa eceng gondok merupakan tanaman yang sangat penting dalam detoksifikasi sianida di perairan.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka didapatkan rumusan masalah pada penelitian ini yang dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Bagan Alir Rumusan Masalah

Keterangan:

—> : identifikasi masalah

- - -> : solusi

- a. Limbah cair industri tapioka merupakan salah satu limbah dengan bahan organik tinggi serta zat racun Sianida (CN), namun karena dianggap tidak memiliki nilai ekonomis lagi maka limbah ini hanya akan dibuang ke perairan dan tidak jarang tanpa melalui pengolahan terlebih dahulu.
- b. Limbah cair tapioka yang dibuang ke perairan tanpa melalui pengolahan terlebih dahulu tentu akan mempengaruhi kualitas suatu perairan. Jika dalam kadar yang tinggi, limbah ini dapat menurunkan kualitas perairan seperti

BOD, COD, TSS, dan pH, selain itu kandungan Sianida (CN) dalam limbah ini dapat meracuni biota yang hidup di perairan.

- c. Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*) merupakan salah satu tanaman air yang dapat menyerap zat pencemar di perairan atau disebut sebagai agen fitoremediasi.
- d. Kemampuan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*) sebagai fitoremediator dapat menjadi salah satu solusi pengolahan limbah cair tapioka yang memiliki kandungan bahan organik tinggi serta zat racun Sianida (CN).

### 1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui efektifitas fitoremediasi tanaman air eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*) pada air yang terpapar limbah cair tapioka.

### 1.4 Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian ini adalah:

- $H_0$ : tidak ada perbedaan kemampuan aktifitas fitoremediasi antara tanaman air eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*) pada air yang terpapar limbah cair tapioka
- $H_1$ : ada perbedaan kemampuan aktifitas fitoremediasi antara tanaman air eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*) pada air yang terpapar limbah cair tapioka

### 1.5 Kegunaan

Adapun kegunaan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Bagi pembaca diharapkan dapat memberikan informasi efektifitas tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*) sebagai agen fitoremediasi limbah cair industri tapioka.
- Bagi instansi pemerintah dapat dijadikan sebagai sumber informasi dan digunakan sebagai bahan penelitian lebih lanjut tentang penggunaan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*) sebagai agen fitoremediasi limbah hasil industri.

### 1.6 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari-Maret 2016 di Laboratorium Reproduksi Ikan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya, Malang sebagai tempat penempatan bak penelitian eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*), pengukuran bobot basah, dan pengukuran pH, serta Laboratorium Lingkungan Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya, Malang sebagai tempat pengukuran parameter BOD, COD, TSS, dan Sianida (CN).

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Limbah

Menurut Abdurahman dan Aprilia (2008), secara umum limbah merupakan hasil buangan yang tidak memiliki nilai ekonomis dari suatu proses produksi, baik domestik maupun industri yang dapat menurunkan kualitas suatu lingkungan sehingga pada saat-saat tertentu keberadaannya tidak diinginkan. Menurut Wardhana (1995) dalam Maizar (2011), bahan buangan tersebut dapat berasal dari industri, pemukiman, dan pertanian, dimana dapat dikelompokkan menjadi enam, yaitu buangan padat, cairan berminyak, organik dan bahan makanan, panas, anorganik, serta zat kimia.

Menurut Kharisma (2015), berdasarkan komponen penyusunnya limbah dibedakan menjadi dua, yaitu limbah organik dan limbah anorganik. Limbah organik adalah limbah yang berasal dari bagian organisme yang mudah terurai, sedangkan limbah anorganik merupakan limbah yang umumnya sulit dan atau tidak bisa untuk diuraikan oleh mikroorganisme sehingga membutuhkan waktu yang sangat lama seperti plastik dan kaleng.

Menurut Setiawan (2014), berdasarkan wujudnya limbah dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu limbah padat, limbah cair, dan limbah gas. Limbah padat yaitu limbah yang berbentuk padatan, seperti kertas, plastik, kaleng, serbuk, dan lain-lain. Limbah gas adalah limbah yang hanya mampu dirasakan oleh indera penciuman dan memanfaatkan udara sebagai medianya, biasanya limbah gas mengandung partikel kecil yang tersuspensi dalam gas tersebut, contohnya yaitu asap. Limbah cair yaitu limbah yang berwujud cair atau dapat berupa air beserta bahan-bahan buangan lain yang tercampur maupun terlarut dalam air tersebut. Menurut Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 1995, limbah cair merupakan limbah yang memiliki wujud cair, dihasilkan oleh kegiatan industri

yang dibuang ke lingkungan dan diduga dapat menurunkan kualitas suatu lingkungan.

Polutan dengan bahan organik tinggi menimbulkan efek yang sangat kompleks, karena tidak hanya menyangkut proses deoksigenasi di perairan, tetapi ditambah juga dengan adanya padatan tersuspensi dari bahan organik itu sendiri, serta zat racun seperti ammonia, sulfida, dan juga sianida (Hynes, 1963). Pengolahan limbah dimaksudkan untuk menurunkan kadar zat pencemar yang terdapat pada limbah tersebut, sehingga nantinya aman untuk dibuang ke lingkungan.

## 2.2 Limbah Cair Tapioka

Menurut Suprapti (2009), limbah dari industri pengolahan tapioka umumnya terdiri atas tiga jenis, yaitu limbah gas, limbah padat, dan limbah cair. Limbah gas ini berbau busuk berasal dari HCN dan muncul setelah 6 jam pertama limbah dihasilkan, limbah padat berasal dari kulit dan ampas singkong, sedangkan limbah cair berasal dari air bekas cucian dan rendaman singkong atau pati singkong. Volume limbah cair ini adalah yang paling banyak dibandingkan dengan limbah lain, yaitu dapat mencapai 12-15 kali volume singkong yang diolah. Limbah cair yang paling berbahaya yaitu berasal dari proses pengendapan pertama, dimana lebih kental dan kandungan HCN nya lebih tinggi. Untuk mengurangi zat berbahaya pada limbah tersebut dapat dibantu dengan menggunakan tanaman seperti eceng gondok dan kayu apu yang dapat memfilter air dari kotoran dan menetralsir zat yang bersifat racun.

Menurut Prayitno (2008), warna dari limbah cair tapioka yang berasal dari pencucian singkong, biasanya memiliki warna putih kecoklatan dengan sejumlah suspensi dari kotoran pada kulit singkong, sedangkan air dari perendaman pati singkong berwarna putih kekuningan dan berbau segar khas singkong. Air

limbah ini jika dibiarkan lama-kelamaan akan menimbulkan bau busuk akibat dekomposisi bahan organiknya yang tinggi. Felani dan Hamzah (2007), menambahkan bahwa karakteristik kualitas air dari limbah industri tapioka yaitu BOD (*Biological Oxygen Demand*) sebesar 2121,1 ppm, COD (*Chemical Oxygen Demand*) sebesar 5709 ppm, TSS (*Total Suspended Solid*) sebesar 362,8 ppm, dan Sianida (CN) sebesar 0,92 ppm, sedangkan kadar maksimum menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomot 72 Tahun 2013 yaitu BOD sebesar 150 ppm, COD sebesar 300 ppm, TSS sebesar 100 ppm, Sianida (CN) sebesar 0,2 ppm, dan pH 6-9.

### 2.3 Tanaman Air

Tanaman air adalah tanaman yang memiliki habitat yaitu di air. Syarat mutlak pertumbuhan tanaman ini yaitu lingkungan yang memiliki kelembapan tinggi (Lestari dan Kencana, 2015). Dulu tidak banyak yang berpikir bahwa tanaman air yang banyak tumbuh di perairan seperti rawa, sungai, maupun danau mempunyai fungsi sebagai pembersih air yang tercemar polutan. Perhatian pada potensi tanaman air untuk menyerap limbah mulai banyak diberikan oleh para peneliti pada tahun 1970-an, baik untuk menyerap limbah industri maupun limbah rumah tangga (Tjokrokusumo dan Sahwan, 2003).

Menurut Gopal (1987) dalam Suardana (2001), saat ini tanaman air mulai banyak digunakan untuk memperbaiki mutu air limbah karena kemampuannya dalam menyerap kandungan zat dalam air langsung melalui akar atau keseluruhan permukaan tanaman melebihi keperluan untuk pertumbuhannya. Menurut Indah *et al.* (2014), tanaman air berperan besar sebagai penyerap partikel dan mineral di perairan, kemudian sebagai aerator melalui proses fotosintesis, mengatur aliran air, serta membersihkan air yang tercemar.

Menurut Dhir (2013), tanaman memiliki mekanisme yang sangat spesifik dan efisien untuk memperoleh mikronutrien penting dari lingkungan. Penyerapan dan penghilangan kontaminan bervariasi untuk setiap jenis tanaman air (*free-floating, submerged, emerged*). Cara penyerapan oleh tanaman juga berbeda untuk kontaminan organik dan anorganik. Penyerapan senyawa anorganik (bentuk ionik atau kompleks) melalui mekanisme penyerapan aktif atau pasif di dalam tanaman, sedangkan penyerapan senyawa organik umumnya diatur oleh hidrofobik dan polaritas. Penyerapan polutan oleh akar tanaman berbeda pula untuk senyawa organik dan anorganik. Serapan kontaminan anorganik difasilitasi oleh membran transporter, sementara penyerapan kontaminan organik didorong oleh difusi sederhana berdasarkan sifat kimia mereka. Kontaminan yang telah diasimilasi dan diserap, kemudian diubah dan didetoksifikasi oleh berbagai reaksi biokimia di dalam sistem tanaman dengan menggunakan mekanisme enzimatik.

Menurut Dhir (2013), tanaman air dapat dikelompokkan berdasarkan kebiasaan tumbuhnya, yaitu *free-floating plant* atau tanaman mengambang, *submerged plant*, dan *emergent plant*. *Floating plant* atau tanaman mengambang merupakan tanaman yang memiliki daun mengapung pada permukaan air dengan akarnya di bawah daun dan menggantung bebas di dalam air namun tidak sampai ke dasar substrat. Beberapa contoh dari tanaman ini yaitu dari genus *Lemna*, *Eichhornia*, *Pistia*, *Salvinia*, *Azolla* and *Spirodela*. Tanaman ini memiliki potensi untuk mendegradasi kontaminan dari suatu limbah cair. Prasad *et al.* (2006), menambahkan bahwa *free-floating plant* dapat digunakan dalam menghilangkan polutan di perairan karena mereka tidak kontak dengan sedimen. Akar dari tanaman ini memiliki akses penuh terhadap air yang tercemar, kemudian polutan yang telah terakumulasi di daun dapat menguap bersama air ke udara bebas.

### 2.3.1 Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)

Menurut Moenandar (1988), klasifikasi eceng gondok yaitu sebagai berikut:

- Kingdom : Plantae  
Divisi : Embryophytasi phonogama  
Subdivisi : Angiospermae  
Klas : Monocotyledone  
Ordo : Farinosae  
Famili : Fontederiaceae  
Genus : Eichhornia  
Spesies : *Eichhornia crassipes* Mart. Solms.



(Sumber: Ratnani *et al.*, 2011)

**Gambar 2.** Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*)

Menurut Ratnani *et al.* (2011), eceng gondok merupakan tanaman air yang memiliki habitat di daerah tropis dan subtropis. Tempat tumbuh ideal untuk eceng gondok ini adalah perairan yang dangkal dan berair keruh, dengan suhu berkisar antara 28-30 °C dan rentan pH yang luas yaitu berkisar antara 4-12. Sebaliknya, di perairan yang berada di dataran tinggi yang dalam dan jernih, eceng gondok ini biasanya akan sulit tumbuh. Daun eceng gondok berbentuk bulat telur dengan ujung tumpul dan hampir bulat, tulang daun membengkok dengan ukuran 7-25

cm, serta pada bagian permukaan atas daun terdapat banyak stomata. Eceng gondok memiliki akar serabut menjuntai ke dalam air yang dapat mengikat lumpur di antara bulu-bulu akar. Tanaman ini adalah salah satu gulma perairan yang dapat menyesuaikan diri terhadap perubahan lingkungan serta mampu berkembang biak secara cepat. Terkadang pertumbuhan eceng gondok yang cepat ini dapat menutupi permukaan air sehingga berdampak merugikan, namun di sisi lain tanaman ini juga memiliki manfaat lain yaitu dapat menyerap bahan pencemar berupa zat organik, anorganik, maupun logam berat.

Menurut Suardana (2001), eceng gondok memiliki banyak nilai manfaat jika dikelola dengan baik. Di Cina eceng gondok digunakan sebagai pakan hewan, di India digunakan sebagai bahan dasar kertas, serta di Indonesia sendiri telah banyak dimanfaatkan untuk kerajinan. Pemanfaatan eceng gondok untuk pengolahan limbah pun juga telah banyak dilakukan, menurut Heider *et al.* (1984) dalam Tjokrokusumo dan Sahwan (2003), berbagai jenis anion, ion logam, dan senyawa organik di suatu larutan mampu diserap oleh tanaman eceng gondok. Menurut Penfound dan Earle (1948) dalam Rahmaningsih (2006), eceng gondok memiliki lubang stomata cukup besar, yaitu dua kali lebih besar dari kebanyakan tumbuhan lain. Hasil penelitian Ratnani *et al.* (2011), membuktikan bahwa eceng gondok dapat memperbaiki kualitas air limbah cair tahu, seperti COD, pH, warna air, serta bau, kemudian hasil penelitian oleh Rukmi *et al.* (2013), juga membuktikan bahwa eceng gondok mampu menurunkan kadar detergen, BOD, dan COD pada air limbah *laundry*.

### 2.3.2 Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)

Menurut Cook *et al.* (1974), kayu apu merupakan tanaman air mengapung di permukaan perairan. Kayu apu dapat tumbuh di banyak jenis habitat perairan, bahkan pada beberapa wilayah tanaman ini adalah salah satu gulma dan

menjadi masalah serius. Akar kayu apu berjumlah banyak dan mengapung dibawah permukaan air. Daun kayu apu berada di atas permukaan air, memiliki panjang 13-15 cm, berbentuk kebulatan dengan tulang daun paralel dari dasar daun hingga ujung atau permukaan atas daun. Taksonomi kayu apu yaitu:

Kingdom : Plantae  
Divisi : Spermatophyta  
Klas : Liliopsida  
Ordo : Arales  
Famili : Araceae  
Genus : Pistia  
Spesies : *Pistia stratiotes* L.



(Sumber: Nash *et al.*,2003)

**Gambar 3.** Kayu apu (*Pistia stratiotes*)

Kayu apu memiliki beragam manfaat di samping juga sebagai gulma. Tanaman ini dapat dijadikan sebagai pakan ternak, obat disentri, haematurie, antiseptik, insektisida, dan obat asma, selain itu kemampuannya untuk memerangkap lumpur melalui akarnya dapat dimanfaatkan pula untuk pembersih air dan menyerap unsur toksik di perairan. Kayu apu memiliki keunggulan seperti

daya perkecambahannya yang tinggi, pertumbuhan cepat, tingkat absorpsi unsur hara dan air yang besar, sangat mudah ditemukan, dan daya adaptasinya pun sangat tinggi. Tanaman ini berpotensi untuk menurunkan kadar pencemar air limbah yang memiliki kadar organik tinggi (Cook, 1996; Rahmatullah, 2008; Damayanti, 2003 *dalam* Fachrurozi *et al.*, 2010). Hasil penelitian Fachrurozi *et al.* (2010), membuktikan bahwa kayu apu dapat digunakan untuk menurunkan kadar BOD, COD, dan TSS pada limbah cair tahu. Menurut penelitian Momonto (2013), bahwa kayu apu seberat 200 gram mampu mengakumulasi atau menyerap 3,198 ppm Sianida (CN) ke dalam tubuhnya atau 64% dari kadar awal sianida pada media tanam.

#### 2.4 Fitoremediasi

Menurut EPA (2000) *dalam* Indah *et al.* (2014), fitoremediasi yaitu suatu teknologi yang memanfaatkan tanaman untuk menurunkan, mengekstrak, atau menghilangkan suatu bahan atau kontaminan di tanah maupun perairan. Yapaga *et al.* (2013), menambahkan bahwa tanaman air berpotensi sebagai bahan penyerap polutan yang relatif murah pada lingkungan akuatik, dimana metode fisika dan kimia relatif membutuhkan dana yang besar dibanding dengan menggunakan tanaman air. Penyerapan polutan oleh tanaman adalah salah satu jalan keluar untuk mengurangi kontaminasi di perairan.

Tanaman air dapat menyerap senyawa terlarut ke dalam badan tanaman (Lusianty dan Soerjani, 1974 *dalam* Hermawati *et al.*, 2005). Kolam yang menggunakan tanaman air untuk pengolahan limbah cair, terjadi proses penyaringan dan penyerapan oleh akar maupun batang, proses pertukaran dan penyerapan ion, serta tanaman air berperan menstabilkan kondisi air dari pengaruh eksternal (Reed, 2005 *dalam* Yusuf, 2008). Tanaman air yang dapat

dijadikan sebagai fitoremediator diantaranya yaitu kayu apu, genjer, kiambang, kangkung air, *Azolla pinnata*, serta eceng gondok (Rukmi *et al.*, 2013).

Menurut Dhir (2013), fitoremediasi dapat mengatasi kontaminan di lingkungan, dengan mekanisme penyerapan meliputi proses berikut.

a. *Phytoextraction*

Akar tanaman menyerap dan mentranslokasi kontaminan ke bagian atas tanaman, seperti cabang dan daun.

b. *Phytostabilization*

Kontaminan akan dimobilisasi atau dipindahkan bersama mobilisasi air ke dalam jaringan-jaringan tanaman, dengan terlebih dahulu terjadi penurunan kelarutan kontaminan.

c. *Rhizofiltration (Phytofiltration)*

Pemecahan kontaminan di air oleh akar tanaman

d. *Phytovolatilization*

Tanaman melalui daun akan menguapkan kontaminan bersama dengan air ke atmosfer.

e. *Phytodegradation (Phyotrasformation)*

Polutan yang telah diserap kemudian akan didegradasi melalui metabolisme tanaman secara enzimatik.

## 2.5 Parameter Penelitian

Parameter yang diukur dalam penelitian ini yaitu BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), TSS (*Total Suspended Solid*), Sianida (CN), pH, dan bobot basah tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*).

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

Menurut Hariyadi *et al.* (1992), BOD (*Biological Oxygen Demand*) merupakan banyaknya oksigen yang dibutuhkan agen biologi, yaitu mikroorganisme dalam proses dekomposisi bahan organik, sehingga BOD ini menggambarkan suatu proses oksidasi bahan organik yang terjadi di perairan dengan pelaku mikroorganisme. Sebenarnya BOD lebih tepat disebut sebagai *Biochemical Oxygen Demand*, karena proses yang berkaitan dengan BOD tidak hanya melibatkan mikroorganisme (proses biologi), tetapi juga melibatkan proses penguraian secara kimia. Proses dekomposisi bahan organik berlangsung secara bertahap, tergantung pada kadar bahan organik tersebut, oleh karena itu membutuhkan waktu kurang lebih 20 hari untuk mencapai penguraian hingga  $\pm$  96%, namun untuk skala pengamatann cukup menggunakan 5 hari saja dengan perkiraan dekomposisi telah berjalan 75%.

Menurut Maizar (2011), jika pada suatu perairan nilai BOD semakin tinggi, maka telah terindikasi bahwa perairan tersebut telah tercemar, sedangkan menurut Keputusan Kementerian Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 1995, baku mutu Nilai BOD untuk limbah cair industri golongan I yaitu 50 mg/l, dan untuk golongan II yaitu 150 mg/l.

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

Menurut Boyd (1988) dalam Effendi (2003), COD (*Chemical Oxygen Demand*) atau kebutuhan oksigen kimiawi adalah jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologis (*biodegradable*) maupun yang sulit didegradasi secara biologis (*non biodegradable*) menjadi karbondioksida dan air. Pada prosedur pengukuran COD, oksigen yang dikonsumsi akan setara dengan jumlah dikromat yang diperlukan untuk mengoksidasi air sample. Effendi (2003), juga

menambahkan bahwa oksidator kuat seperti kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) dalam suasana asam, dapat membantu mengoksidasi hampir seluruh bahan organik menjadi karbondioksida dan air.

Menurut Sincero dan Sincero (2003), hasil pengukuran COD biasanya akan lebih besar dibanding dengan nilai pengukuran BOD, hal ini dikarenakan lebih banyak bahan yang dapat dioksidasi oleh bahan kimia dibandingkan oleh mikroorganisme. Menurut Lumaela *et al.* (2013), limbah rumah tangga dan industri merupakan sumber utama limbah organik dan merupakan penyebab utama tingginya konsentrasi COD. Keberadaan COD di lingkungan akan memberikan dampak pada manusia dan lingkungan, diantaranya adalah banyaknya biota air yang mati karena konsentrasi oksigen terlarut dalam air terlalu sedikit. Ratnani *et al.* (2011), menambahkan jika nilai COD tinggi atau lebih dari 300 mg/l, maka perairan tersebut dapat dikatakan telah tercemar.

### **2.5.3 TSS (*Total Suspended Solid*)**

TSS (*Total Suspended Solid*) merupakan banyaknya zat tersuspensi dan tidak larut dalam air. Padatan tersuspensi sendiri merupakan partikel-partikel yang memiliki ukuran lebih kecil dari pada sedimen, misalnya bahan organik tertentu, sel-sel mikro (plankton), tanah liat, dan lain-lain. Padatan tersuspensi ini melayang dalam air dan mengurangi penetrasi cahaya matahari yang masuk ke badan perairan, sehingga mempengaruhi proses fotosintesis dan produksi Oksigen (Fardiaz, 2000 dalam Fachrurozi, 2010). Padatan tersuspensi total adalah bahan-bahan tersuspensi yang memiliki ukuran  $>1 \mu m$  yang tertahan oleh saringan millipore dengan diameter pori  $0,45 \mu m$  (Effendi, 2003).

Padatan tersuspensi pada limbah cair industri dapat berasal dari kegiatan pencucian yang melepaskan sejumlah bahan dari bahan baku. Besarnya nilai TSS akan mempengaruhi mutu badan air penerima limbah, yaitu dapat

menyebabkan penurunan kualitas air, menimbulkan berbagai reaksi, mengganggu estetika, serta dapat menambah sedimentasi (Sutrisno dan Suciastuti, 1996, dalam Fachrurozi, 2010). Faktor penyebab TSS antara lain adalah aliran permukaan yang tinggi, erosi tanah, air limbah, dan pembusukan tanaman serta hewan (Murphy, 2005 dalam Felani dan Hamzah, 2007).

#### 2.5.4 Sianida (CN)

Sianida merupakan senyawa organik yang tersusun atas kelompok siano ( $C\equiv N$ ) dalam strukturnya (Ashraf *et al.*, 2010). Menurut Effendi (2003), sianida tersebar luas di perairan dan berada dalam bentuk ion sianida ( $CN^-$ ), hidrogen sianida (HCN), dan metalosianida. Keberadaan sianida ini sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya yaitu pH, suhu, oksigen terlarut, salinitas, dan keberadaan ion lain. Bahan-bahan tersuspensi dan sedimen dasar mudah menyerap sianida dalam bentuk ion, selain itu sianida bersifat sangat reaktif. Sianida bebas menunjukkan kandungan HCN dan  $CN^-$  di perairan tersebut.

Menurut Dzombak *et al.* (2006), lebih dari 2650 spesies tanaman menghasilkan sianogen glikosida sebagai bagian dari mekanisme pertahanan alaminya, termasuk singkong. Proses pengolahan singkong untuk dikonsumsi, seperti pengupasan dan penggilingan dapat memicu pembebasan HCN. Sianogen glikosida ini akan terhidrolisis dan membebaskan HCN ketika terjadi kerusakan atau stres dalam jaringan tanaman. Bentuk sianida yang paling berbahaya adalah sianida bebas yaitu HCN dan  $CN^-$ . Kandungan sianida pada singkong dapat mencapai 530 mg/kg singkong, sehingga berpotensi berdampak racun bagi manusia.

Sianida dapat mengakibatkan dampak negatif terhadap makhluk hidup, yaitu dapat mengganggu fungsi hati, pernapasan, dan kerusakan tulang (Moore, 1991 dalam Effendi, 2003). Gejala keracunan sianida yaitu dimulai saat sianida

yang dilepas dari dalam lambung, sebagai hasil hidrolisis glikosida sianogen asal tanaman yang dikonsumsi, akan diserap dengan cepat ke dalam aliran darah. Selanjutnya akan terjadi oksigenasi (level oksigen tinggi dalam darah) karena sianida bereaksi dengan *ferric (trivalent) iron* dari *cytochrome oxidase* dan membentuk *cyanide cytochrome* yang tinggi. Sementara itu, hemoglobin tidak mampu membebaskan oksigen (sistem transportasi elektron) sehingga warna darah menjadi merah terang, sebagai ciri spesifik keracunan sianida (Osweiler *et al.* 1976 dalam Yuningsih, 2012). Menurut Peraturan Gubernur Jatim Nomor 72 Tahun 2013, baku mutu kandungan Sianida (CN) dalam limbah cair industri tapioka yaitu tidak boleh >0,5 mg/l.

### 2.5.5 Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman lebih dikenal dengan istilah pH. pH (singkatan dari *puissance negatif de H*), yaitu logaritma dari kepekatan ion-ion H (Hidrogen) yang terlepas dalam suatu cairan. Derajat keasaman atau pH air menunjukkan aktivitas ion hidrogen dalam larutan tersebut dan dinyatakan sebagai konsentrasi ion hidrogen (dalam mol per liter) pada suhu tertentu atau dapat ditulis:  $\text{pH} = -\log (\text{H}^+)$ . Karena nilai pH didefinisikan sebagai logaritma negatif konsentrasi ion  $\text{H}^+$ , maka yang harus diperhitungkan dalam menentukan rata-rata nilai pH rendah bersamaan dengan rendahnya kandungan mineral yang ada dan sebaliknya. Dimana mineral tersebut digunakan sebagai nutrisi di dalam siklus produksi perairan dan pada umumnya perairan yang alkali adalah lebih produktif daripada perairan yang asam (Kordi dan Tancung, 2010).

Sebagian besar biota akuatik sensitif terhadap perubahan pH dan menyukai nilai pH sekitar 7–8,5. Nilai pH sangat mempengaruhi proses biokimiawi perairan, misalnya proses nitrifikasi akan berakhir jika pH rendah (Kordi, 2014). Aktifitas mikroorganisme dalam penguraian bahan organik limbah

juga berhubungan dengan aktifitas fotosintesis yang mengambil  $\text{CO}_2$  terlarut dan berubah menjadi bentuk  $\text{H}_2\text{CO}_3$  (Axler *et al.*, 2004 dalam Felani dan Hamzah, 2007).

### 2.5.6 Bobot Basah Tanaman

Bobot basah tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*) diukur untuk mengetahui perbedaan bobot tanaman sebelum dan sesudah ditanam pada air yang terpapar limbah cair tapioka. Menurut Sumarsono (2007) dalam Dermawan *et al.* (2013), berat tanaman dapat mencerminkan bertambahnya pula protoplasma akibat pertambahan jumlah dan ukuran sel. Pertumbuhan protoplasma berlangsung melalui metabolisme dimana air, karbondioksida, dan garam-garam anorganik diubah menjadi cadangan makanan dengan proses fotosintesis.

Menurut Ahmad *et al.* (2012), biomassa menandakan pertambahan bobot organ karena pertambahan berat organ atau adanya pembentukan organ baru. Bertambahnya bobot basah juga berarti bertambahnya kandungan air pada jaringan tanaman, karena 90% jaringan berisi air untuk menjaga tekanan turgor. Pratiwi (2010), menambahkan bahwa kandungan unsur hara pada limbah cair dari hasil penguraian bahan organik oleh mikroorganisme dapat diserap oleh tanaman dan digunakannya untuk pembentukan jaringan baru.

### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Materi

Materi dalam penelitian ini adalah eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), kayu apu (*Pistia stratiotes*), dan limbah cair tapioka. Parameter yang diukur pada penelitian ini yaitu perubahan kandungan BOD, COD, TSS, Sianida (CN), pH dan bobot basah tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan atau kayu apu (*Pistia stratiotes*) pada air yang terpapar limbah cair tapioka.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan untuk pengukuran parameter dalam penelitian ini dapat dilihat pada Lampiran 1.

#### 3.3 Lokasi Pengambilan Sampel

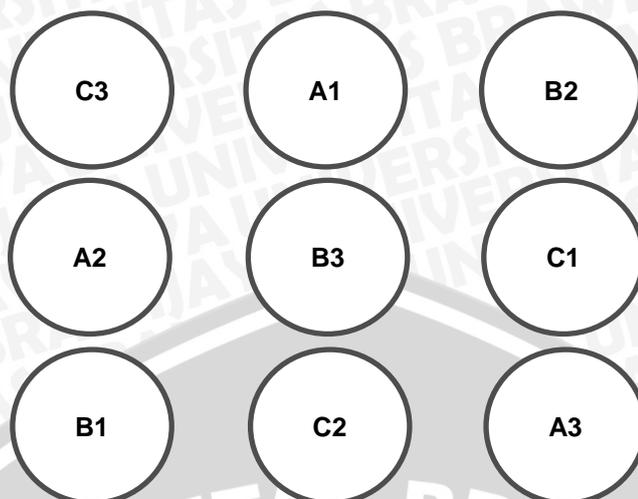
Sampel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu limbah cair tapioka yang diambil dari industri tapioca skala rumah tangga (*home industry*) yang berlokasi di desa Pogalan, Kecamatan Pogalan, Kabupaten Trenggalek. Pengambilan tanaman air eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) yaitu di Sumber Mina Lestari, Kecamatan Dau, Kabupaten Malang, sedangkan pengambilan kayu apu (*Pistia stratiotes*) dilakukan di area persawahan daerah Kecamatan Dau, Kabupaten Malang.

#### 3.4 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Penelitian dengan metode eksperimen adalah penelitian yang dilakukan dengan mengadakan manipulasi terhadap objek penelitian serta adanya kontrol (Nazir, 2003). Teknik pengambilan data dalam penelitian ini dilakukan dengan cara deskriptif yaitu dengan mengadakan kegiatan pengumpulan, analisis dan

interpretasi data yang bertujuan untuk membuat deskripsi mengenai keadaan yang terjadi pada saat penelitian (Suryabrata, 1987).

Rancangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL), dimana rancangan ini merupakan rancangan yang paling sederhana dari beberapa rancangan baku lainnya. Rancangan ini digunakan untuk mempelajari pengaruh beberapa perlakuan (t) dengan sejumlah ulangan (r) untuk menjadi suatu satuan percobaan (rt) (Asja, 2013). RAL pada penelitian ini menggunakan 2 perlakuan yang berbeda yaitu jenis tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*), serta terdapat bak kontrol yang berisi air limbah cair tapioka dengan konsentrasi yang telah ditentukan tanpa diberi tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) maupun kayu apu (*Pistia stratiotes*), hal ini bertujuan untuk membandingkan kondisi air yang terpapar limbah cair tapioka antara yang diberi tanaman air dan tidak. Masing-masing perlakuan tersebut terdapat pengulangan sebanyak tiga kali dan mendapat pengaruh waktu dalam proses fitoremediasinya. Penelitian ini dilakukan selama 8 hari dengan menggunakan konsentrasi air limbah tapioka sebanyak 25% mengacu pada penelitian sebelumnya oleh Felani dan Hamzah (2007), bahwa pertumbuhan eceng gondok yang ditanam pada limbah cair tapioka dengan konsentrasi 25%, akan menurun setelah hari ke-8. Pengukuran parameter BOD, COD, TSS, Sianida (CN), dan pH dilakukan setiap 2 hari sekali, hal ini karena menurut Salisbury dan Ross (1992) dalam Purnamasari (2014), pertumbuhan maksimum tumbuhan terjadi setiap 2 hari, sehingga dengan pengambilan sampel setiap 2 hari sekali dapat digunakan untuk mengetahui kandungan air yang terpapar limbah cair tapioka setelah diserap oleh tanaman secara lebih maksimal. Tata letak bak penelitian dilakukan secara acak. Adapun denah tata letak bak penelitian disajikan pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Denah Tata Letak Bak Penelitian

Keterangan:

- A 1, 2, 3 : bak kontrol tanpa perlakuan tanaman  
 B 1, 2, 3 : bak perlakuan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*)  
 C 1, 2, 3 : bak perlakuan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*)

### 3.5 Tahapan Penelitian

#### a. Persiapan Penelitian

##### – Penentuan Konsentrasi Limbah dan Waktu Penelitian

Berdasarkan penelitian terdahulu oleh Felani dan Hamzah (2007), bahwa pertumbuhan eceng gondok yang ditanam pada limbah cair tapioka dengan konsentrasi 25%, akan menurun setelah hari ke-8, sehingga konsentrasi limbah cair tapioka yang akan dipaparkan yaitu sebesar 25% dengan waktu penelitian selama 8 hari. Pengukuran parameter BOD, COD, TSS, dan Sianida (CN) dilakukan setiap 2 hari sekali, mengacu pada Salisbury dan Ross (1992) dalam Purnamasari (2014), bahwa pertumbuhan maksimum tumbuhan terjadi setiap 2 hari, sehingga dengan pengambilan sampel setiap 2 hari sekali dapat digunakan untuk mengetahui kandungan air yang terpapar limbah cair tapioka setelah diserap oleh tanaman secara lebih maksimal.

- **Persiapan Bak Penelitian**

Disiapkan 9 bak berukuran 20 liter, dimana terdiri dari 3 bak eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), 3 bak kayu apu (*Pistia stratiotes*), dan 3 bak kontrol. Bak kontrol ini hanya berisi limbah cair tapioka konsentrasi 25% tanpa diberi tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) maupun kayu apu (*Pistia stratiotes*), hal ini bertujuan untuk membandingkan kondisi media limbah cair tapioka antara yang diberi tanaman air dan tidak. Air limbah akan diencerkan dengan air dengan konsentrasi limbah 25% hingga mencapai 10 liter (Purnamasari, 2014), namun untuk mengantisipasi banyaknya air sampel yang nantinya digunakan untuk pengukuran parameter, maka air yang digunakan yaitu 15 liter. Volume total air yang terpapar limbah cair tapioka yang dibutuhkan yaitu 135 liter untuk 9 bak penelitian tersebut.

- **Persiapan Limbah Cair Tapioka**

Limbah cair tapioka yang akan digunakan dalam penelitian pertama diambil dengan menggunakan jerigen dari industri rumah tangga (*home industry*) tapioka. Limbah yang digunakan yaitu limbah yang masih segar dan tidak berbau busuk. Jerigen yang berisi limbah kemudian dimasukkan ke dalam *cool box* yang berisi es, untuk menjaga limbah tidak rusak dan busuk.

- **Penyortiran Tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*)**

Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*) diambil dari tempat populasinya, kemudian dicuci bersih serta dipilih tanaman yang memiliki ukuran yang sama dan memiliki kondisi fisik yang bagus.

- **Aklimatisasi Tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*)**

Tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*) yang diperoleh kemudian diaklimatisasi menggunakan air bersih selama 5 hari (Purnamasari, 2014), hal ini bertujuan untuk membersihkan tanaman sehingga tidak ada lagi organisme maupun hama yang menempel pada tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*) tersebut, selain itu agar tanaman dapat beradaptasi dengan lingkungan yang baru.

- **Memasukkan Tanaman Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Kayu apu (*Pistia stratiotes*) ke Dalam Bak Penelitian**

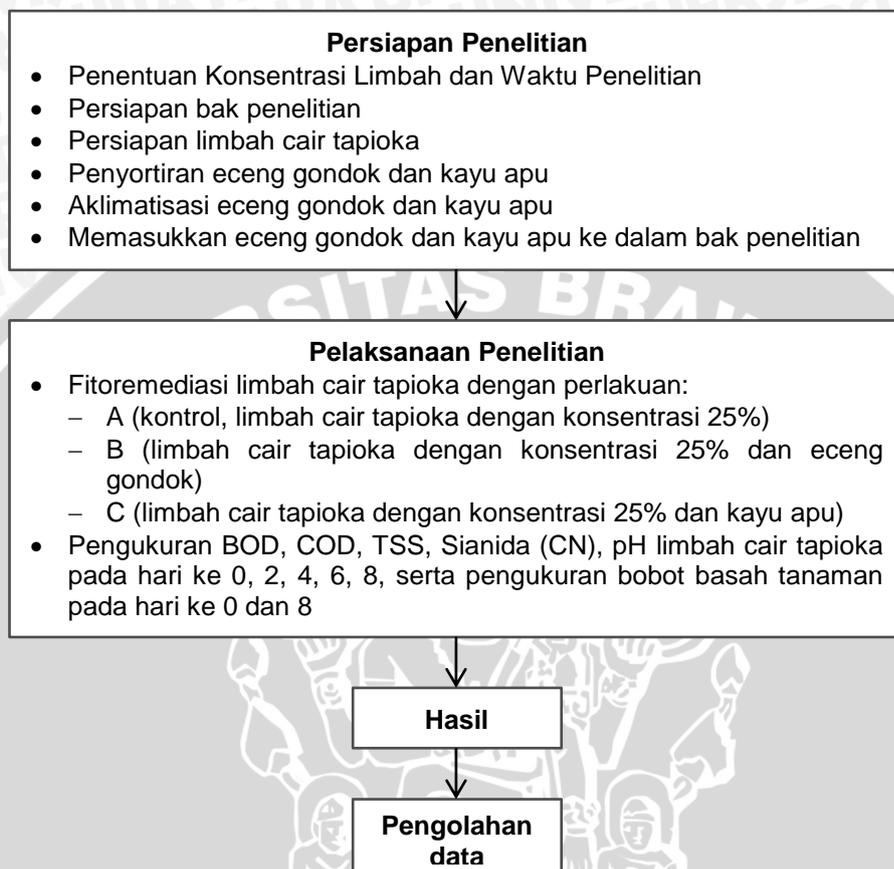
Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*) yang telah diaklimatisasi kemudian dimasukkan ke dalam bak penelitian yang sebelumnya telah diisi limbah cair tapioka yang diencerkan menggunakan air hingga memiliki konsentrasi 25%. Masing-masing eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*) yang dimasukkan ke dalam bak penelitian seberat  $\pm 200$  gram (Nurkemalasarini *et al.*, 2013) dan memiliki kondisi fisik yang bagus.

#### **b. Pelaksanaan penelitian**

Penelitian ini menggunakan tanaman air eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*) seberat  $\pm 200$  gram (Nurkemalasarini *et al.*, 2013), yang dimasukkan ke dalam bak berisi limbah cair tapioka sebanyak 15 liter dengan konsentrasi 25%. Bak penelitian diletakkan secara acak. Pengukuran parameter BOD, COD, TSS, Sianida (CN), dan pH dilakukan 2 hari sekali (Purnamasari, 2014) selama 8 hari penelitian, sedangkan pengukuran

repository.ub.ac.id

bobot basah eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*) diukur pada awal dan akhir penelitian. Tahap-tahap pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Bagan Tahapan Penelitian

### 3.6 Prosedur Pengukuran Parameter Kualitas Air

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

Prosedur pengukuran BOD adalah sebagai berikut:

- Mengambil air sampel dari bak penelitian
- Mengencerkan 20 ml air sampel sampai 100 kali, dengan menggunakan akuades.
- Memindahkan air sampel tersebut ke dalam botol BOD gelap dan terang sampai penuh. Air dalam botol BOD terang segera dianalisis kadar oksigen

terlarutnya ( $DO_1$ ). Botol BOD gelap dan air sampel di dalamnya diinkubasi dalam BOD inkubator pada suhu  $20^{\circ}C$ . Setelah 5 hari, ditentukan kadar oksigen terlarut dalam botol gelap ( $DO_5$ ). Penentuan kadar oksigen terlarut ini dilakukan secara titrimetrik (titrasi) menggunakan  $Na_2S_2O_3$  (0,025 N).

- Membuat sampel blangko dengan mengganti air sampel uji dengan akuades dengan prosedur pengukuran yang sama.
- Menghitung nilai  $BOD_5$  menggunakan rumus:

$$BOD_5 \text{ (ppm)} = [(DO_1) - (DO_5) - \text{blangko}] \times \text{faktor pengenceran}$$

#### b. COD (Chemical Oxygen Demand)

Prosedur pengukuran COD, adalah sebagai berikut:

- Mengambil 10 ml air sampel dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer
- Menambahkan 5 ml  $K_2Cr_2O_7$  lalu dihomogenkan
- Menambahkan dengan hati-hati 15 ml asam sulfat pekat lalu dihomogenkan
- Menutup erlenmeyer dengan penutup kaca, dan didiamkan hingga 30 menit
- Menambahkan 7,5 ml akuades sebagai pengencer
- Menambahkan 2-3 tetes indikator Ferroin, kemudian dititrasi dengan larutan FAS (Ferro Ammonium Sulfat) 0,1 N hingga terjadi perubahan warna menjadi merah kecoklatan, dicatat larutan FAS yang terpakai
- Melakukan langkah yang sama terhadap akuades sebagai larutan blangko
- Menghitung nilai COD menggunakan rumus:

$$COD \text{ (mg/l)} = \frac{(A-B)(N)(8000)}{\text{volume contoh uji}}$$

keterangan:

- A : volume larutan FAS yang dibutuhkan untuk blangko (ml)
- B : volume larutan FAS yang dibutuhkan untuk contoh uji (ml)
- N : normalitas larutan FAS

8000 : hasil perkalian 8 (setengah massa molekul relatif oksigen)  
dengan 1000 (konversi liter ke ml)

**c. TSS (*Total Suspended Solid*)**

Prosedur pengukuran TSS, adalah sebagai berikut:

- Menyiapkan kertas saring *Whatman* yang telah dibahasi dengan akuades
- Memasukkan kertas saring ke dalam oven pada suhu 104 °C selama 1 jam, setelah itu dinginkan di desikator
- Menimbang kertas saring sebagai berat awal dengan menggunakan timbangan analitik.
- Menghomogenkan contoh uji
- Menyaring contoh uji sebanyak 100 ml menggunakan *vacum pump* yang telah diberi kertas saring, tunggu hingga tidak ada lagi air contoh uji yang tersaring
- Memasukkan kertas saring selama 1 jam ke dalam oven pada suhu 103-105 °C
- Mendinginkan kertas saring ke dalam desikator, lalu timbang dan dicatat sebagai berat akhir.
- Menghitung nilai TSS dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji (ml)}}$$

Keterangan :

A : berat kertas saring + residu kering (mg)

B : berat kertas saring (mg)

1000 : konversi liter ke ml

**d. Sianida (CN)**

Prosedur pengukuran Sianida (CN), adalah sebagai berikut:

- Mengambil menggunakan pipet 10 ml contoh uji (V) ke dalam labu distilasi, kemudian menambahkan 10 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan 100 ml akuades, dibiarkan selama 2 jam
- Hasil distilasi ditampung dan ditambahkan natrium karbonat pH 11 (0,5%) sebanyak 25 ml sampai volume 75 ml
- Menambahkan akuades pada distilat hingga 100 ml
- Mengambil 1 ml larutan distilat dan memasukkannya ke dalam labu ukur 50 ml
- Menambahkan 1 ml larutan ninhidrin 1% dan 0,5 ml NaOH, kemudian menambahkan akuades hingga volume menjadi 50 ml
- Memasukkan larutan ke dalam cuvet, kemudian mengukur nilai sianida menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 590 nm, dan dicatat absorbansinya.

**e. Derajat Keasaman (pH)**

Prosedur pengukuran pH, adalah sebagai berikut:

- Mengkalibrasi alat pH meter bagian elektroda menggunakan akuades
- Mengeringkannya dengan tisu
- Memasukkan elektroda pada air sampel sampai menunjukkan pembacaan yang tetap, dan dicatat hasil pengukuran pH.

**f. Bobot Basah Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan atau Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) (Pratiwi, 2010)**

Prosedur pengukuran perubahan bobot basah tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan atau kayu apu (*Pistia stratiotes*) yaitu sebagai berikut:

- Menyalakan timbangan analitik

- Mengambil tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan atau kayu apu (*Pistia stratiotes*), meletakkannya di timbangan analitik
- Menunggu hingga angka yang muncul stabil
- Mencatat hasilnya dalam satuan gram
- Menghitung perubahan bobot basah eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan atau kayu apu (*Pistia stratiotes*) dengan rumus:

$$\Delta B = B_t - B_0$$

Keterangan:

$\Delta B$  : perubahan bobot basah eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan atau kayu apu (*Pistia stratiotes*) (gram)

$B_t$  : bobot basah eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*) pada waktu ke-t (gram)

$B_0$  : bobot basah eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*) awal (gram)

### 3.7 Analisis Data

Metode rancangan yang di gunakan dalam penelitian ini yaitu Rancangan Acak Lengkap (RAL). Persamaan umum RAL menurut Sastrosupadi (2000), yaitu:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_{j(i)} + \epsilon_{ij(k)}$$

Dimana:

i : 1, 2, .... a

j : 1, 2, .... b

k : 1, 2, .... n

$Y_{ijk}$  : respon yang diamati

$\mu$  : nilai tengah umum (mean)

$A_i$  : pengaruh faktor A ke-i

$B_{j(i)}$  : pengaruh faktor B ke-j yang terpengaruh pada faktor A ke-i

$\epsilon_{ij(k)}$  : galat percobaan untuk ulangan ke-k pada faktor B ke-j yang bersarang pada A ke-i

Data yang diperoleh dari hasil penelitian kemudian dianalisis menggunakan analisis sidik ragam (ANOVA) (Tabel 1) untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap respon, yang diukur dengan uji F pada taraf kepercayaan 5% dan 1%.

**Tabel 1.** Sidik Ragam (ANOVA) RAL

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadran (JK)	Kuadran Tengah (KT)	$F_{hitung}$	$F_{tabel}$	
					F5%	F1%
Perlakuan	a-1	JKP	KTP	KTP/KTG	F (a, db-P, db-G)	F (a, db-P, db-G)
Waktu dalam Perlakuan	a(b-1)	JKW(A)	KTW(A)	KTW(A)/KTG	F (a, db-P, db-G)	F (a, db-P, db-G)
Galat	ab(n-1)	JKG	KTG			
Total	abn-1	JKT	KTT			

Penarikan kesimpulan dari tabel ANOVA, yaitu:

- Jika nilai  $F_{hitung} > F_{tabel}$  5% dan 1% maka tolak  $H_0$ , berarti minimal ada satu perlakuan yang memberikan pengaruh yang berbeda nyata pada taraf kepercayaan 0,05 dan 0,01
- Jika nilai  $F_{hitung} < F_{tabel}$  5% dan 1% maka terima  $H_0$ , berarti tidak ada perlakuan yang memberikan pengaruh yang berbeda nyata pada taraf kepercayaan 0,05 dan 0,01

Jika dari analisis sidik ragam diperoleh hasil yang berbeda nyata atau sangat nyata, maka dilakukan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan sehingga didapat urutan perlakuan terbaik. Rumus perhitungannya yaitu:

$$BNT = t_{\alpha/2} \sqrt{2KTS/n}$$

Keterangan:

BNT : Beda Nyata Terkecil

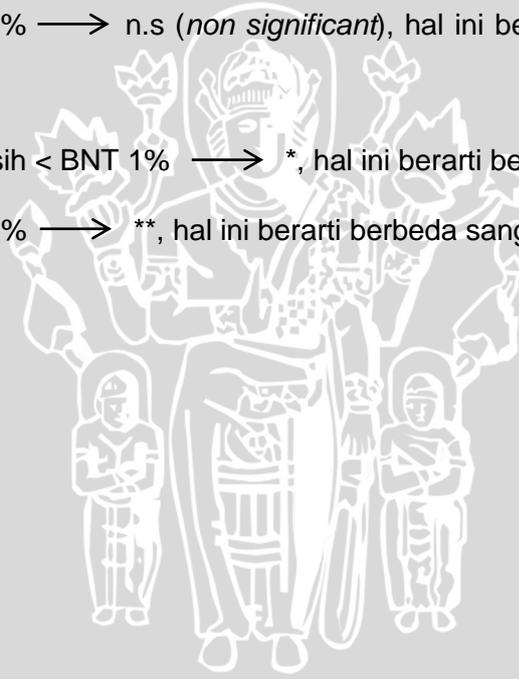
$t_{\alpha/2}$  : nilai t tabel pada selang kepercayaan  $\alpha/2$  ( $\alpha = 0,05$ ;  $\alpha = 0,01$ )

KTS : Kuadrat Tengah Sisa

n : jumlah ulangan

Langkah berikutnya yaitu dibuat tabel BNT yang merupakan tabel selisih harga rata-rata terbesar  $\longrightarrow$  terkecil atau sebaliknya, tergantung pada parameter yang diamati, selanjutnya dibandingkan dengan nilai BNT 5% dan 1% dengan ketentuan sebagai berikut:

- Bila selisih < BNT 5%  $\longrightarrow$  n.s (*non significant*), hal ini berarti tidak berbeda nyata
- Bila BNT 5% < selisih < BNT 1%  $\longrightarrow$  \*, hal ini berarti berbeda nyata
- Bila selisih BNT > 1%  $\longrightarrow$  \*\*, hal ini berarti berbeda sangat nyata



## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Karakteristik Limbah Cair Tapioka pada Awal Penelitian

Limbah cair tapioka yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari industri skala rumah tangga (*home industry*) yang berlokasi di desa Pogalan, Kecamatan Pogalan, Kabupaten Trenggalek. Limbah cair tersebut adalah hasil sisa dari proses pembuatan tepung tapioka, yaitu pengendapan pati yang berupa cairan. Limbah cair tapioka sebelum diencerkan memiliki warna putih kekuningan, keruh, dan berbau khas seperti singkong. Berdasarkan uji awal, limbah cair tapioka memiliki nilai BOD sebesar 2040 ppm, COD 2670 ppm, TSS 3862 ppm, Sianida (CN) 9,3 ppm, serta memiliki pH 4. Limbah cair tapioka setelah diencerkan, yaitu pada awal penelitian (hari ke-0) memiliki nilai BOD sebesar 725 ppm, COD sebesar 1140 ppm, TSS sebesar 1015 ppm, Sianida (CN) sebesar 8,45 ppm, serta memiliki pH sebesar 4,3.

### 4.2 Kondisi Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) pada Awal dan Akhir Penelitian

Kondisi eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*) sebelum penelitian yaitu memiliki daun yang berwarna hijau segar, berukuran relatif sama, dengan akar yang lebat dan sehat. Seiring dengan berjalannya penelitian, mulai terjadi perubahan pada kondisi tanaman akibat adaptasi terhadap lingkungan baru yaitu air yang terpapar limbah cair tapioka tersebut. Adaptasi tersebut ditunjukkan dengan perubahan fisik tanaman secara bertahap dari hari ke hari, yang meliputi perubahan warna daun, dan akar pada masing-masing tanaman. Perubahan fisik tanaman ini dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Perubahan Kondisi Fisik Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)

Hari ke-	Eceng gondok ( <i>Eichhornia crassipes</i> )	Kayu apu ( <i>Pistia stratiotes</i> )
0	 <p>Daun berwarna hijau segar, akar sehat dan lebat</p>	 <p>Daun hijau segar, akar sehat dan lebat</p>
2	 <p>Daun berwarna hijau, namun terdapat ujung daun yang mulai kering</p>	 <p>Daun berwarna hijau, namun mulai terdapat ujung daun yang sedikit mengering</p>
4	 <p>Bintik coklat mulai muncul pada daun, dan terdapat ujung daun yang menggulung</p>	 <p>Ujung daun mulai menguning dan sedikit menggulung, dengan akar mulai rontok</p>
6	 <p>Terdapat daun yang berwarna coklat dan layu</p>	 <p>Daun menguning dengan ujung menggulung karena kering, dan banyak akar yang rontok</p>
8	 <p>Warna daun hijau agak kekuningan dengan bintik coklat berubah menjadi garis coklat, akar terlihat sedikit berwarna putih</p>	 <p>Daun menjadi kuning, beberapa ada yang mati dan tenggelam, akar mengalami banyak kerontokan dan terlihat sedikit berwarna putih</p>

Tabel 3 menunjukkan adanya perubahan kondisi fisik tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*) selama penelitian. Perubahan warna daun yang hijau agak kekuningan dengan bintik coklat pada eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan berwarna kuning pada kayu apu (*Pistia stratiotes*) sebanding dengan semakin lamanya waktu fitoremediasi, hal ini dapat disebabkan oleh zat pencemar yang terkandung dalam air limbah yang terserap oleh tanaman. Menurut Haslam (1997) dalam Hermawati *et al.* (2005), perubahan warna yang terjadi pada daun dapat disebabkan karena pencemaran bahan organik. Hermawati *et al.* (2005), menambahkan bahwa akar sebenarnya merupakan bagian yang pertama kali kontak langsung dengan limbah, maka akar rusak lebih dahulu dibanding dengan bagian lain pada tubuh tanaman, hal ini sebagai respon terhadap zat toksik dari limbah tersebut.

### **4.3 Hasil Pengukuran Parameter Kualitas Air**

#### **4.3.1 BOD (*Biological Oxygen Demand*)**

BOD (*Biological Oxygen Demand*) merupakan gambaran kadar bahan organik, yaitu jumlah oksigen terlarut (DO) yang dibutuhkan oleh mikroba aerob untuk mengoksidasi bahan organik menjadi karbondioksida dan air. Pengukuran BOD dilakukan dengan menginkubasi sampel pada botol tertutup tanpa terkena cahaya, dan disimpan pada suhu 20°C selama lima hari (Davis dan Cornwell, 1991; Boyd, 1988 dalam Effendi, 2003). BOD hanya menggambarkan bahan organik yang dapat didekomposisi secara biologis, dimana bahan organik ini merupakan hasil pembusukan tanaman maupun hewan yang telah mati ataupun hasil dari buangan limbah (Effendi, 2003). Hasil pengukuran BOD pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Data Hasil Rerata dan Efisiensi Penurunan BOD

Hari Ke-	A		B		C	
	Konsentrasi (ppm)	Efisiensi (%)	Konsentrasi (ppm)	Efisiensi (%)	Konsentrasi (ppm)	Efisiensi (%)
0	725	0	725	0	725	0
2	691,33	4,64	656,67	9,43	616	15,03
4	649	10,48	431,33	40,51	470,67	35,08
6	569,33	21,47	307	57,66	393	45,79
8	479	33,93	202	72,14	333,67	53,98
<b>Baku Mutu*</b>	200 ppm					

Ket: A = tanpa perlakuan tanaman (kontrol)

B = perlakuan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*)

C = perlakuan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*)

Efisiensi = % penurunan konsentrasi dibanding konsentrasi awal

\*Standar Baku Mutu Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 32 Tahun 2013

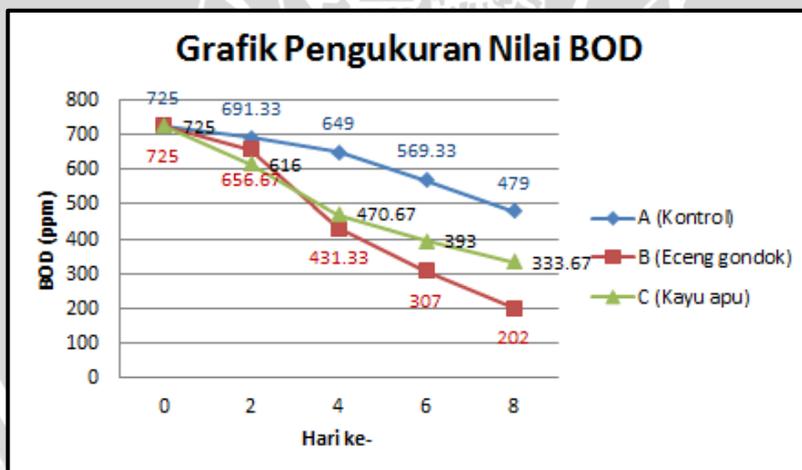
Hasil pengukuran menunjukkan perubahan nilai BOD selama 8 hari penelitian, dimana nilai BOD mulai mengalami penurunan pada pengukuran hari ke-2, dengan fluktuasi nilainya dapat dilihat pada Gambar 6. Bak penelitian A atau bak kontrol, penurunan BOD terkecilnya terjadi pada pengukuran hari ke-2 dengan penurunan sebesar 33,67 ppm, dari nilai awal 725 ppm menjadi 691,33 ppm. Hari selanjutnya, nilai BOD pada bak ini terus mengalami penurunan. Penurunan terbesar terjadi pada pengukuran hari ke-8 yaitu sebesar 90 ppm, dari nilai awal 569,33 ppm menjadi 479 ppm.

Bak penelitian dengan perlakuan B atau bak dengan perlakuan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), penurunan BOD terkecilnya terjadi pada pengukuran hari ke-4 dengan penurunan sebesar 68,33 ppm, dari nilai awal 725 ppm menjadi 656,67 ppm. Penurunan terbesar terjadi pada pengukuran hari ke-4 yaitu sebesar 225,34 ppm, dari nilai awal 656,67 ppm menjadi 431,33 ppm.

Bak penelitian dengan perlakuan C atau bak dengan perlakuan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*), penurunan BOD terkecilnya terjadi pada pengukuran hari ke-8 dengan penurunan sebesar 59,33 ppm, dari nilai awal 393 ppm menjadi

333,67 ppm. Penurunan terbesar terjadi pada pengukuran hari ke-4 yaitu sebesar 145,33 ppm, dari nilai awal 616 ppm menjadi 470,67 ppm.

Data di atas juga menunjukkan adanya penurunan nilai BOD dari awal penelitian yaitu sebesar 725 ppm dengan di akhir penelitian pada tiap perlakuan. Nilai BOD pada perlakuan A atau bak kontrol berangsur-angsur mengalami penurunan sebesar 246 ppm, dengan BOD pada akhir penelitian sebesar 479 ppm dan efisiensi penurunannya sebesar 33,93%. Penurunan nilai BOD ini terjadi secara alamiah akibat adanya proses dekomposisi bahan organik pada air limbah tersebut. Nilai BOD pada perlakuan B atau bak eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) mengalami penurunan terbesar diantara perlakuan lain yaitu 523 ppm, dengan nilai BOD pada akhir penelitian sebesar 202 ppm dan efisiensi penurunannya sebesar 72,14%. Nilai BOD pada perlakuan C atau bak kayu apu (*Pistia stratiotes*) mengalami penurunan sebesar 391,33 ppm, dengan nilai BOD pada akhir sebesar 333,67 ppm dan efisiensi penurunannya sebesar 53,98%.



Gambar 6. Grafik Nilai BOD

Berdasarkan analisa sidik ragam, dilakukan uji F untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap respon yang diukur sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Sidik Ragam Nilai BOD

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	F Tabel	
					5%	1%
Perlakuan (tanaman)	2	200908.93	100454.5	563.93**	3.32	5.39
Waktu dalam Perlakuan	12	1028188	85682.32	481.00**	2.09	2.48
Galat	30	5344	178.13			
Total	44	1234441				

Ket: \*\* = berbeda sangat nyata

Tabel sidik ragam di atas didapatkan nilai F hitung perlakuan yaitu 563,93, dimana nilai ini lebih besar dari F tabel 5% maupun 1%, sehingga dapat dikatakan bahwa perlakuan perbedaan tanaman memberikan pengaruh berbeda sangat nyata terhadap penurunan nilai BOD pada taraf kepercayaan 95% maupun 99%. Hasil nilai F hitung waktu dalam perlakuan yaitu 481, dimana nilai ini lebih besar dari F tabel 5% maupun 1%, ini berarti waktu pengamatan turut mempengaruhi penurunan nilai BOD pada taraf kepercayaan 95% maupun 99%.

Adanya penurunan BOD yang berbeda sangat nyata pada perlakuan jenis tanaman dan waktu dalam perlakuan, maka dilakukan uji BNT (Beda Nyata Terkecil) untuk mengetahui perbedaan masing-masing perlakuan terhadap penurunan BOD, sehingga didapat urutan perlakuan yang terbaik.

Hasil perhitungan BNT (Lampiran 2) pada perlakuan jenis tanaman dan waktu dalam perlakuan terhadap nilai BOD, didapatkan perbedaan yang nyata antara perlakuan A (kontrol), B (eceng gondok), dan C (kayu apu), dengan penurunan BOD terbesar pada perlakuan B, yaitu yang diberi perlakuan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dengan waktu 8 hari.

Penurunan BOD yang tinggi ini terkait dengan sifat eceng gondok yang sangat efektif menurunkan nilai BOD. Menurut Suardhana (2009) dalam Rukmi *et al.* (2013), eceng gondok memiliki kemampuan ganda, sejenis kemampuan untuk bersimbiosis dengan mikroorganisme. Eceng gondok dapat menyerap hasil

pemecahan bahan organik oleh mikroorganisme, selain itu eceng gondok juga melepaskan oksigen hasil dari aktifitas fotosintesisnya yang diperlukan mikroorganisme untuk pemecahan bahan organik tersebut. Akar eceng gondok juga sebagai tempat melekatnya pertikulat dan zat organik, sehingga semakin lama kontak eceng gondok dengan limbah, maka semakin menurun pula nilai BOD tersebut, terbukti dengan nilai BOD terendah yaitu pada hari terakhir penelitian (hari ke-8).

#### 4.3.2 COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD (*Chemical Oxygen Demand*) merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi limbah maupun polutan yang ada di dalam air melalui suatu reaksi kimiawi. Pengukuran COD diperlukan untuk mengetahui kebutuhan oksigen dalam menguraikan zat yang sulit dihancurkan dengan proses oksidasi, sehingga dibutuhkan suatu bantuan pereaksi oksidator kuat dalam suasana asam yaitu kalium dikromat (Wardhana, 2001; Ginting, 1992 dalam Fachrurozi, 2010). Oksidator kuat seperti kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) dapat membantu mengoksidasi hampir semua bahan organik (95%-100%) menjadi karbondioksida dan air (Effendi, 2003). Hasil pengukuran COD pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.

Hasil pengukuran menunjukkan perubahan nilai COD selama 8 hari penelitian, dimana nilai COD mulai mengalami penurunan pada pengukuran hari ke-2, dengan fluktuasi nilainya dapat dilihat pada Gambar 7. Bak penelitian A atau bak kontrol, penurunan COD terkecilnya terjadi pada pengukuran hari ke-2 dengan penurunan sebesar 40 ppm, dari nilai awal 1140 ppm menjadi 1092 ppm. Hari selanjutnya, nilai COD pada bak ini terus mengalami penurunan. Penurunan terbesar terjadi pada pengukuran hari ke-6 yaitu sebesar 106,66 ppm, dari nilai awal 997,33 ppm menjadi 890,67 ppm.

**Tabel 5.** Data Hasil Rerata dan Efisiensi Penurunan COD

Hari Ke-	A		B		C	
	Konsentrasi (ppm)	Efisiensi (%)	Konsentrasi (ppm)	Efisiensi (%)	Konsentrasi (ppm)	Efisiensi (%)
0	1140	0	1140	0	1140	0
2	1092	4,21	867,67	23,89	920,67	19,24
4	997,33	12,51	615,33	46,02	711	37,63
6	890,67	21,87	500,33	56,11	604,33	46,99
8	807,33	29,18	374,67	67,13	553,33	51,46
<b>Baku Mutu*</b>	400 ppm					

Ket: A = tanpa perlakuan tanaman (kontrol)

B = perlakuan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*)

C = perlakuan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*)

Efisiensi = % penurunan konsentrasi dibanding konsentrasi awal

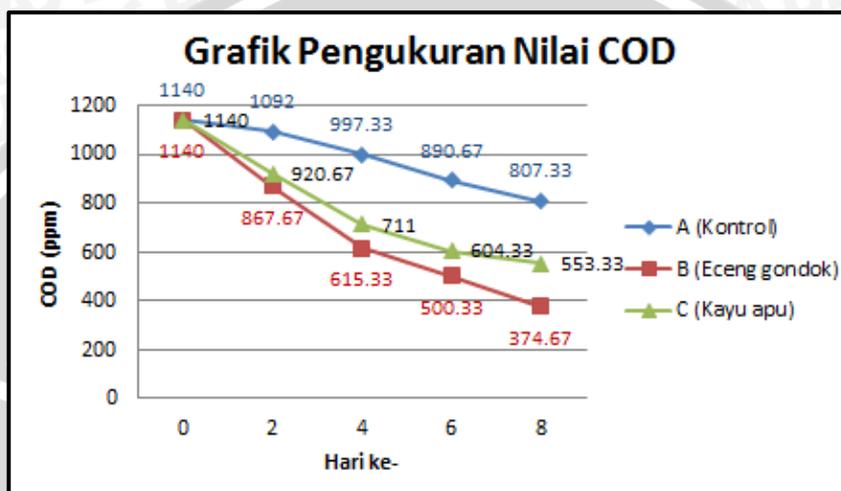
\*Standar Baku Mutu Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 32 Tahun 2013

Bak penelitian dengan perlakuan B atau bak dengan perlakuan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), penurunan COD terkecilnya terjadi pada pengukuran hari ke-6 dengan penurunan sebesar 115 ppm, dari nilai awal 615,33 ppm menjadi 500,33 ppm. Hari selanjutnya, nilai COD pada bak ini terus mengalami penurunan. Penurunan terbesar terjadi pada pengukuran hari ke-4 yaitu sebesar 252,34 ppm, dari nilai awal 867,67 ppm menjadi 615,33 ppm.

Bak penelitian dengan perlakuan C atau bak dengan perlakuan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*), penurunan COD terkecilnya terjadi pada pengukuran hari ke-8 dengan penurunan sebesar 51 ppm, dari nilai awal 604,33 ppm menjadi 553,33 ppm. Penurunan terbesar terjadi pada pengukuran hari ke-2 yaitu sebesar 219,33 ppm, dari nilai awal 1140 ppm menjadi 920,67 ppm.

Data di atas juga menunjukkan adanya penurunan nilai COD dari awal penelitian yaitu sebesar 1140 ppm, dengan di akhir penelitian pada tiap perlakuan. Nilai COD pada perlakuan A atau bak kontrol mengalami penurunan sebesar 332,67 ppm, dengan nilai COD pada akhir penelitian sebesar 807,33 ppm dan efisiensi penurunannya sebesar 29,18%. Nilai COD pada perlakuan B atau bak eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) mengalami penurunan terbesar

diantara perlakuan lain yaitu 765,33 ppm, dengan nilai COD pada akhir penelitian sebesar 374,67 ppm dan efisiensi penurunannya sebesar 67,13%. Nilai COD pada perlakuan C atau bak kayu apu (*Pistia stratiotes*) mengalami penurunan sebesar 586,67 ppm, dengan nilai COD pada akhir sebesar 553,33 ppm dan efisiensi penurunannya sebesar 51,46%.



Gambar 7. Grafik Nilai COD

Berdasarkan analisa sidik ragam, dilakukan uji F untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap respon yang diukur sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Sidik Ragam Nilai COD

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	F Tabel	
					5%	1%
Perlakuan (tanaman)	2	645009.24	322504.62	910.63**	3.32	5.39
Waktu dalam Perlakuan	12	2060670.40	171722.53	484.88**	2.09	2.48
Galat	30	10624.67	354.16			
Total	44	2716304.31				

Ket: \*\* = berbeda sangat nyata

Tabel sidik ragam di atas didapatkan nilai F hitung perlakuan yaitu 910,63, dimana nilai ini lebih besar dari F tabel 5% maupun 1%, sehingga dapat

dikatakan bahwa perlakuan perbedaan tanaman memberikan pengaruh berbeda sangat nyata terhadap penurunan nilai COD pada taraf kepercayaan 95% maupun 99%. Hasil nilai F hitung waktu dalam perlakuan yaitu 484.88, dimana nilai ini lebih besar dari F tabel 5% maupun 1%, ini berarti waktu pengamatan turut mempengaruhi penurunan nilai COD pada taraf kepercayaan 95% maupun 99%.

Adanya penurunan COD yang berbeda sangat nyata pada perlakuan jenis tanaman dan waktu dalam perlakuan, maka dilakukan uji BNT (Beda Nyata Terkecil) untuk mengetahui perbedaan masing-masing perlakuan terhadap penurunan COD, sehingga didapat urutan perlakuan yang terbaik.

Hasil perhitungan BNT (Lampiran 3) pada perlakuan jenis tanaman dan waktu dalam perlakuan terhadap nilai COD, didapatkan perbedaan yang nyata antara perlakuan A (kontrol), B (eceng gondok), dan C (kayu apu), dengan penurunan COD terbesar pada perlakuan B, yaitu yang diberi perlakuan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dengan waktu 8 hari.

Salah satu yang memegang peranan penting pada proses fitoremediasi dalam menyerap maupun mengurangi polutan adalah bagian akar tanaman yang kontak langsung dengan air limbah. Menurut Marianto (2001) dalam Rukmi *et al.* (2013), eceng gondok memiliki akar yang lebat dan panjang sehingga luas kontak dengan air limbah pun semakin besar. Akar eceng gondok juga terdapat mikroba rizosfer yang membantu mereduksi bahan organik maupun anorganik di perairan. Jauhi *et al.* (2002) dalam Nurkemalasarini *et al.* (2013), menambahkan bahwa bahan anorganik diserap oleh tanaman yang mengakibatkan proses kimiawi yang membutuhkan oksigen menjadi turun, sehingga nilai COD pun ikut menurun. Akar eceng gondok juga sebagai tempat melekatnya pertikulat dan zat organik, dengan ini dapat diindikasikan bahwa semakin lama kontak eceng gondok

dengan limbah, maka semakin menurun pula nilai COD tersebut, terbukti dengan nilai COD terendah yaitu pada hari terakhir penelitian (hari ke-8).

#### 4.3.3 TSS (*Total Suspended Solid*)

Zat padat tersuspensi (*Total Suspended Solid*) adalah semua zat padat (pasir, lumpur, dan tanah liat) atau partikel-partikel yang tersuspensi dalam air dan dapat berupa komponen hidup (biotik) seperti fitoplankton, zooplankton, bakteri, fungi, ataupun komponen mati (abiotik) seperti detritus dan partikel-partikel anorganik (Tarigan dan Edward, 2003). Padatan tersuspensi juga dapat mempengaruhi warna dan kekeruhan pada air limbah, hal ini dikarenakan adanya zat organik (seperti pati) yang tidak bisa segera mengendap (Sari, 1995 dalam Nurkemalajari *et al.*, 2013). Hasil pengukuran TSS pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Data Hasil Rerata dan Efisiensi Penurunan TSS

Hari Ke-	A		B		C	
	Konsentrasi (ppm)	Efisiensi (%)	Konsentrasi (ppm)	Efisiensi (%)	Konsentrasi (ppm)	Efisiensi (%)
0	1015	0	1015	0	1015	0
2	708,33	30,21	663,67	34,61	660,33	34,94
4	663,33	34,65	494,33	51,30	476,67	53,04
6	625,33	38,39	474,33	53,27	530,67	47,72
8	592,33	41,64	506,33	50,11	564,00	44,43
<b>Baku Mutu*</b>	150 ppm					

Ket: A = tanpa perlakuan tanaman (kontrol)

B = perlakuan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*)

C = perlakuan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*)

Efisiensi = % penurunan konsentrasi dibanding konsentrasi awal

\*Standar Baku Mutu Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 32 Tahun 2013

Hasil pengukuran menunjukkan perubahan nilai TSS selama 8 hari penelitian, dimana nilai TSS mulai mengalami penurunan pada pengukuran hari ke-2 untuk semua perlakuan, dengan fluktuasi nilai TSS dapat dilihat pada Gambar 8. Bak penelitian A atau bak kontrol, penurunan TSS terkecilnya terjadi

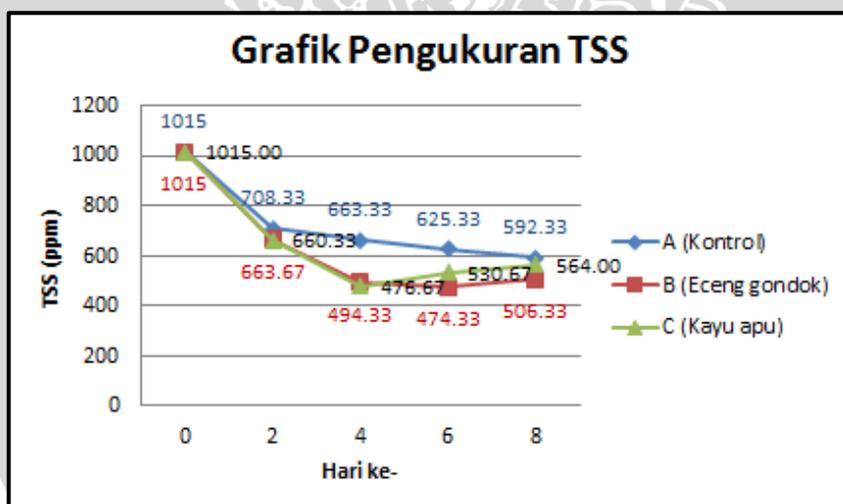
pada pengukuran hari ke-8 dengan penurunan sebesar 33 ppm, dari nilai 625,33 ppm menjadi 592,33 ppm. Penurunan terbesar terjadi pada pengukuran hari ke-2 yaitu sebesar 306,67 ppm, dari nilai awal 1015 ppm menjadi 708,33 ppm.

Bak penelitian dengan perlakuan B atau bak dengan perlakuan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), penurunan TSS terkecilnya terjadi pada pengukuran hari ke-6 dengan penurunan sebesar 20 ppm, dari nilai awal 494,33 ppm menjadi 474,33 ppm. Penurunan terbesar terjadi pada pengukuran hari ke-2 yaitu sebesar 351,33 ppm, dari nilai awal 1015 ppm menjadi 663,67 ppm, namun pada pengukuran hari ke-8 terjadi kenaikan nilai TSS yaitu sebesar 32 ppm, sehingga nilai TSS tersebut naik menjadi 506,33 ppm, hal ini disebabkan oleh adanya kerontokan akar tanaman serta ada pula daun eceng gondok yang membusuk sehingga dapat meningkatkan TSS.

Bak penelitian dengan perlakuan C atau bak dengan perlakuan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*), penurunan TSS terkecilnya terjadi pada pengukuran hari ke-4 dengan penurunan sebesar 193,33 ppm, dari nilai awal 660,33 ppm menjadi 476,67 ppm. Penurunan terbesar terjadi pada pengukuran hari ke-2 yaitu sebesar 354,67 ppm, dari nilai awal 1015 ppm menjadi 660,33 ppm, namun pada pengukuran ke-6 dan ke-8 terjadi kenaikan nilai TSS. Kenaikan TSS pada pengukuran hari ke-6 yaitu sebesar 63,67 ppm, sehingga nilai TSS tersebut naik menjadi 530,67 ppm, kemudian pada pengukuran hari ke-8 TSS naik sebesar 33,33 ppm, sehingga nilai TSS menjadi 564 ppm. Kenaikan nilai ini disebabkan oleh banyaknya kerontokan akar tanaman kayu apu, serta ada pula tanaman yang mati dan membusuk di dalam air sehingga dapat meningkatkan TSS.

Data di atas juga menunjukkan adanya penurunan nilai TSS dari awal penelitian yaitu sebesar 1140 ppm, dengan di akhir penelitian pada tiap perlakuan. Nilai TSS pada perlakuan A atau bak kontrol mengalami penurunan

sebesar 422,67 ppm, dengan nilai TSS pada akhir penelitian sebesar 592,33 ppm dan efisiensi penurunannya sebesar 41,64%. Nilai TSS pada perlakuan B atau bak eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) mengalami penurunan terbesar diantara perlakuan lain yaitu 508,67 ppm, dengan nilai TSS pada akhir penelitian sebesar 506,33 ppm dan efisiensi penurunannya sebesar 50,11%. Nilai TSS pada perlakuan C atau bak kayu apu (*Pistia stratiotes*) mengalami penurunan sebesar 451 ppm, dengan nilai TSS pada akhir sebesar 564 ppm dan efisiensi penurunannya sebesar 44,43%. Tingkat penurunan TSS terbesar pada semua perlakuan terdapat pada pengukuran hari ke-2, hal ini dikarenakan pada awal penelitian air limbah tapioka sangat keruh karena pati tapioka belum mengendap secara optimal, namun setelah 2 hari waktu penelitian pati tersebut telah banyak yang mengendap sehingga nilai TSS turun dengan signifikan.



Gambar 8. Grafik Penurunan TSS

Berdasarkan analisa sidik ragam, dilakukan uji F untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap respon yang diukur sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 8.

**Tabel 8.** Sidik Ragam Nilai TSS

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	F Tabel	
					5%	1%
Perlakuan (tanaman)	2	67934.98	33967.49	320.31**	3.32	5.39
Waktu dalam Perlakuan	12	1523778.67	126981.56	1197.44**	2.09	2.48
Galat	30	3181.33	106.04			
<b>Total</b>	<b>44</b>	<b>1594894.98</b>				

Ket: \*\* = berbeda sangat nyata

Tabel sidik ragam di atas didapatkan nilai F hitung perlakuan yaitu 325.49, dimana nilai ini lebih besar dari F tabel 5% maupun 1%, sehingga dapat dikatakan bahwa perlakuan perbedaan tanaman memberikan pengaruh berbeda sangat nyata terhadap penurunan nilai TSS pada taraf kepercayaan 95% maupun 99%. Hasil nilai F hitung waktu dalam perlakuan yaitu 1205.77, dimana nilai ini lebih besar dari F tabel 5% maupun 1%, ini berarti waktu pengamatan turut mempengaruhi penurunan nilai TSS pada taraf kepercayaan 95% maupun 99%.

Adanya penurunan TSS yang berbeda sangat nyata pada perlakuan jenis tanaman dan waktu dalam perlakuan, maka dilakukan uji BNT (Beda Nyata Terkecil) untuk mengetahui perbedaan masing-masing perlakuan terhadap penurunan TSS, sehingga didapat urutan perlakuan yang terbaik.

Hasil perhitungan BNT (Lampiran 4) pada perlakuan jenis tanaman dan waktu dalam perlakuan terhadap nilai TSS, didapatkan perbedaan yang nyata antara perlakuan A (kontrol), B (eceng gondok), dan C (kayu apu), dengan penurunan TSS terbesar pada perlakuan B, yaitu yang diberi perlakuan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dengan waktu 6 hari.

Eceng gondok memiliki akar serabut yang banyak dan lebat. Menurut Fachrurozi (2010), endapan, koloidal, serta bahan terlarut yang berasal dari limbah yang berbentuk padatan akan mengendap. Akar serabut pada tanaman

air dapat menjadi tempat menempelnya koloid maupun partikel yang melayang di air, jadi semakin banyak biomassa tanaman, maka akar akan semakin banyak pula, sehingga koloid yang menempel pada akar tersebut akan semakin banyak dan TSS pun akan menurun. Penurunan TSS terbesar justru terjadi pada pengamatan hari ke-6, pada waktu pengamatan ini belum banyak terjadi kerontokan akar, berbeda dengan pengamatan selanjutnya. Pada pengamatan hari-8 telah banyak terjadi kerontokan akar tanaman, serta ada pula daun yang layu atau mati, dan membusuk di dalam air yang mengakibatkan peningkatan TSS di akhir penelitian.

#### 4.3.4 Sianida (CN)

Menurut Effendi (2003), sianida merupakan kelompok senyawa anorganik dan organik dengan struktur utamanya adalah siano (CN). Sianida merupakan salah satu parameter penting, dan dapat bersifat racun (Nurkemalasari *et al.*, 2013). Hasil pengukuran sianida dapat dilihat pada Tabel 9.

**Tabel 9.** Data Hasil Rerata dan Efisiensi Penurunan Sianida (CN)

Hari Ke-	A		B		C	
	Konsentrasi (ppm)	Efisiensi (%)	Konsentrasi (ppm)	Efisiensi (%)	Konsentrasi (ppm)	Efisiensi (%)
0	8,45	0	8,45	0	8,45	0
2	8,22	2,76	8,00	5,29	7,27	13,96
4	7,83	7,38	6,73	20,39	5,35	36,73
6	7,29	13,73	4,89	42,09	3,96	53,14
8	6,70	20,67	3,16	62,64	2,79	67,02
Baku Mutu*	0,5 ppm					

Ket: A = tanpa perlakuan tanaman (kontrol)

B = perlakuan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*)

C = perlakuan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*)

Efisiensi = % penurunan konsentrasi dibanding konsentrasi awal

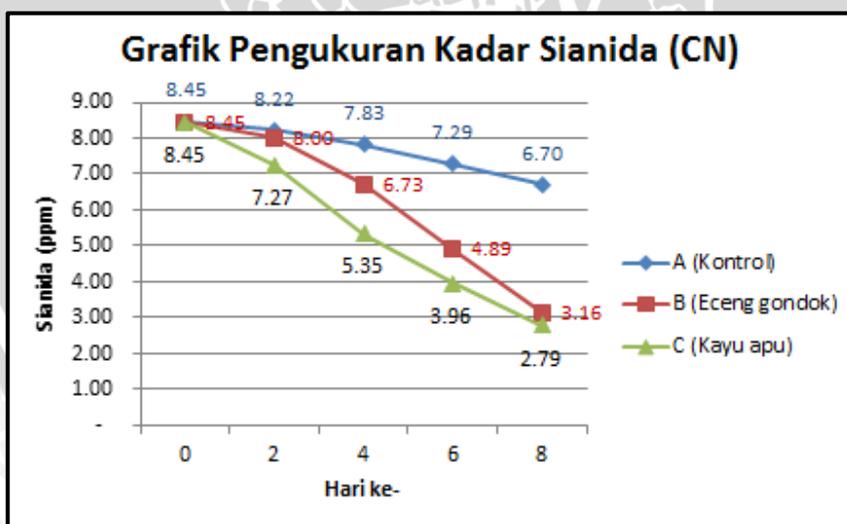
\*Standar Baku Mutu Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 32 Tahun 2013

Hasil pengukuran menunjukkan perubahan kadar sianida selama 8 hari penelitian pada tiap perlakuan. Kadar sianida mulai mengalami penurunan pada pengukuran hari ke-2, dengan fluktuasi kadarnya dapat dilihat pada Gambar 9.

Bak penelitian A atau bak kontrol, penurunan sianida terkecilnya terjadi pada pengukuran hari ke-2 dengan penurunan sebesar 0,28 ppm, dari nilai 8,45 ppm menjadi 8,22 ppm. Penurunan terbesar terjadi pada pengukuran hari ke-8 yaitu sebesar 0,59 ppm, dari nilai awal 7,29 ppm menjadi 6,70 ppm.

Bak penelitian dengan perlakuan B atau bak dengan perlakuan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), penurunan sianida terkecilnya terjadi pada pengukuran hari ke-2 dengan penurunan sebesar 0,45 ppm, dari nilai awal 8,45 ppm menjadi 8,00 ppm. Penurunan terbesar terjadi pada pengukuran hari ke-6 yaitu sebesar 1,84 ppm, dari nilai awal 6,73 ppm menjadi 4,89 ppm.

Bak penelitian dengan perlakuan C atau bak dengan perlakuan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*), penurunan sianida terkecilnya terjadi pada pengukuran hari ke-8 dengan penurunan sebesar 1,17 ppm, dari nilai awal 3,69 ppm menjadi 2,79 ppm. Penurunan terbesar terjadi pada pengukuran hari ke-4 yaitu sebesar 1,92 ppm, dari nilai awal 7,27 ppm menjadi 5,35 ppm.



**Gambar 9.** Grafik Penurunan Kadar Sianida (CN)

Data di atas juga menunjukkan adanya penurunan kadar sianida dari awal penelitian yaitu sebesar 8,45 ppm, dengan di akhir penelitian pada tiap

perlakuan. Kadar sianida pada perlakuan A atau bak kontrol mengalami penurunan sebesar 1,75 ppm, dengan nilai sianida pada akhir penelitian sebesar 6,70 ppm dan efisiensi penurunannya sebesar 20,67%. Kadar sianida pada perlakuan B atau bak eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) mengalami penurunan yaitu 5,29 ppm, dengan nilai sianida pada akhir penelitian sebesar 3,16 ppm dan efisiensi penurunannya sebesar 62,64%. Nilai sianida pada perlakuan C atau bak kayu apu (*Pistia stratiotes*) mengalami penurunan terbesar dibandingkan dengan perlakuan lain yaitu sebesar 5,66 ppm, dengan nilai sianida pada akhir sebesar 2,79 ppm dan efisiensi penurunannya sebesar 67,02%.

Berdasarkan analisa sidik ragam, dilakukan uji F untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap respon yang diukur sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 10.

**Tabel 10.** Sidik Ragam Nilai Sianida (CN)

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	F Tabel	
					5%	1%
Perlakuan (tanaman)	2	35.65	17.83	932.94**	3.32	5.39
Waktu dalam Perlakuan	12	129.39	10.78	564.34**	2.09	2.48
Galat	30	0.57	0.02			
<b>Total</b>	<b>44</b>	<b>165.62</b>				

Ket: \*\* = berbeda sangat nyata

Tabel sidik ragam di atas didapatkan nilai F hitung perlakuan yaitu 932.94, dimana nilai ini lebih besar dari F tabel 5% maupun 1%, sehingga dapat dikatakan bahwa perlakuan perbedaan tanaman memberikan pengaruh berbeda sangat nyata terhadap penurunan nilai sianida pada taraf kepercayaan 95% maupun 99%. Hasil nilai F hitung waktu dalam perlakuan yaitu 564.34, dimana nilai ini lebih besar dari F tabel 5% maupun 1%, ini berarti waktu pengamatan

turut mempengaruhi penurunan nilai sianida pada taraf kepercayaan 95% maupun 99%.

Adanya penurunan sianida yang berbeda sangat nyata pada perlakuan jenis tanaman dan waktu dalam perlakuan, maka dilakukan uji BNT (Beda Nyata Terkecil) untuk mengetahui perbedaan masing-masing perlakuan terhadap penurunan sianida, sehingga didapat urutan perlakuan yang terbaik.

Hasil perhitungan BNT (Lampiran 5) pada perlakuan jenis tanaman dan waktu dalam perlakuan terhadap nilai sianida, didapatkan perbedaan yang nyata antara perlakuan A (kontrol), B (eceng gondok), dan C (kayu apu), dengan penurunan sianida terbesar pada perlakuan C, yaitu yang diberi perlakuan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) dengan waktu 8 hari.

Terkumpulnya sianida yang terus bertambah ke dalam badan kayu apu hingga hari terakhir penelitian (hari ke-8), menyebabkan banyaknya kerusakan akar, daun, bahkan kematian yang terjadi pada tanaman kayu apu. Menurut Momonto (2013), perubahan fisik yang nampak pada akar, seperti terhambatnya perpanjangan akar dan kerontokan bulu akar, serta penguningan daun merupakan respon tanaman kayu apu terhadap toksisitas sianida. Penurunan kadar sianida yang besar oleh kayu apu ini dapat disebabkan oleh banyaknya individu kayu apu, sehingga semakin banyak pula akar yang kontak dengan air limbah. Kayu apu mampu mengurangi kontaminasi sianida dengan menyerapnya (mengakumulasi) ke dalam tubuh sebesar 3,2 ppm (64%) dari kadar awalnya pada media tanam sebesar 5 ppm, sedangkan yang ter volatilisasi sebesar 1,8%. Penyerapan ini terjadi akibat adanya reaksi antara phytochelatin dan sianida di bagian akar tanaman. Menurut Meagher (2000) dalam Momonto (2013), zat khelat atau phytochelatin merupakan zat yang diekskresikan oleh jaringan akar kayu apu sebagai respon adanya kontaminasi seperti sianida. Dalam mekanisme mengkhelatan diperkirakan polutan diserap akar tanaman dan ditranslokasi ke

tajuk Phytochelatin yang sebelumnya telah disintesis oleh phytochelatin sintase. Sianida yang di kelat melalui bulu akar masuk ke dalam sistem penyerapan air dan unsur hara membentuk senyawa kompleks dan garam. Sianida kemudian berikatan dengan gugus sulfur pada asam amino phytochelatin karena zat tersebut merupakan enzim, jadi sianida yang telah dikhelat dapat berbentuk *CN-phytochelatin*.

#### 4.3.5 Derajat Keasaman (pH)

Menurut Boyd (1998), pH didefinisikan sebagai negatif logaritma dari konsentrasi ion hidrogen ( $H^+$ ). Sederhananya, pH mengindikasikan seberapa asam atau basa suatu perairan. Data hasil pengukuran pH dapat dilihat pada Tabel 11.

**Tabel 11.** Data Hasil Rerata dan Efisiensi Kenaikan pH

Hari Ke-	A		B		C	
	Rerata pH	Efisiensi (%)	Rerata pH	Efisiensi (%)	Rerata pH	Efisiensi (%)
0	4.29	0	4.29	0	4.29	0
2	4.60	7.15	5.00	16.55	4.76	11.03
4	5.02	17.02	6.07	41.49	6.10	42.19
6	5.33	24.24	6.40	49.11	5.94	38.38
8	5.03	17.17	5.92	37.92	5.46	27.20
<b>Baku Mutu*</b>	6-9					

Ket: A = tanpa perlakuan tanaman (kontrol)

B = perlakuan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*)

C = perlakuan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*)

Efisiensi = % kenaikan pH dibanding konsentrasi awal

\*Standar Baku Mutu Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 32 Tahun 2013

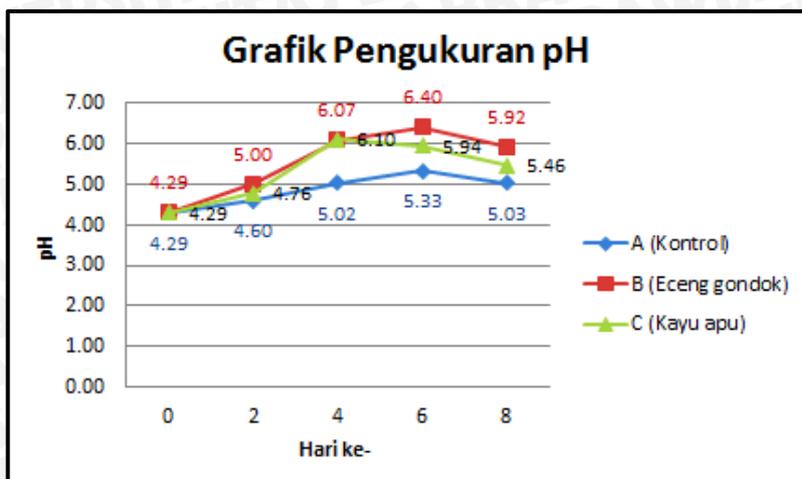
Hasil pengukuran menunjukkan perubahan nilai pH selama 8 hari penelitian pada tiap perlakuan. Fluktuasi nilai pH dapat dilihat pada Gambar 10. Bak penelitian A atau bak kontrol, peningkatan nilai pH terkecilnya terjadi pada pengukuran hari ke-2 dengan kenaikan sebesar 0,31, dari nilai 4,29 menjadi 4,6. Kenaikan pH terbesar terjadi pada pengukuran hari ke-6 yaitu sebesar 0,42, dari

nilai awal 4,6 menjadi 5,02, namun pada pengukuran hari ke-8 terjadi penurunan pH kembali, yaitu nilai pH turun dari 5,33 menjadi 5,03.

Bak penelitian dengan perlakuan B atau bak dengan perlakuan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), peningkatan nilai pH terkecilnya terjadi pada pengukuran hari ke-6 dengan kenaikan sebesar 0,33, dari nilai 6,07 menjadi 6,40. Kenaikan pH terbesar terjadi pada pengukuran hari ke-4 yaitu sebesar 1,07, dari nilai awal 5 menjadi 6,07, namun pada pengukuran hari ke-8 terjadi penurunan pH kembali, yaitu nilai pH turun dari 6,4 menjadi 5,92.

Bak penelitian dengan perlakuan C atau bak dengan perlakuan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*), peningkatan nilai pH terkecilnya terjadi pada pengukuran hari ke-2 dengan kenaikan sebesar 0,47, dari nilai 4,29 menjadi 4,76. Kenaikan pH terbesar terjadi pada pengukuran hari ke-4 yaitu sebesar 1,34, dari nilai awal 4,76 menjadi 6,10, namun pada pengukuran hari ke-6 dan ke-8 terjadi penurunan pH kembali. Nilai pH turun menjadi 5,94 pada hari ke-6, kemudian pH turun kembali menjadi 5,46 pada hari ke-8.

Data di atas juga menunjukkan adanya peningkatan pH dari awal penelitian yaitu sebesar 4,29, dengan di akhir penelitian pada tiap perlakuan. Nilai pH pada perlakuan A atau bak kontrol mengalami peningkatan sebesar 0,74, dengan nilai pH pada akhir penelitian sebesar 5,03 dan efisiensi kenaikan pH sebesar 17,17%. Nilai pH pada perlakuan B atau bak eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) mengalami peningkatan sebesar 1,63, dengan nilai pH pada akhir penelitian sebesar 5,92 dan efisiensi kenaikan pH sebesar 37,92%. Nilai pH pada perlakuan C atau bak kayu apu (*Pistia stratiotes*) mengalami peningkatan sebesar 1,17, dengan nilai pH pada akhir penelitian sebesar 5,46 dan efisiensi kenaikan pH sebesar 27,20%.



**Gambar 10.** Grafik Hasil Pengukuran pH

Berdasarkan analisa sidik ragam, dilakukan uji F untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap respon yang diukur sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 12.

**Tabel 12.** Sidik Ragam Nilai pH

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	F Tabel	
					5%	1%
Perlakuan (tanaman)	2	3.62	1.81	89.09**	3.32	5.39
Waktu dalam Perlakuan	12	18.17	1.51	74.48**	2.09	2.48
Galat	30	0.61	0.02			
<b>Total</b>	<b>44</b>	<b>22.40</b>				

Ket: \*\* = berbeda sangat nyata

Tabel sidik ragam di atas didapatkan nilai F hitung perlakuan yaitu 89.09, dimana nilai ini lebih besar dari F tabel 5% maupun 1%, sehingga dapat dikatakan bahwa perlakuan perbedaan tanaman memberikan pengaruh berbeda sangat nyata terhadap kenaikan nilai pH pada taraf kepercayaan 95% maupun 99%. Hasil nilai F hitung waktu dalam perlakuan yaitu 74.48, dimana nilai ini lebih besar dari F tabel 5% maupun 1%, ini berarti waktu pengamatan turut mempengaruhi kenaikan nilai pH pada taraf kepercayaan 95% maupun 99%.

Adanya kenaikan nilai pH yang berbeda sangat nyata pada perlakuan jenis tanaman dan waktu dalam perlakuan, maka dilakukan uji BNT (Beda Nyata Terkecil) untuk mengetahui perbedaan masing-masing perlakuan terhadap penurunan sianida, sehingga didapat urutan perlakuan yang terbaik.

Hasil perhitungan BNT (Lampiran 6) pada perlakuan jenis tanaman dan waktu dalam perlakuan terhadap nilai pH, didapatkan perbedaan yang nyata antara perlakuan A (kontrol), B (eceng gondok), dan C (kayu apu), dengan kenaikan pH terbesar pada perlakuan B, yaitu yang diberi perlakuan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dengan waktu 6 hari. Menurut Axler *et al.* (2004) dalam Felani dan Hamzah (2007), aktifitas fotosintesis dari tanaman mengambil CO<sub>2</sub> terlarut dari air melalui stomatanya yang delapan kali lebih besar dari tanaman lain, sehingga dapat menyebabkan terjadinya peningkatan pH.

Kenaikan nilai pH terbesar justru terjadi pada pengamatan hari ke-6, hal ini karena pada waktu pengamatan ini belum banyak terjadi kerontokan akar, berbeda dengan pengamatan selanjutnya. Pada pengamatan hari ke-8 telah banyak terjadi kerontokan akar tanaman, serta ada pula daun yang layu atau mati, dan membusuk di dalam air, dimana sisa-sisa tanaman ini merupakan salah satu penyumbang bahan organik selain dari limbah cair tapioka itu sendiri. Menurut Ginting (1995), bahan organik yang telah diserap atau diikat oleh tanaman akan didegradasi oleh bakteri *Bacillus subtilis* menjadi senyawa yang sederhana, yaitu asam amino dan asam lemak (asam organik) hingga dihasilkan amoniak, nitrat, nitrit dan nitrogen, sehingga dengan terbentuknya asam organik hasil pemecahan protein dan lemak ini, maka pH dapat turun.

#### 4.3.6 Bobot Basah Tanaman

Bobot atau berat basah tanaman merupakan ukuran yang umum digunakan untuk mengetahui pertumbuhan suatu tanaman, khususnya dalam

kasus fitoremediasi (Purnamasari, 2014). Pengukuran bobot basah tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*) pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan bobot tanaman sebelum dan sesudah ditanam pada air yang terpapar limbah cair tapioka. Data hasil pengukuran bobot basah dapat dilihat pada Tabel 13.

Data hasil pengukuran bobot basah tanaman menunjukkan bahwa terjadi penurunan bobot basah hingga akhir penelitian. Bak perlakuan B atau bak dengan perlakuan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), bobot basah turun 24,14 gram atau turun sebesar 11,87% dari bobot awalnya, sehingga bobot akhirnya menjadi 179,23 gram. Bak perlakuan C atau bak dengan perlakuan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*), bobot basah turun 59,83 gram atau turun sebesar 29,14% dari bobot awalnya, sehingga bobot akhirnya menjadi 145,47 gram.

**Tabel 13.** Data Hasil Pengukuran Bobot Basah Tanaman

Perlakuan	Ulangan	Hari ke-				% Penurunan
		0		8		
		Bobot (gr)	Rerata bobot (gr)	Bobot (gr)	Rerata bobot (gr)	
B	I	203,08	203,37	181,56	179,23	11,87
	II	199,71		179,31		
	III	207,32		176,83		
C	I	207,58	205,30	152,49	145,47	29,14
	II	201,69		144,82		
	III	206,62		139,11		

Ket: B = perlakuan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*)

C = perlakuan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*)

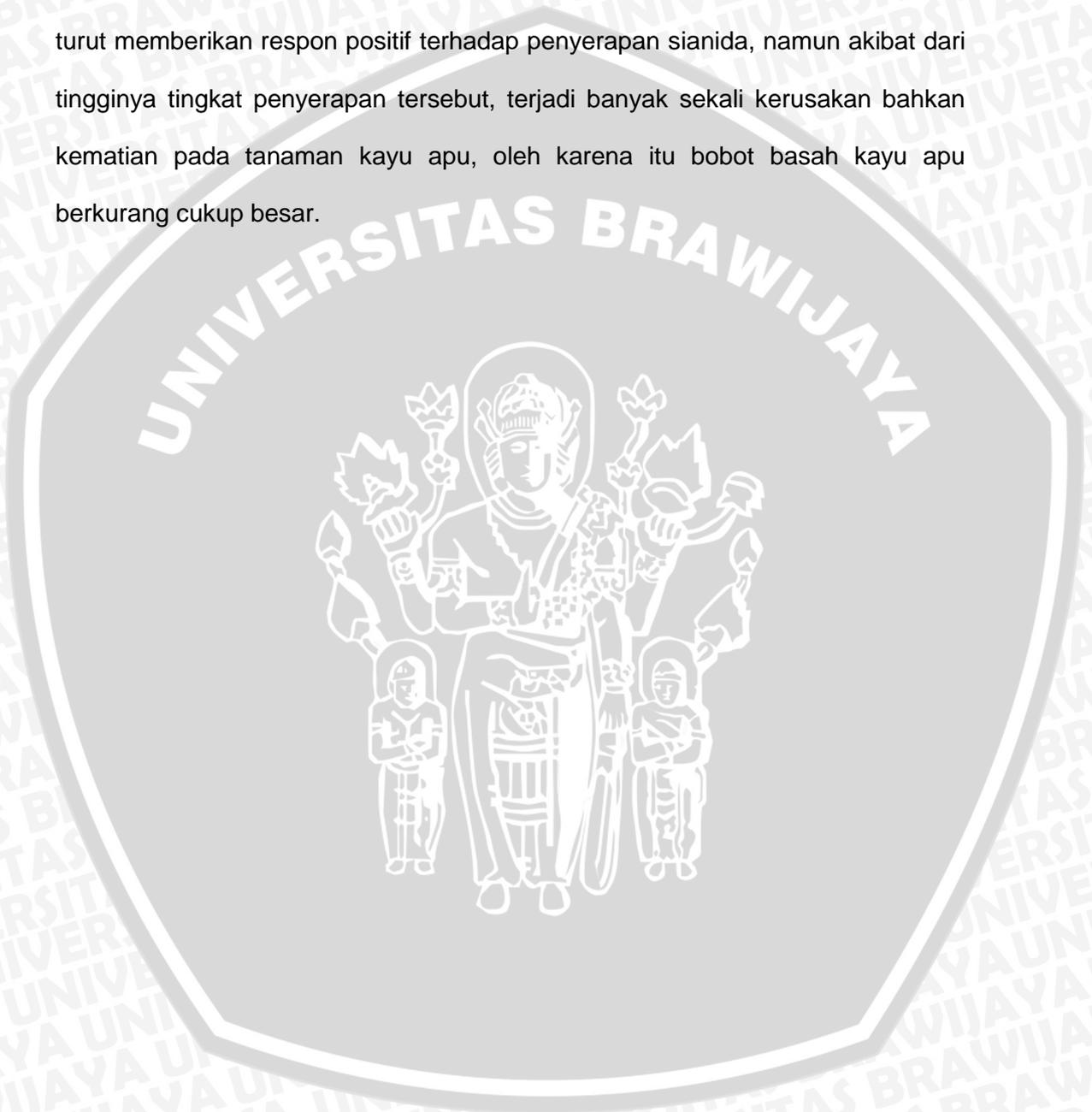
Penurunan bobot basah tanaman ini dapat disebabkan karena kemampuan menyerap bahan organik yang tinggi pada awal penelitian, sehingga lama kelamaan menyebabkan daun tanaman menjadi layu (Chun, 2007 dalam Indah *et al.*, 2014). Kerusakan tanaman seperti kerontokan akar dan layunya daun akibat kurang bisanya adaptasi terhadap toksisitas sianida juga berperan pada turunnya bobot basah tanaman tersebut. Hal ini dapat diartikan bahwa limbah

cair tapioka dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman air dan bersifat toksik jika dalam jumlah banyak, sehingga dapat menyebabkan turunnya bobot basah bahkan kematian tanaman, khususnya dalam penelitian ini adalah eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*).

#### **4.4 Efektifitas Hasil Fitoremediasi oleh Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)**

Fitoremediasi pada penelitian ini memberikan respon berbeda pada tiap parameter di tiap perlakuan tanaman. Eceng gondok mampu menurunkan BOD, COD, dan TSS, serta dapat meningkatkan pH lebih baik dari perlakuan lain. Akar eceng gondok yang lebat memiliki peran besar dalam proses fitoremediasi ini, dimana bagian tanaman ini yang kontak langsung dengan limbah. Eceng gondok menyerap kontaminan melalui akarnya, selain itu oksigen yang dihasilkan oleh eceng gondok dari aktifitas fotosintesisnya merupakan suplai oksigen pada air limbah tapioka, hal inilah yang membantu penurunan nilai BOD dan COD. Akar eceng gondok juga berperan dalam penurunan TSS, dimana struktur akar yang lebat merupakan tempat menempelnya partikel-partikel yang melayang pada limbah tapioka. Penurunan BOD, COD, dan TSS memberikan dampak pada peningkatan pH, karena bahan organik yang menurunkan pH tersebut telah berkurang, selain itu eceng gondok memiliki daun yang tebal, lebar, dan berstomata besar, sehingga aktifitas fotosintesis pada tanaman ini cukup tinggi. Eceng gondok akan mengambil CO<sub>2</sub> yang terlarut pada air limbah untuk digunakan berfotosintesis sehingga pH dapat meningkat. Penurunan berat basah eceng gondok tidak sebesar kayu apu, hal ini karena badan eceng gondok yang lebih besar dan tebal dibanding kayu apu, sehingga lebih tahan terhadap toksisitas limbah cair tapioka.

Kayu apu sendiri mampu menurunkan kadar Sianida (CN) pada limbah cair tapioka lebih besar dari eceng gondok. Akar tanaman kembali berperan penting dalam penyerapan sianida ini. Kayu apu dapat menyerap sianida melalui suatu reaksi yang terjadi di akarnya, selain itu banyaknya jumlah individu kayu apu turut memberikan respon positif terhadap penyerapan sianida, namun akibat dari tingginya tingkat penyerapan tersebut, terjadi banyak sekali kerusakan bahkan kematian pada tanaman kayu apu, oleh karena itu bobot basah kayu apu berkurang cukup besar.



## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

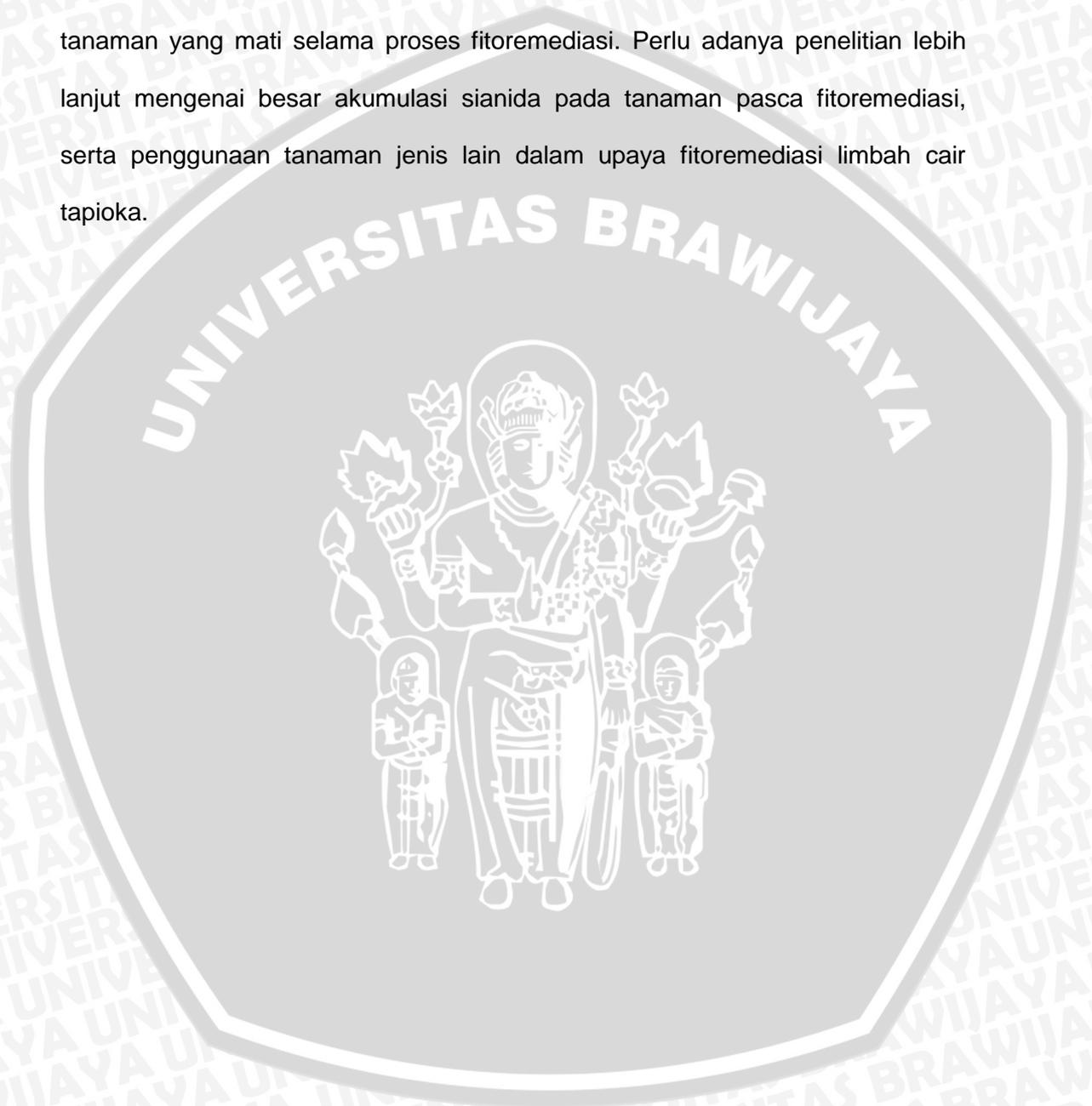
Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- Perlakuan fitoremediasi limbah cair tapioka terbaik pada penelitian selama 8 hari yaitu dengan menggunakan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*), terbukti karena kemampuannya menurunkan kadar Sianida (CN) sebagai zat racun lebih tinggi dibandingkan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), hal ini juga ditunjukkan oleh hasil analisa sidik ragam dan uji BNT bahwa ada perbedaan yang sangat nyata antara perlakuan jenis tanaman dan waktu dalam perlakuan terhadap parameter sianida, yaitu F-hitung lebih besar dari F-tabel pada selang kepercayaan 99%.
- Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) lebih efektif dalam fitoremediasi limbah cair tapioka selama 8 hari ditinjau dari parameter BOD, COD, TSS, dan pH, hal ini ditunjukkan oleh hasil analisa sidik ragam dan uji BNT bahwa ada perbedaan yang sangat nyata antara perlakuan jenis tanaman dan waktu dalam perlakuan terhadap parameter tersebut, yaitu F-hitung lebih besar dari F-tabel pada selang kepercayaan 99%.
- Bobot basah tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*) mengalami penurunan akibat dari aktifitas fitoremediasi pada limbah cair tapioka selama 8 hari. Bobot basah eceng gondok turun 11,87% dan bobot basah kayu apu turun 29,14% dari berat awal ( $\pm 200$  gram).

### 5.2 Saran

Saran dari penelitian ini adalah perlu adanya kesadaran dan aksi aktif oleh pelaku industri rumah tangga untuk melakukan pengolahan limbah sebelum

dibuang ke perairan, sehingga meminimalisir terjadinya pencemaran. Pengolahan limbah cair tapioka dengan fitoremediasi sebaiknya juga memperhatikan waktu daya tahan tanaman terhadap toksisitas limbah, sehingga meminimalisir terjadinya penurunan kualitas air limbah akibat dari banyaknya tanaman yang mati selama proses fitoremediasi. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai besar akumulasi sianida pada tanaman pasca fitoremediasi, serta penggunaan tanaman jenis lain dalam upaya fitoremediasi limbah cair tapioka.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abdurahman, D. Dan Aprilia. 2008. Biologi Kelompok Pertanian dan Kesehatan. Grafindo Media Pratama: Bandung.
- Agarwal, S. K. 2009. Water Pollution. APH Publishing Corp.: New Delhi
- Ahmad, A. M., G. Djojowasito, dan R. Widiatmoko. 2012. Pita organik sebagai bahan penanaman padi sawah. *Laporan Penelitian*. Fakultas Teknik Pertanian-Universitas Brawijaya.
- Ashraf, M., M. Ozturk, dan M. S. A. Ahmad. 2010. Plant Adaptation and Phytoremediation. Springer Science and Business Media BV : Belanda
- Asja, M. S. 2013. Percobaan Bergalat Tunggal: Rancangan Acak Lengkap (RAL). <http://mawardisyana.blogspot.co.id/2013/03/percobaan-bergalat-tunggal-rancangan.html>
- Boyd, C. E. 1998. Water Quality for Pond Aquaculture. Auburn University: Alabama, USA
- Burwani dan G. Subroto. 2011. Jenis tumbuhan air di Suaka Perikanan Awang Landas perairan sungai Barito, Kalimantan Selatan. *BTL*. **9** (1): 1-6
- Cook, C. D. K., B. J. Gut, E. M. Rix, J. Schneller, dan M. Settz. 1974. Water Plants of The World. The Piman Press: Inggris
- Darmawan, A. F., N. Herlina, dan R. Soelistyono. 2013. Pengaruh berbagai macam bahan organik dan pemberian air terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman sawi (*Brassica juncea* L.). *Jurnal Produksi Tanaman*. **1** (5): 389-397
- Dhir, Bhupinder. 2013. Phytoremediation: Role of Aquatic Plants in Enviromental Clean-Up. Springer: India
- Dzombak, D. A., R. S. Ghosh, dan G. M. Wong-Chong. 2006. Cyanide in Water and Soil: Chemistry, Risk, and Management. CRC Press: USA
- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air. Kanisius: Yogyakarta
- Fachrurozi, M., L. B. Utami, dan D. Suryani. 2010. Pengaruh variasi biomassa *Pistia stratiotes* L. terhadap penurunan kadar BOD, COD, dan TSS limbah cair tahu di Dusun Klero Sleman Yogyakarta. *KES MAS*. **4** (1): 1-16
- Felani, M., dan A. Hamzah. 2007. Fitoremediasi limbah cair industri tapioka dengan tanaman Eceng gondok. *Buana Sains*. **7** (1): 11-20
- Ginting, P. 1995. Mencegah dan Mengendalikan Pencemaran Industri. Pustaka Sinar Harapan: Jakarta

- Hadiyanto dan M. Christwardana. 2012. Aplikasi fitoremediasi limbah jamu dan pemanfaatannya untuk produksi protein. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. **10** (1): 32-37
- Hardyanti, N. dan S. S. Rahayu. 2007. Fitoremediasi Phospat dengan pemanfaatan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) (studi kasus pada limbah cair industri kecil laundry). *Jurnal Presipitasi Universitas Diponegoro*. **2** (1): 28-33
- Hariyadi, S., I. N. N. Suryadiputra, dan B. Widigdo. 1992. Limnologi (Petunjuk Praktikum dan Metode Analisa Kualitas Air). Fakultas Perikanan - Institut Pertanian Bogor: Bogor
- Hermawati, E., Wiryanto, dan Solichatun. 2005. Fitoremediasi limbah detergen menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) dan Genjer (*Limnocharis flava* L.). *BioSMART*. **7** (2): 115-124
- Hynes, H. B. N. 1963. *The Biology of Polluted Waters*. Liverpool University Press: Liverpool
- Indah, L. S., B. Hendarto, dan P. Soedarsono. 2014. Kemampuan Eceng Gondok (*Eichhornia* sp.), Kangkung Air (*Ipoema* sp.), dan Kayu Apu (*Pistia* sp.) dalam menurunkan bahan organik limbah industri tahu (skala laboratorium). *Diponegoro Journal of Maquares*. **3** (1): 1-6
- Jenie, B. S. L., dan W. P. Rahayu. 2007. *Penanganan Limbah Industri Pangan*. Kanisius: Yogyakarta
- Kharisma, F. 2015. Jenis-Jenis Limbah. [http://falah-kharisma.blogspot.co.id/2015/02/jenis-jenis-limbah\\_22.html](http://falah-kharisma.blogspot.co.id/2015/02/jenis-jenis-limbah_22.html)
- Kordi, M.G.H. dan A.B. Tancung. 2010. *Pengelolaan Kualitas Air dalam Budidaya Perairan*. Rineka Cipta: Jakarta.
- \_\_\_\_\_. 2014. *Panen Untung dari Akuabisnis Ikan Gurami*. Lily Publisher: Yogyakarta.
- Lestari, G., dan I. P. Kencana. 2015. *Tanaman Hias Lanskap*. Penebar Swadaya: Jakarta
- Lumaela, A.K., B.W. Otok, dan Sutikno. 2013. Pemodelan *Chemical Oxygen Demand* (COD) sungai di Surabaya dengan metode *Mixed Geographically Weighted Regression*. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*. **2** (1): 100–105.
- Maizar, A. S. H. 2011. *Pencemaran Lingkungan (Sumber, Dampak, dan Upaya Penanggulangannya)*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan - Universitas Brawijaya: Malang
- Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Kawasan Industri.
- Moenandar, J. 1988. *Pengantar Ilmu dan Pegendali Gulma*. Rajawali Press: Jakarta

- Momonto, H. 2013. *Uji Potensi Kayu Apu (Pistia stratiotes L.) dalam Menurunkan Kadar Sianida (CN) pada Limbah Cair Penambangan Emas*. Skripsi. Fakultas Ilmu-Ilmu Kesehatan dan Keolahragaan – Universitas Negeri Gorontalo
- Nash, H., S. Stroupe, P. Slooam, dan B. Romar. 2003. *Complete Guide to Water Garden Plants*. Sterling Publishing Co.: New York
- Nazir, M. 2003. *Metode Penelitian*. Ghalia Indonesia: Jakarta.
- Nurkemalasar, R., M. Sutisna, dan E. Wardhani. 2013. *Fitoremediasi limbah cair tapioka dengan menggunakan tumbuhan kangkung air (Ipomoea aquatica)*. *Reka Lingkungan*. 1 (2): 1-12.
- Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Limbah Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya
- Prasad, M. N. V., K. S. Sajwan, dan R. Naidu. 2006. *Trace Elements in the Environment: Biogeochemistry, Biotechnology, and Bioremediation*. Taylor and Francis Group: Boca Raton
- Pratiwi, M. C. 2010. *Pemanfaatan Kangkung Air (Ipomea Aquatica) dan Lumpur Aktif Pabrik Tekstil dalam Pengolahan Limbah Cair Tahu*. Skripsi. Fakultas Perikanan - Institut Pertanian Bogor
- Prayitno, H. T. 2008. *Pemisahan Padatan Tersuspensi Limbah Cair Tapioka dengan Teknologi Membran sebagai Upaya Pemanfaatan dan Pengendalian Pencemaran Lingkungan*. Tesis. Program Pasca Sarjana–Universitas Diponegoro.
- Purnamasari, M. 2014. *Efektifitas Tanaman Eceng Gondok (Eichhornia crassipes) dan Kayu Apu (Pistia stratiotes) dalam Menurunkan Kandungan Nitrat (NO<sub>3</sub>-) dan Ortofosfat (PO<sub>4</sub>3-) pada Limbah Cair Tahu*. Skripsi. Fakultas Perikanan - Universitas Brawijaya
- Rahmaningsih, H. D. 2006. *Kajian Penggunaan Eceng Gondok (Eichhornia crassipes) pada Penurunan Senyawa Nitrogen Efluen Pengolahan Limbah Cair PT. CAPSUGEL Indonesia*. Skripsi. Fakultas Teknik Pertanian - Institut Pertanian Bogor
- Ratnani, R. D., I. Hartati, dan L. Kurniasari. 2011. *Pemanfaatan eceng gondok (Eichhornia crassipes) untuk menurunkan kandungan COD (Chemical Oxygen Demand), pH, bau, dan warna pada limbah cair tahu*. *Momentum*. 7 (1): 41-47
- Rukmi, D. P., Ellyke, dan R. S. Pujiati. 2013. *Efektifitas eceng gondok () dalam menurunkan kadar detergen, BOD, dan COD, pada air limbah laundry (studi di laundry X di kelurahan Jember Lor Kecamatan Patrang Kabupaten Jember)*. Artikel Penelitian Mahasiswa. Fakultas Kesehatan Masyarakat - Universitas Jember
- Sastrosupadi, A. 2000. *Rancangan Percobaan Praktis Bidang Pertanian (Edisi Revisi)*. Kanisius: Yogyakarta

- Setiawan, B. 2014. Pengelompokan Limbah berdasarkan Bentuk dan Wujudnya. <http://ilmulingkungan.com/pengelompokan-limbah-berdasarkan-bentuk-atau-wujudnya/>
- Sincero, A. P., dan G. A. Sincero. 2003. Physical-Chemical Treatment of Water and Wastewater. IWA Publishing: London
- Suardana, I. W. 2001. *Penggunaan Eceng Gondok (Eichhornia crassipes (Mart) Solm) sebagai Salah Satu Teknik Pengolahan Alternatif Air Limbah Asal Rumah Pemotongan Hewan (RPH) Kotamadya Bogor*. Tesis. Program Pasca Sarjana – Institut Pertanian Bogor
- Suprpti, M. L. 2009. Tepung Tapioka, Pembuatan dan Pemanfaatannya. Cetakan 5. Kanisius: Yogyakarta
- Suryabrata, S. 1987. Metodologi Penelitian. Rajawali Pers. Jakarta.
- Tarigan, M.S. 2009. Aplikasi Satelit Aqua MODIS untuk memprediksikan Model Pemetaan Kecerahan Air Laut di Perairan Teluk Lada, Banten. *Jurnal Ilmu Kelautan*. **14** (3) : 126-131.
- Tjokrokusumo, S. W., dan F. L. Sahwan. 2003. Tanaman potensial penyerap limbah studi kasus di pulau Batam. *Jurnal Teknik Lingkungan*. **4** (2): 8-15
- Wachirawongsakorn, P., T. Jamnongkan, dan M. T. Latif. 2015. Removal of Cyanide-Contaminated Water by Vetiver Grasses. *Modern Applied Science*. **9** (13): 252-262
- Yapaga, S., Y. B. Ossey, dan V. Kouame. 2013. Phytoremediation of Zinc, Cadmium, and Chrome from industrial wastewater by *Eichhornia crassipes*. *International Journal of Conservation Science*. **4** (1): 81-86
- Yuningsih. 2012. Keracunan sianida pada hewan dan upaya pencegahannya. *Jurnal Litbang Pertanian*. **31** (1): 21-26
- Yusuf, G. 2008. Bioremediasi limbah rumah tangga degan sistem simulasi tanaman air. *Jurnal Bumi Lestari*. **8** (2): 136-144

## LAMPIRAN

**Lampiran 1.** Alat dan Bahan yang Digunakan dalam Pengukuran Parameter

Parameter	Alat	Bahan
BOD	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Botol gelap BOD</li> <li>• Botol terang BOD</li> <li>• Statif</li> <li>• Buret</li> <li>• Pipet tetes</li> <li>• BOD <i>incubator</i></li> <li>• <i>Beaker glass</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Air sampel limbah cair tapioka</li> <li>• <math>MnSO_4</math></li> <li>• NaOH+KI</li> <li>• <math>H_2SO_4</math> pekat</li> <li>• Amylum</li> <li>• <math>Na_2S_2O_3</math> 0,025 N</li> <li>• akuades</li> </ul>
COD	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pipet tetes</li> <li>• Buret</li> <li>• Statif</li> <li>• Pipet volume</li> <li>• Bola hisap</li> <li>• Erlenmeyer</li> <li>• Gelas ukur</li> <li>• Kaca penutup</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Air sampel limbah cair tapioka</li> <li>• <math>K_2Cr_2O_7</math></li> <li>• Asam sulfat pekat</li> <li>• Larutan indikator ferroin</li> <li>• Larutan FAS 0,1 N</li> <li>• akuades</li> </ul>
TSS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oven</li> <li>• Desikator</li> <li>• Timbangan analitik</li> <li>• penjepit</li> <li>• <i>Vacum pump</i></li> <li>• Gelas ukur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kertas saring <i>Whatman</i></li> <li>• Air sampel limbah cair tapioka</li> <li>• akuades</li> </ul>
Sianida (CN)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spektrofotometer</li> <li>• Pipet volume</li> <li>• Labu ukur</li> <li>• Distilasi set</li> <li>• Cuvet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Air sampel limbah cair tapioka</li> <li>• <math>H_2SO_4</math></li> <li>• Natrium karbonat</li> <li>• NaOH</li> <li>• Ninhidrin 1%</li> <li>• akuades</li> </ul>
pH	pH meter	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Air sampel media limbah cair tapioka</li> <li>• Akuades</li> <li>• tisu</li> </ul>
Bobot basah	Timbangan analitik	Tanaman eceng gondok ( <i>Eichhornia crassipes</i> ) dan atau kayu apu ( <i>Pistia stratiotes</i> )

**Lampiran 2. Data Hasil Pengukuran BOD**

Ulangan	Kontrol					Eceng Gondok					Kayu Apu				
	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8
I	725	702	657	581	493	725	672	428	327	231	725	620	475	394	320
II	725	692	646	579	470	725	640	445	288	182	725	623	481	403	347
III	725	680	644	548	474	725	658	421	306	193	725	605	456	382	334
Total Yij	2175	2074	1947	1708	1437	2175	1970	1294	921	606	2175	1848	1412	1179	1001
Rerata Yij	725	691.33	649	569.33	479	725	656.67	431.33	307	202	725	616	470.67	393	333.67
Total Yi	9341					6966					7615				
Total Y	23922														
Rerata Y	7974														

## Lanjutan Lampiran 2

### Perhitungan Sidik Ragam

$$\text{Faktor Koreksi (FK)} = \frac{Y^2}{abn} = \frac{(725+702+\dots+334)^2}{3 \times 5 \times 3} = 12716935,2$$

$$\begin{aligned} \text{JK Total (JKT)} &= \sum_{i=1} \sum_{j=1} \sum_{k=1} Y_{ijk}^2 - \text{FK} \\ &= (725^2 + 702^2 + \dots + 334^2) - 12716935,2 \\ &= 1234441 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Perlakuan (JKP)} &= \sum_{i=1} \frac{Y_i^2}{bn} - \text{FK} \\ &= \frac{(3941^2 + 6966^2 + 7615^2)}{5 \times 3} - 12716935,2 \\ &= 200908.9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Waktu (Perlakuan)} &= \sum_{i=1} \sum_{j=1} \frac{Y_{ij}^2}{n} - \left( \sum_{i=1} \frac{Y_i^2}{bn} \right) \\ &= \frac{(2175^2 + 2074^2 + \dots + 1001^2)}{3} - \frac{(3941^2 + 6966^2 + 7615^2)}{5 \times 3} \\ &= 1028188 \end{aligned}$$

Tabel Sidik Ragam BOD

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	F Tabel	
					5%	1%
Perlakuan (tanaman)	2	200908.93	100454.5	563.93**	3.32	5.39
Waktu dalam Perlakuan	12	1028188	85682.32	481.00**	2.09	2.48
Galat	30	5344	178.13			
<b>Total</b>	<b>44</b>	<b>1234441</b>				

Ket: \*\* = berbeda sangat nyata

## Lanjutan Lampiran 2

### Perhitungan Uji BNT (Beda Nyata Terkecil)

- **BNT Perlakuan Tanaman**

$$\text{BNT } 5\% = t(0,025) \times \sqrt{\frac{2 \times KTG}{n}}$$

$$= 2,042 \times \sqrt{\frac{2 \times 5344}{3}}$$

$$= 22,25$$

$$\text{BNT } 1\% = t(0,005) \times \sqrt{\frac{2 \times KTG}{n}}$$

$$= 2,75 \times \sqrt{\frac{2 \times 5344}{3}}$$

$$= 29,97$$

- **BNT Waktu dalam Perlakuan**

$$\text{BNT } 5\% = t(0,025) \times \sqrt{\frac{2 \times KTG}{n}}$$

$$= 2,042 \times \sqrt{\frac{2 \times 5344}{5}}$$

$$= 17,24$$

$$\text{BNT } 1\% = t(0,005) \times \sqrt{\frac{2 \times KTG}{n}}$$

$$= 2,75 \times \sqrt{\frac{2 \times 5344}{5}}$$

$$= 23,21$$

Tabel Hasil Perhitungan Uji BNT Perlakuan Tanaman terhadap BOD

		B	C	A	Notasi
		1393.2	1523	1868.2	
B	1393.2	0			a
C	1523.00	129.8**	0		b
A	1868.2	475**	345.2**	0	c

Lanjutan Lampiran 2

Tabel Hasil Uji BNT Waktu dalam Perlakuan terhadap BOD

		BP8	BP6	CP8	CP6	BP4	CP4	AP8	AP6	CP2	AP4	BP2	AP2	AP0	BP0	CP0	Notasi
		202.00	307.00	333.67	393.00	431.33	470.67	479.00	569.33	616.00	649.00	656.67	691.33	725.00	725.00	725.00	
BP8	202.00	0															a
BP6	307.00	105.00**	0.00														b
CP8	333.67	131.67**	26.67**	0.00													b
CP6	393.00	191.00**	86.00**	59.33**	0.00												b
BP4	431.33	229.33**	124.33**	97.67**	38.33**	0.00											c
CP4	470.67	268.67**	163.67**	137.00**	77.67**	39.33**	0.00										c
AP8	479.00	277.00**	172.00**	145.33**	86.00**	47.67**	8.33	0.00									c
AP6	569.33	367.33**	262.33**	235.67**	176.33**	138.00**	98.67**	90.33**	0.00								d
CP2	616.00	414.00**	309.00**	282.33**	223.00**	184.67**	145.33**	137.00**	46.67**	0.00							e
AP4	649.00	447.00**	342.00**	315.33**	256.00**	217.67**	178.33**	170.00**	79.67**	33.00**	0.00						e
BP2	656.67	454.67**	349.67**	323.00**	263.67**	225.33**	186.00**	177.67**	87.33**	40.67**	7.67	0.00					e
AP2	691.33	489.33**	384.33**	357.67**	298.33**	260.00**	220.67**	212.33**	122.00**	75.33**	649.00**	34.67**	0.00				f
AP0	725.00	523.00**	418.00**	391.33**	332.00**	293.67**	254.33**	246.00**	155.67**	109.00**	76.00**	68.33**	33.67**				f
BP0	725.00	523.00**	418.00**	391.33**	332.00**	293.67**	254.33**	246.00**	155.67**	109.00**	76.00**	68.33**	33.67**				f
CP0	725.00	523.00**	418.00**	391.33**	332.00**	293.67**	254.33**	246.00**	155.67**	109.00**	76.00**	68.33**	33.67**				f

Ket :

\*\* = berbeda sangat nyata

P = pengamatan hari ke-...

A = tanpa perlakuan tanaman (kontrol)

B = perlakuan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*)

C = perlakuan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*)

**Lampiran 3. Data Halis Pengukuran COD**

Ulangan	Kontrol					Eceng Gondok					Kayu Apu				
	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8
I	1140	1104	975	853	772	1140	877	633	495	374	1140	921	729	615	563
II	1140	1088	1021	937	842	1140	857	601	489	362	1140	904	696	602	536
III	1140	1084	996	882	808	1140	869	612	517	388	1140	937	708	596	561
Total Yij	3420	3276	2992	2672	2422	3420	2603	1846	1501	1124	3420	2762	2133	1813	1660
Rerata Yij	1140	1092	997.33	890.67	807.33	1140	867.67	615.33	500.33	374.67	1140	920.67	711.00	604.33	553.33
Total Yi	14782					10494					11788				
Total Y	37064														
Rerata Y	12354.67														

### Lanjutan Lampiran 3

#### Perhitungan Sidik Ragam COD

$$\text{Faktor Koreksi (FK)} = \frac{Y^2}{abn} = \frac{(1140+1104+\dots+561)^2}{3 \times 5 \times 3} = 30527558$$

$$\begin{aligned} \text{JK Total (JKT)} &= \sum_{i=1} \sum_{j=1} \sum_{k=1} Y_{ijk}^2 - \text{FK} \\ &= (1140^2 + 1104^2 + \dots + 561^2) - 30527558 \\ &= 2716304,31 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Perlakuan (JKP)} &= \sum_{i=1} \frac{Y_i^2}{bn} - \text{FK} \\ &= \frac{(14782^2 + 10494^2 + 11788^2)}{5 \times 3} - 30527558 \\ &= 645009,24 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Waktu (Perlakuan)} &= \sum_{i=1} \sum_{j=1} \frac{Y_{ij}^2}{n} - \left( \sum_{i=1} \frac{Y_i^2}{bn} \right) \\ &= \frac{(3420^2 + 3276^2 + \dots + 561^2)}{3} - \frac{(14782^2 + 10494^2 + 11788^2)}{5 \times 3} \\ &= 2060670,40 \end{aligned}$$

Tabel Sidik Ragam COD

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	F Tabel	
					5%	1%
Perlakuan (tanaman)	2	645009.24	322504.62	910.63**	3.32	5.39
Waktu dalam Perlakuan	12	2060670.40	171722.53	484.88**	2.09	2.48
Galat	30	10624.67	354.16			
<b>Total</b>	<b>44</b>	<b>2716304.31</b>				

Ket: \*\* = berbeda sangat nyata

### Lanjutan Lampiran 3

#### Perhitungan Uji BNT (Beda Nyata Terkecil)

- **BNT Perlakuan Tanaman**

$$\begin{aligned} \text{BNT } 5\% &= t(0,025) \times \sqrt{\frac{2 \times KTG}{n}} \\ &= 2,042 \times \sqrt{\frac{2 \times 354,16}{3}} \\ &= 31,38 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BNT } 1\% &= t(0,005) \times \sqrt{\frac{2 \times KTG}{n}} \\ &= 2,75 \times \sqrt{\frac{2 \times 354,16}{3}} \\ &= 42,36 \end{aligned}$$

- **BNT Waktu dalam Perlakuan**

$$\begin{aligned} \text{BNT } 5\% &= t(0,025) \times \sqrt{\frac{2 \times KTG}{n}} \\ &= 2,042 \times \sqrt{\frac{2 \times 356,16}{5}} \\ &= 24,30 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BNT } 1\% &= t(0,005) \times \sqrt{\frac{2 \times KTG}{n}} \\ &= 2,75 \times \sqrt{\frac{2 \times 354,16}{5}} \\ &= 32,73 \end{aligned}$$

Tabel Hasil Perhitungan Uji BNT Perlakuan Tanaman terhadap COD

		B	C	A	Notasi
		2098.8	2357.6	2956.4	
B	2098.8	0			a
C	2357.60	258.8**	0		b
A	2956.4	857.6**	598.8**	0	c

### Lanjutan Lampiran 3

Tabel Hasil Uji BNT Waktu dalam Perlakuan terhadap COD

		BP8	BP6	CP8	CP6	BP4	CP4	AP8	BP2	AP6	CP2	AP4	AP2	AP0	BP0	CP0	Notasi
		374.67	500.33	553.33	604.33	615.33	711.00	807.33	867.67	890.67	920.67	997.33	1092.00	1140.00	1140.00	1140.00	
<b>BP8</b>	<b>374.67</b>	0															a
<b>BP6</b>	<b>500.33</b>	125.67**	0.00														b
<b>CP8</b>	<b>553.33</b>	178.67**	53.00**	0.00													b
<b>CP6</b>	<b>604.33</b>	229.67**	104.00**	51.00**	0.00												c
<b>BP4</b>	<b>615.33</b>	240.67**	115.00**	62.00**	11.00	0.00											c
<b>CP4</b>	<b>711.00</b>	336.33**	210.67**	157.67**	106.67**	95.67**	0.00										c
<b>AP8</b>	<b>807.33</b>	432.67**	307.00**	254.00**	203.00**	192.00**	96.33**	0.00									d
<b>BP2</b>	<b>867.67</b>	493.00**	367.33**	314.33**	263.33**	252.33**	156.67	60.33**	0.00								d
<b>AP6</b>	<b>890.67</b>	516.00**	390.33**	337.33**	286.33**	275.33**	179.67**	83.33**	23.00	0.00							e
<b>CP2</b>	<b>920.67</b>	546.00**	420.33**	367.33**	316.33**	305.33**	209.67**	113.33**	53.00**	30.00	0.00						e
<b>AP4</b>	<b>997.33</b>	622.67**	497.00**	444.00**	393.00**	382.00**	286.33**	190.00**	129.67**	106.67**	76.67**	0.00					e
<b>AP2</b>	<b>1092.00</b>	717.33**	591.67**	538.67**	487.67**	476.67**	381.00**	284.67**	224.33**	201.33**	920.67**	94.67**	0.00				f
<b>AP0</b>	<b>1140.00</b>	765.33**	639.67**	586.67**	535.67**	524.67**	429.00**	332.67**	272.33**	249.33**	219.33**	142.67**	48.00**				f
<b>BP0</b>	<b>1140.00</b>	765.33**	639.67**	586.67**	535.67**	524.67**	429.00**	332.67**	272.33**	249.33**	219.33**	142.67**	48.00**				f
<b>CP0</b>	<b>1140.00</b>	765.33**	639.67**	586.67**	535.67**	524.67**	429.00**	332.67**	272.33**	249.33**	219.33**	142.67**	48.00**				f

Ket :

\*\* = berbeda sangat nyata

P = pengamatan hari ke-...

A = tanpa perlakuan tanaman (kontrol)

B = perlakuan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*)

C = perlakuan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*)

**Lampiran 4. Data Hasil Pengukuran TSS**

Ulangan	Kontrol					Eceng Gondok					Kayu Apu				
	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8
I	1015	724	667	633	602	1015	651	504	481	517	1015	671	485	523	569
II	1015	708	682	626	591	1015	673	492	469	497	1015	647	469	541	572
III	1015	693	641	617	584	1015	667	487	473	505	1015	663	476	528	551
Total Yij	3045	2125	1990	1876	1777	3045	1991	1483	1423	1519	3045	1981	1430	1592	1692
Rerata Yij	1015	708.33	663.33	625.33	592.33	1015	663.67	494.33	474.33	506.33	1015	660.33	476.67	530.67	564.00
Total Yi	10813					9461					9740				
Total Y	30014														
Rerata Y	10004.67														

## Lanjutan Lampiran 4

### Perhitungan Sidik Ragam TSS

$$\text{Faktor Koreksi (FK)} = \frac{Y^2}{abn} = \frac{(1015+724+\dots+551)^2}{3 \times 5 \times 3} = 20018671,02$$

$$\begin{aligned} \text{JK Total (JKT)} &= \sum_{i=1} \sum_{j=1} \sum_{k=1} Y_{ijk}^2 - \text{FK} \\ &= (1015^2 + 724^2 + \dots + 551^2) - 20018671,02 \\ &= 1594894,98 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Perlakuan (JKP)} &= \sum_{i=1} \frac{Y_i^2}{bn} - \text{FK} \\ &= \frac{(10813^2 + 9461^2 + 9740^2)}{5 \times 3} - 20018671,02 \\ &= 67934,98 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Waktu (Perlakuan)} &= \sum_{i=1} \sum_{j=1} \frac{Y_{ij}^2}{n} - \left( \sum_{i=1} \frac{Y_i^2}{bn} \right) \\ &= \frac{(3045^2 + 2125^2 + \dots + 1692^2)}{3} - \frac{(10813^2 + 9461^2 + 9740^2)}{5 \times 3} \\ &= 1523778,67 \end{aligned}$$

Tabel Sidik Ragam TSS

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	F Tabel	
					5%	1%
Perlakuan (tanaman)	2	67934.98	33967.49	320.31**	3.32	5.39
Waktu dalam Perlakuan	12	1523778.67	126981.56	1197.44**	2.09	2.48
Galat	30	3181.33	106.04			
<b>Total</b>	<b>44</b>	<b>1594894.98</b>				

Ket: \*\* = berbeda sangat nyata

#### Lanjutan Lampiran 4

#### Perhitungan Uji BNT (Beda Nyata Terkecil)

- **BNT Perlakuan Tanaman**

$$\text{BNT } 5\% = t(0,025) \times \sqrt{\frac{2 \times KTG}{n}}$$

$$= 2,042 \times \sqrt{\frac{2 \times 106,04}{3}}$$

$$= 17,17$$

$$\text{BNT } 1\% = t(0,005) \times \sqrt{\frac{2 \times KTG}{n}}$$

$$= 2,75 \times \sqrt{\frac{2 \times 106,04}{3}}$$

$$= 23,12$$

- **BNT Waktu dalam Perlakuan**

$$\text{BNT } 5\% = t(0,025) \times \sqrt{\frac{2 \times KTG}{n}}$$

$$= 2,042 \times \sqrt{\frac{2 \times 106,04}{5}}$$

$$= 13,30$$

$$\text{BNT } 1\% = t(0,005) \times \sqrt{\frac{2 \times KTG}{n}}$$

$$= 2,75 \times \sqrt{\frac{2 \times 106,04}{5}}$$

$$= 17,91$$

Tabel Hasil Perhitungan Uji BNT Perlakuan Tanaman terhadap TSS

		B	C	A	Notasi
		1892.2	1948	2162.6	
B	1892.2	0			a
C	1948	55,8**	0		b
A	2162.6	270.4**	214.6**	0	c

Lanjutan Lampiran 4

Tabel Hasil Uji BNT Waktu dalam Perlakuan terhadap TSS

		BP6	CP4	BP4	BP8	CP6	CP8	AP8	AP6	CP2	AP4	BP2	AP2	AP0	BP0	CP0	Notasi
		474.33	476.67	494.33	506.33	530.67	564.00	592.33	625.33	660.33	663.33	663.67	708.33	1015	1015	1015	
BP6	474.33	0															a
CP4	476.67	2.33	0.00														a
BP4	494.33	20.00**	17.67**	0.00													b
BP8	506.33	32.00**	29.67**	12.00	0.00												b
CP6	530.67	56.33**	54.00**	36.33**	24.33**	0.00											c
CP8	564.00	89.67**	87.33**	69.67**	57.67**	33.33**	0.00										c
AP8	592.33	118.00**	115.67**	98.00**	86.00**	61.67**	28.33**	0.00									d
AP6	625.33	151.00**	148.67**	131.00**	119.00**	94.67**	61.33**	33.00**	0.00								d
CP2	660.33	186.00**	183.67**	166.00**	154.00**	129.67**	96.33**	68.00**	35.00**	0.00							d
AP4	663.33	189.00**	186.67**	169.00**	157.00**	132.67**	99.33**	71.00**	38.00**	3.00	0.00						d
BP2	663.67	189.33**	187.00**	169.33**	157.33**	133.00**	99.67**	71.33**	38.33**	3.33	0.33	0.00					d
AP2	708.33	234.00**	231.67**	214.00**	202.00**	177.67**	144.33**	116.00**	83.00**	48.00**	663.33**	44.67**	0.00				e
AP0	1015	540.67**	538.33**	520.67**	508.67**	484.33**	451.00**	422.67**	389.67**	354.67**	351.67**	351.33**	306.67**				f
BP0	1015	540.67**	538.33**	520.67**	508.67**	484.33**	451.00**	422.67**	389.67**	354.67**	351.67**	351.33**	306.67**				f
CP0	1015	540.67**	538.33**	520.67**	508.67**	484.33**	451.00**	422.67**	389.67**	354.67**	351.67**	351.33**	306.67**				f

Ket :

\*\* = berbeda sangat nyata

P = pengamatan hari ke-...

A = tanpa perlakuan tanaman (kontrol)

B = perlakuan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*)

C = perlakuan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*)

**Lampiran 5. Data Hasil Pengukuran Sianida (CN)**

Ulangan	Kontrol					Eceng Gondok					Kayu Apu				
	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8
I	8.45	8.21	7.85	7.17	6.62	8.45	8.02	6.85	4.99	3.06	8.45	7.28	5.33	3.86	2.67
II	8.45	8.16	7.72	7.42	6.93	8.45	8.15	6.61	4.78	3.26	8.45	7.34	5.39	4.03	3.21
III	8.45	8.28	7.91	7.28	6.56	8.45	7.84	6.72	4.91	3.15	8.45	7.19	5.32	3.99	2.48
Total Yij	25.35	24.65	23.48	21.87	20.11	25.35	24.01	20.18	14.68	9.47	25.35	21.81	16.04	11.88	8.36
Rerata Yij	8.45	8.22	7.83	7.29	6.70	8.45	8.00	6.73	4.89	3.16	8.45	7.27	5.35	3.96	2.79
Total Yi	115.46					93.69					83.44				
Total Y	292.59														
Rerata Y	97.53														

## Lanjutan Lampiran 5

### Perhitungan Sidik Ragam Sianida (CN)

$$\text{Faktor Koreksi (FK)} = \frac{Y^2}{abn} = \frac{(8,45+8,21+\dots+2,48)^2}{3 \times 5 \times 3} = 1902,42$$

$$\begin{aligned} \text{JK Total (JKT)} &= \sum_{i=1} \sum_{j=1} \sum_{k=1} Y_{ijk}^2 - \text{FK} \\ &= (8,45^2 + 8,21^2 + \dots + 2,48^2) - 1902,42 \\ &= 165,62 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Perlakuan (JKP)} &= \sum_{i=1} \frac{Y_i^2}{bn} - \text{FK} \\ &= \frac{(115,46^2 + 93,69^2 + 83,44^2)}{5 \times 3} - 1902,42 \\ &= 35,65 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Waktu (Perlakuan)} &= \sum_{i=1} \sum_{j=1} \frac{Y_{ij}^2}{n} - \left( \sum_{i=1} \frac{Y_i^2}{bn} \right) \\ &= \frac{(25,35^2 + 24,65^2 + \dots + 8,36^2)}{3} - \frac{(115,46^2 + 93,69^2 + 83,44^2)}{5 \times 3} \\ &= 129,39 \end{aligned}$$

### Tabel Sidik Ragam Sianida (CN)

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	F Tabel	
					5%	1%
Perlakuan (tanaman)	2	35.65	17.83	932.94**	3.32	5.39
Waktu dalam Perlakuan	12	129.39	10.78	564.34**	2.09	2.48
Galat	30	0.57	0.02			
<b>Total</b>	<b>44</b>	<b>165.62</b>				

Ket: \*\* = berbeda sangat nyata

Lanjutan Lampiran 5

Perhitungan Uji BNT (Beda Nyata Terkecil)

• BNT Perlakuan Tanaman

$$\begin{aligned} \text{BNT 5\%} &= t(0,025) \times \sqrt{\frac{2 \times KTG}{n}} & \text{BNT 1\%} &= t(0,005) \times \sqrt{\frac{2 \times KTG}{n}} \\ &= 2,042 \times \sqrt{\frac{2 \times 0,02}{3}} & &= 2,75 \times \sqrt{\frac{2 \times 0,02}{3}} \\ &= 0,23 & &= 0,31 \end{aligned}$$

• BNT Waktu dalam Perlakuan

$$\begin{aligned} \text{BNT 5\%} &= t(0,025) \times \sqrt{\frac{2 \times KTG}{n}} & \text{BNT 1\%} &= t(0,005) \times \sqrt{\frac{2 \times KTG}{n}} \\ &= 2,042 \times \sqrt{\frac{2 \times 0,02}{5}} & &= 2,75 \times \sqrt{\frac{2 \times 0,02}{5}} \\ &= 0,18 & &= 0,24 \end{aligned}$$

Tabel Hasil Perhitungan Uji BNT Perlakuan Tanaman terhadap Sianida (CN)

		C	B	A	Notasi
		16.688	18.738	23.092	
C	16.688	0			a
B	18.74	2.05**	0		b
A	23.092	6.404**	4.354**	0	c

Lanjutan Lampiran 5

Tabel Hasil Uji BNT Waktu dalam Perlakuan terhadap Sianida (CN)

		CP8	BP8	CP6	BP6	CP4	AP8	BP4	CP2	AP6	AP4	BP2	AP2	AP0	BP0	CP0	Notasi
		2.79	3.16	3.96	4.89	5.35	6.70	6.73	7.27	7.29	7.83	8.00	8.22	8.45	8.45	8.45	
CP8	2.79	0															a
BP8	3.16	0.37**	0.00														a
CP6	3.96	1.17**	0.80**	0.00													b
BP6	4.89	2.11**	1.74**	0.93**	0.00												c
CP4	5.35	2.56**	2.19**	1.39**	0.45**	0.00											d
AP8	6.70	3.92**	3.55**	2.74**	1.81**	1.36**	0.00										e
BP4	6.73	3.94**	3.57**	2.77**	1.83**	1.38**	0.02	0.00									e
CP2	7.27	4.48**	4.11**	3.31**	2.38**	1.92**	0.57**	0.54**	0.00								d
AP6	7.29	4.50**	4.13**	3.33**	2.40**	1.94**	0.59**	0.56**	0.02	0.00							d
AP4	7.83	5.04**	4.67**	3.87**	2.93**	2.48**	1.12**	1.10**	0.56**	0.54**	0.00						d
BP2	8.00	5.22**	4.85**	4.04**	3.11**	2.66**	1.30**	1.28**	0.73**	0.71**	0.18	0.00					e
AP2	8.22	5.43**	5.06**	4.26**	3.32**	2.87**	1.51**	1.49**	0.95**	0.93**	7.83**	0.21	0.00				e
AP0	8.45	5.66**	5.29**	4.49**	3.56**	3.10**	1.75**	1.72**	1.18**	1.16**	0.62**	0.45**	0.23				e
BP0	8.45	5.66**	5.29**	4.49**	3.56**	3.10**	1.75**	1.72**	1.18**	1.16**	0.62**	0.45**	0.23				e
CP0	8.45	5.66**	5.29**	4.49**	3.56**	3.10**	1.75**	1.72**	1.18**	1.16**	0.62**	0.45**	0.23				e

Ket :

\*\* = berbeda sangat nyata

P = pengamatan hari ke-...

A = tanpa perlakuan tanaman (kontrol)

B = perlakuan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*)

C = perlakuan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*)

**Lampiran 6. Data Hasil Pengukuran pH**

	Kontrol					Eceng Gondok					Kayu Apu				
	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8
I	4.29	4.47	4.91	5.26	5.05	4.29	5	5.91	6.3	5.89	4.29	4.67	6.2	5.92	5.51
II	4.29	4.52	5.02	5.38	5.11	4.29	5.26	6.27	6.52	6.04	4.29	4.73	5.79	5.8	5.33
III	4.29	4.8	5.13	5.35	4.92	4.29	4.74	6.03	6.37	5.82	4.29	4.89	6.31	6.09	5.53
Total Yij	12.87	13.79	15.06	15.99	15.08	12.87	15	18.21	19.19	17.75	12.87	14.29	18.3	17.81	16.37
Rerata Yij	4.29	4.60	5.02	5.33	5.03	4.29	5.00	6.07	6.40	5.92	4.29	4.76	6.10	5.94	5.46
Total Yi	72.79					83.02					79.64				
Total Y	235.45														
Rerata Y	78.48														

## Lanjutan Lampiran 6

### Perhitungan Sidik Ragam pH

$$\text{Faktor Koreksi (FK)} = \frac{Y^2}{abn} = \frac{(4,29+4,47+\dots+5,53)^2}{3 \times 5 \times 3} = 1231,93$$

$$\begin{aligned} \text{JK Total (JKT)} &= \sum_{i=1} \sum_{j=1} \sum_{k=1} Y_{ijk}^2 - \text{FK} \\ &= (4,29^2 + 4,47^2 + \dots + 5,53^2) - 1231,93 \\ &= 22,40 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Perlakuan (JKP)} &= \sum_{i=1} \frac{Y_i^2}{bn} - \text{FK} \\ &= \frac{(72,79^2 + 83,02^2 + 79,64^2)}{5 \times 3} - 1231,93 \\ &= 3,62 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Waktu (Perlakuan)} &= \sum_{i=1} \sum_{j=1} \frac{Y_{ij}^2}{n} - \left( \sum_{i=1} \frac{Y_i^2}{bn} \right) \\ &= \frac{(12,87^2 + 13,79^2 + \dots + 16,37^2)}{3} - \frac{(72,79^2 + 83,02^2 + 79,64^2)}{5 \times 3} \\ &= 18,17 \end{aligned}$$

### Tabel Sidik Ragam pH

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	F Tabel	
					5%	1%
Perlakuan (tanaman)	2	3.62	1.81	89.09**	3.32	5.39
Waktu dalam Perlakuan	12	18.17	1.51	74.48**	2.09	2.48
Galat	30	0.61	0.02			
<b>Total</b>	<b>44</b>	<b>22.40</b>				

Ket: \*\* = berbeda sangat nyata

## Lanjutan Lampiran 6

### Perhitungan Uji BNT (Beda Nyata Terkecil)

- **BNT Perlakuan Tanaman**

$$\text{BNT 5\%} = t(0,025) \times \sqrt{\frac{2 \times KTG}{n}}$$

$$= 2,042 \times \sqrt{\frac{2 \times 0,02}{3}}$$

$$= 0,24$$

$$\text{BNT 1\%} = t(0,005) \times \sqrt{\frac{2 \times KTG}{n}}$$

$$= 2,75 \times \sqrt{\frac{2 \times 0,02}{3}}$$

$$= 0,32$$

- **BNT Waktu dalam Perlakuan**

$$\text{BNT 5\%} = t(0,025) \times \sqrt{\frac{2 \times KTG}{n}}$$

$$= 2,042 \times \sqrt{\frac{2 \times 0,02}{5}}$$

$$= 0,18$$

$$\text{BNT 1\%} = t(0,005) \times \sqrt{\frac{2 \times KTG}{n}}$$

$$= 2,75 \times \sqrt{\frac{2 \times 0,02}{5}}$$

$$= 0,25$$

Tabel Hasil Perhitungan Uji BNT Perlakuan Tanaman terhadap pH

		B	C	A	Notasi
		14.56	15.93	16.60	
B	14.56	0			a
C	15.93	1.37**	0		b
A	16.60	2.046**	0.676**	0	c

## Lanjutan Lampiran 6

Tabel Hasil Uji BNT Waktu dalam Perlakuan terhadap pH

		AP1	BP1	CP1	AP2	CP2	BP2	AP4	AP8	AP6	CP8	BP8	CP6	BP6	CP4	BP6	Notasi
		4.29	4.29	4.29	4.60	4.76	5.00	5.02	5.03	5.33	5.46	5.92	5.94	6.07	6.10	6.40	
AP1	4.29	0															a
BP1	4.29	0.00	0.00														a
CP1	4.29	0.00	0.00	0.00													a
AP2	4.60	0.31**	0.31**	0.31**	0.00												b
CP2	4.76	0.47**	0.47**	0.47**	0.17	0.00											b
BP2	5.00	0.71**	0.71**	0.71**	0.40**	0.24**	0.00										c
AP4	5.02	0.73**	0.73**	0.73**	0.42**	0.26**	0.02	0.00									c
AP8	5.03	0.74**	0.74**	0.74**	0.43**	0.26**	0.03	0.01	0.00								c
AP6	5.33	1.04**	1.04**	1.04**	0.73**	0.57**	0.33**	0.31**	0.30**	0.00							c
CP8	5.46	1.17**	1.17**	1.17**	0.86**	0.69**	0.46**	0.44**	0.43**	0.13	0.00						d
BP8	5.92	1.63**	1.63**	1.63**	1.32**	1.15**	0.92**	0.90**	0.89**	0.59**	0.46**	0.00					d
CP6	5.94	1.65**	1.65**	1.65**	1.34**	1.17**	0.94**	0.92**	0.91**	0.61**	5.46**	0.02	0.00				e
BP6	6.07	1.78**	1.78**	1.78**	1.47**	1.31**	1.07**	1.05**	1.04**	0.74**	0.61**	0.15	0.13				e
CP4	6.10	1.81**	1.81**	1.81**	1.50**	1.34**	1.10**	1.08**	1.07**	0.77**	0.64**	0.18	0.16				e
BP6	6.40	2.11**	2.11**	2.11**	1.80**	1.63**	1.40**	1.38**	1.37**	1.07**	0.94**	0.48**	0.46**				f

Ket :

\*\* = berbeda sangat nyata

P = pengamatan hari ke-...

A = tanpa perlakuan tanaman (kontrol)

B = perlakuan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*)C = perlakuan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*)