



TUGAS AKHIR - RE141581

**PENURUNAN KONSENTRASI AMMONIUM (NH_4^+)
PADA LIMBAH *LAUNDRY* DENGAN TUMBUHAN
CATTAIL (*Typha angustifolia*) DAN KAYU APU
(*Pistia stratiotes*)**

**DEWI QURROTU A'YUN
NRP 3311 100 001**

**DOSEN PEMBIMBING
PROF. DR. IR. Sarwoko Mangkoedihardjo, MScES**

**DOSEN CO-PEMBIMBING
Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., PhD**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT - RE141581

**REDUCTION OF AMMONIUM (NH_4^+)
CONCENTRATION IN LAUNDRY WASTEWATER
USING CATTAIL (*Typha angustifolia*) AND
WATER LETTUCE (*Pistia stratiotes*)**

DEWI QURROTU A'YUN
NRP 3311 100 001

SUPERVISOR
PROF. DR. IR. Sarwoko Mangkoedihardjo, MScES

CO-SUPERVISOR
Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., PhD

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

LEMBAR PENGESAHAN

**PENURUNAN KONSENTRASI AMMONIUM (NH_4^+) PADA
LIMBAH LAUNDRY DENGAN TUMBUHAN CATTAIL (*Typha
angustifolia*) DAN KAYU APU (*Pistia stratiotes*)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

DEWI QURROTU A'YUN

Nrp. 3311100001

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Ir. Sarwoko M., MSCES (Pembimbing I)
2. Ipung Fitri P., S.T., M.T., PhD (Pembimbing II)



Penurunan Konsentrasi Ammonium (NH_4^+) pada Limbah *Laundry* dengan Tumbuhan Cattail (*Typha angustifolia*) dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)

Nama Mahasiswa : Dewi Qurrotu A'yun
NRP : 3311100001
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Sarwoko M., MScES
Ipung Fitri P., S.T., M.T., PhD

ABSTRAK

Usaha *laundry* yang semakin banyak di daerah perkotaan seperti di Kota Surabaya dipengaruhi oleh semakin meningkatnya ekonomi masyarakat dan semakin padatnya aktivitas masyarakat di daerah perkotaan tersebut. Usaha *laundry* ini menghasilkan air limbah yang dapat mencemari lingkungan jika air limbah tersebut langsung dibuang ke badan air tanpa diolah terlebih dahulu. Ammonium yang banyak terdapat pada limbah dapat menyebabkan terjadinya *blooming* alga pada perairan.

Berdasarkan uraian diatas, diperlukan penelitian tentang penurunan kadar ammonium yang terkandung dalam air limbah *laundry* sebelum dibuang ke badan air. Penelitian yang direncanakan adalah penurunan konsentrasi ammonium dengan menggunakan tumbuhan Cattail dan Kayu Apu. Air limbah *laundry* yang digunakan adalah air limbah bilasan pertama (deterjen) dan bilasan kedua (pewangi) dari proses *laundry*. Sebelum penelitian dimulai, diperlukan penelitian pendahuluan terhadap karakteristik air limbah yang akan digunakan sebagai sampel limbah, aklimatisasi tumbuhan Cattail dan Kayu Apu untuk mendapatkan tumbuhan generasi kedua yang digunakan dalam *running* penelitian, dan *range finding test* untuk mengetahui konsentrasi maksimum ammonium yang dapat ditolerir oleh kedua tumbuhan. Dari penelitian ini diharapkan dapat diketahui efisiensi removal ammonium dengan menggunakan tumbuhan Cattail dan Kayu Apu.

Konsentrasi maksimum ammonium pada limbah deterjen yang dapat diterima oleh kedua tumbuhan sebesar 19,53 mg/L dan untuk limbah pewangi sebesar 20,51 mg/L. Efisiensi removal ammonia dalam limbah deterjen pada reaktor uji tumbuhan Cattail adalah sebesar 97,50 % dan untuk tumbuhan Kayu Apu sebesar 97,68 %, sedangkan untuk limbah pewangi, removal pada reaktor uji tumbuhan Cattail adalah sebesar 97,98 % dan untuk tumbuhan Kayu Apu sebesar 98,34 %.

Kata kunci: Ammonium, Cattail, Kayu Apu, Limbah *laundry*

Reduction of Ammonium (NH₄⁺) Concentration in Laundry Wastewater using Cattail (*Typha angustifolia*) and Water Lettuce (*Pistia stratiotes*)

Student's Name : Dewi Qurrotu A'yun
Student's ID : 3311100001
Department : Teknik Lingkungan
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Sarwoko M., MScES
Ipung Fitri P., S.T., M.T., PhD

ABSTRACT

The increasing of laundry business such as in Surabaya influenced by economic increasing. This laundry business produced wastewater that harmful for the environment if directly discharged into water body. This wastewater contain ammonium, and it can cause alga blooming in water.

Based on the description above, research is needed to remove ammonium in laundry wastewater. Sample of this research were detergent and deodorizer from laundry process. The preface research is needed to determine the characteristic of laundry wastewater, cattail and water lettuce acclimatization, and range finding test to know the maximum concentration of ammonium that can be tolerated by plants. the aim of this research is to determine removal efficiency of ammonium using cattail and water lettuce.

Maximum ammonium concentration in laundry wastewater that can be tolerated by cattail and water lettuce were 19,53 mg/L for detergent and 20,51 mg/L for deodorizer. Percent removal for detergent were 97,50 % and 97,68 % for cattail and water lettuce respectively. Whereas, percent removal for deodorizer using cattail was 97,98 % and 98,34 % using water lettuce.

Keywords: Ammonium, Cattail, Water Lettuce, Laundry Wastewater

” Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur penyusun panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, berkah, dan hidayah-Nya, sehingga dapat terselesaikannya tugas ini dengan tepat waktu. Tugas Akhir dengan judul **"Penurunan Konsentrasi Ammonium (NH_4^+) pada Limbah Laundry dengan Tumbuhan Cattail (*Typha angustifolia*) dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)"** dibuat sebagai persyaratan kelulusan pada Jurusan Teknik Lingkungan. Dalam penyusunan tugas akhir ini, penyusun menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MScES dan Ibu Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD selaku dosen pembimbing yang sudah banyak memberikan arahan dan saran mengenai penyelesaian proposal tugas akhir ini
2. Ibu Bieby Vojant T., S.T., M.T., PhD dan Ibu Harmin S., ST., M.T., PhD selaku dosen penguji tugas akhir atas saran dan arahnya untuk perbaikan tugas akhir ini sehingga menjadi lebih baik
3. Bapak Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE., M.Sc., PhD., selaku Kepala Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
4. Ibu Ir. Atiek Moesriati, M.Kes selaku dosen wali, terima kasih atas dukungan dan nasehat ibu selama ini
5. Kedua orang tua, adik, dan saudara-saudara penulis atas segala pengertian, kesabaran, dukungan dan doanya
6. Sovi, Ana, Rochma, Etik, Yulia, Gia, Nova, Indaru, Alfiya, Putri, Reysha, Fildzah, Lukman dan teman-teman 2011 lainnya yang selalu memberi semangat dan dukungan dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini

Penyusunan tugas akhir ini telah diusahakan semaksimal mungkin, namun sebagaimana manusia biasa tentunya masih terdapat kesalahan. Untuk itu, kritik dan saran yang membangun sangat penyusun harapkan.

Wassalamu 'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

” Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Karakteristik Limbah <i>Laundry</i>	5
2.2 Unsur Hara yang Dibutuhkan oleh Tumbuhan	6
2.3 Fitoproses pada Tumbuhan	7
2.4 Pengolahan dengan Cattail (<i>Typha angustifolia</i>)	9
2.5 Pengolahan dengan Kayu Apu (<i>Pistia stratiotes</i>)	12
BAB 3 METODE PENELITIAN	15
3.1 Umum	15
3.2 Kerangka Penelitian	15
3.3 Tahapan Penelitian	16
3.3.1 Ide Tugas Akhir	16
3.3.2 Studi Literatur	16
3.3.3 Persiapan Penelitian	17
3.3.4 Pelaksanaan Penelitian	21

3.3.5 Analisis dan Pembahasan.....	23
3.3.6 Kesimpulan dan Saran.....	24
3.3.7 Penulisan Laporan	24
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1 Analisis Karakteristik Awal	25
4.2 Penelitian Pendahuluan	26
4.2.1 Aklimatisasi	26
4.2.2 <i>Range Finding Test</i> (RFT)	30
4.3 Pelaksanaan Penelitian.....	37
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	57
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA.....	59
LAMPIRAN 1	65
LAMPIRAN 2	73
LAMPIRAN 3	79
LAMPIRAN 4	83
BIOGRAFI PENULIS	85

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Tumbuhan Cattail	10
Tabel 2.2	Klasifikasi Tumbuhan Kayu Apu.....	12
Tabel 4.1	Konsentrasi Kandungan Pencemar pada Limbah Deterjen	26
Tabel 4.2	Konsentrasi Kandungan Pencemar pada Limbah Pewangi.....	26
Tabel 4.3	Kriteria Tumbuhan Cattail dan Kayu Apu ketika RFT .	30
Tabel 4.4	Hasil Pengamatan RFT Limbah Deterjen	33
Tabel 4.5	Hasil Pengamatan RFT Limbah Pewangi	36
Tabel 4.6	Konsentrasi Nitrat pada Limbah Deterjen (mg/L)	41
Tabel 4.7	Konsentrasi Nitrat pada Limbah Pewangi (mg/L).....	41
Tabel 4. 8	Konsentrasi Ammonium pada Limbah Deterjen (mg/L)	42
Tabel 4. 9	Konsentrasi Ammonium pada Limbah Pewangi (mg/L)	43
Tabel 4. 10	Jumlah Tunas Selama 42 Hari	54

” Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tumbuhan Cattail	10
Gambar 2.2 Tumbuhan Kayu Apu.....	13
Gambar 3.2 Reaktor RFT Tumbuhan Cattail (dalam satuan cm)	18
Gambar 3.3 Reaktor RFT Tumbuhan Kayu Apu (dalam satuan cm).....	19
Gambar 3.4 Reaktor Running Fitoremediasi Tumbuhan Cattail (dalam satuan cm).....	19
Gambar 3.5 Reaktor Running Fitoremediasi Tumbuhan Kayu Apu (dalam satuan cm).....	19
Gambar 4.1 Lokasi Pengambilan Sampel Limbah <i>Laundry</i>	25
Gambar 4.2 Pertambahan Tinggi Tumbuhan Cattail	28
Gambar 4.3 Pertambahan Jumlah Daun Tumbuhan Cattail	28
Gambar 4.4 Pertambahan Lebar Daun Tumbuhan Kayu Apu ...	29
Gambar 4.5 Pertambahan Jumlah Daun Tumbuhan Kayu Apu.	29
Gambar 4.6 <i>Range Finding Test</i> Hari Pertama Tumbuhan Cattail	32
Gambar 4.7 <i>Range Finding Test</i> Tumbuhan Kayu Apu	32
Gambar 4.8 <i>Range Finding Test</i> Kedua Hari Kedua Tumbuhan Cattail.....	34
Gambar 4.9 <i>Range Finding Test</i> Kedua Hari Pertama Tumbuhan Kayu Apu	34
Gambar 4.10 <i>Range Finding Test</i> Hari Pertama Tumbuhan Cattail	35
Gambar 4.11 <i>Range Finding Test</i> Hari Kedua Tumbuhan Kayu Apu.....	36
Gambar 4.12 Persentase Removal Ammonium pada Limbah Deterjen.....	39
Gambar 4.13 Persentase Removal Ammonium pada Limbah Pewangi	39
Gambar 4.14 Rasio BOD/COD pada Limbah Deterjen	44
Gambar 4.15 Rasio BOD/COD pada Limbah Pewangi.....	44
Gambar 4.16 Parameter Suhu pada Limbah Deterjen.....	46
Gambar 4.17 Parameter Suhu pada Limbah Pewangi	46
Gambar 4.18 Parameter pH pada Limbah Deterjen	47
Gambar 4.19 Parameter pH pada Limbah Pewangi	48
Gambar 4. 20 Berat Basah Tumbuhan Cattail	49
Gambar 4. 21 Berat Basah Tumbuhan Kayu Apu.....	49

Gambar 4. 22 Berat Kering Tumbuhan Cattail	50
Gambar 4. 23 Berat Kering Tumbuhan Kayu Apu.....	50
Gambar 4. 24 Densitas Tumbuhan Cattail	52
Gambar 4. 25 Densitas Tumbuhan Kayu Apu.....	52
Gambar 4. 26 Pertambahan Tinggi Tumbuhan Cattail.....	53
Gambar 4. 27 Pertambahan Diameter Tumbuhan Kayu Apu	54

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Usaha *laundry* yang semakin banyak di daerah perkotaan seperti di Kota Surabaya dipengaruhi oleh semakin meningkatnya ekonomi masyarakat dan semakin padatnya aktivitas masyarakat di daerah perkotaan tersebut. Usaha *laundry* sendiri sering dijumpai di daerah sekitar kampus atau universitas. Meskipun usaha *laundry* ini dapat mengurangi tingkat pengangguran di suatu daerah perkotaan, tetapi dari usaha *laundry* ini dihasilkan air limbah yang dapat mencemari lingkungan jika air limbah tersebut langsung dibuang ke badan air tanpa diolah terlebih dahulu. Kenyataannya, air limbah yang dihasilkan dari usaha *laundry* ini dibuang ke badan air tanpa diolah terlebih dahulu. Hal ini dapat berdampak pada menurunnya kualitas badan air tersebut sehingga dapat mengakibatkan menurunnya daya dukung yang dimiliki oleh badan air. Menurut US-EPA (1999) hal tersebut dapat menyebabkan eutrofikasi dimana badan air menjadi kaya akan nutrisi terlarut, menurunnya kandungan oksigen terlarut dan kemampuan daya dukung badan air terhadap biota air.

Air limbah *laundry* mengandung bahan kimia dengan konsentrasi yang tinggi antara lain fosfat, surfaktan, amonia dan ammonia serta kadar padatan terlarut, kekeruhan, BOD dan COD tinggi (Ahmad, 2008). Selain fosfat, dalam limbah *laundry* juga terkandung ammonium yang juga berasal dari deterjen yang digunakan pada proses *laundry*. Keberadaan ammonium dan fosfat yang berasal dari air limbah *laundry* di badan air dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan eutrofikasi. Kondisi eutrofik inilah yang dapat mengakibatkan alga berkembang biak dengan pesat (bloating). Semakin banyak alga yang tumbuh maka semakin banyak oksigen dalam badan air yang dimanfaatkan untuk pernapasan alga. Kondisi tersebut bisa menyebabkan oksigen berkurang. Akibatnya spesies makhluk hidup air akan berkurang sehingga mengganggu ekosistem (Yahya, 2010). Selain itu ammonia bersifat toksik bagi ekosistem yang terdapat di badan air tersebut. Ammonia bebas yang tidak terionisasi bersifat toksik terhadap organisme akuatik, sedangkan

ammonium merupakan salah satu nitrogen yang dapat dimanfaatkan langsung oleh tumbuhan air (Wissanti, 2011).

Berdasarkan uraian diatas, diperlukan penelitian tentang penurunan kadar ammonium yang terkandung dalam air limbah *laundry* sebelum dibuang ke badan air. Penelitian yang direncanakan adalah penurunan kandungan ammonium dengan menggunakan tumbuhan Cattail dan Kayu Apu. Dua jenis tumbuhan ini dipilih karena tumbuhan ini memiliki karakteristik yang dibutuhkan untuk digunakan pada fitoremediasi karena pertumbuhannya yang cepat (Boyd, 1970) dan Kayu Apu dipilih karena kemampuan superiornya dan laju pertumbuhannya yang relatif cepat (Li et al., 2012). Penggunaan tumbuhan pada proses pengolahan ini dirasa terjangkau untuk skala usaha *laundry* skala rumah tangga dan tidak memerlukan penambahan suatu bahan kimia khusus untuk menunjang prosesnya.

1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini, dapat dirumuskan masalah yang muncul yaitu limbah *laundry* memiliki konsentrasi ammonium yang tinggi. Tingginya konsentrasi ammonium ini dapat memicu timbulnya alga *blooming* pada badan air tempat air limbah dibuang tanpa diolah, sehingga diperlukan sebuah penelitian yang dalam tugas akhir ini dipilih pengolahan menggunakan tumbuhan Cattail dan Kayu Apu untuk menurunkan konsentrasi ammonium dalam limbah *laundry* tersebut.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan konsentrasi maksimum ammonium pada limbah *laundry* yang dapat diterima oleh tumbuhan Cattail dan Kayu Apu
2. Menentukan efisiensi removal pada pengolahan limbah laundry dengan menggunakan tumbuhan Cattail dan Kayu Apu

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup pada penelitian ini adalah:

1. Reaktor yang digunakan berskala laboratorium dengan jumlah 14 reaktor

2. Air limbah *laundry* yang digunakan adalah air limbah *laundry* dari usaha *laundry* di Surabaya untuk penelitian pendahuluan, sedangkan untuk pelaksanaan penelitian digunakan limbah artifisial (buatan)
3. Parameter yang diuji adalah ammonium, pH, suhu, BOD, COD, nitrat, berat basah tumbuhan, dan berat kering tumbuhan
4. Variabel penelitian yang digunakan adalah :
 - a. Variasi jenis tumbuhan yang digunakan
 - b. Variasi jenis limbah *laundry* yang digunakan
5. Penelitian dilakukan di *greenhouse* dan analisis parameter dilakukan di Laboratorium Sanitasi dan Fitoteknologi Teknik Lingkungan ITS Surabaya

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi tentang konsentrasi maksimum ammonium yang dapat diterima oleh tumbuhan dan efisiensi removal menggunakan dua jenis tumbuhan yang berbeda yakni tumbuhan Cattail dan Kayu Apu untuk menurunkan konsentrasi ammonium yang terkandung dalam limbah *laundry*.

” Halaman ini sengaja dikosongkan”

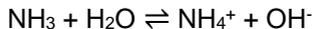
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Limbah *Laundry*

Deterjen yang paling banyak digunakan di Indonesia dengan penyusun utamanya adalah senyawa Deodecyl Benzene Sulfonat (DBS) dalam bentuk Natrium Deodecyl Benzene Sulfonat (NaDBS) dan Natrium Tri Polyphosphat (STTP), yang tidak bisa terurai secara alamiah dalam air atau nonbiodegradable, sehingga akan mencemari lingkungan perairan (Kurniati, 2009). Air limbah *laundry* mengandung bahan kimia dengan konsentrasi antara lain fosfat, surfaktan, amonia dan nitrogen serta kadar padatan terlarut, kekeruhan, BOD dan COD tinggi (Ahmad, 2008). Limbah *laundry* mengandung nitrogen yang juga berasal dari detergen yang digunakan pada proses *laundry* (Yahya, 2010).

Ammonia merupakan salah satu bentuk senyawa nitrogen dalam air. Ammonia yang terukur di perairan berupa ammonia total (NH_3 dan NH_4^+). Ammonia bebas tidak dapat terionisasi, sedangkan ammonium dapat terionisasi. Amonia bebas yang tidak terionisasi bersifat toksik terhadap organisme akuatik, sedangkan amonium merupakan salah satu nitrogen yang dapat dimanfaatkan langsung oleh tumbuhan air (Wissanti, 2011).

Sebagian besar ammonium berasal dari peruraian zat organik yang mengandung nitrogen oleh mikroorganisme. Adanya ammonium ini merupakan satu petunjuk adanya pencemaran pada badan air. Ammonium berpotensi dalam mencemari badan air dan air tanah apabila tanpa pengolahan yang tepat. Ammonium bersifat basa, ammonium dalam larutan berada dalam kesetimbangan seperti reaksi di bawah ini:

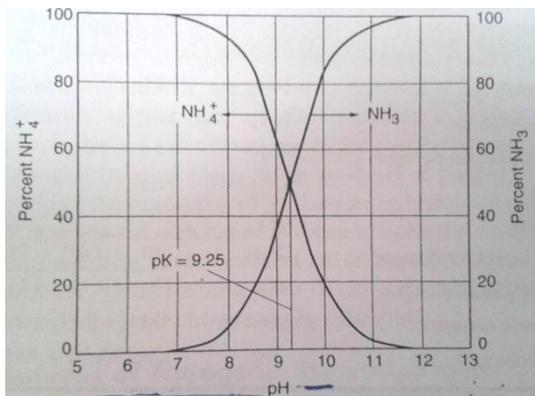


Agar dapat langsung diserap tumbuhan, ammonia dengan bantuan bakteri diubah menjadi ion ammonium, nitrat, dan nitrit (Juswardi dkk, 2010). Ammonium merupakan ion yang terlarut dalam air. Ion ini terbentuk dari N organik yang terurai. Pada pH

tertentu ion ini dapat ter volatilisasi menjadi ammonia dalam bentuk gas.

Ammonium yang dapat ditukar ionnya terdapat dalam equilibrium dengan fase larutan dan mungkin selanjutnya dapat dilepas dalam bentuk larutan. Ammonium yang terlarut dan mudah berubah tersedia untuk uptake oleh tumbuhan. Ammonium cenderung tidak dapat berubah-ubah jika terdapat dalam tanah atau sedimen (Vymazal, 2008).

Pada $\text{pH} \geq 9,25$ akan terbentuk ammonia (NH_3) dalam bentuk gas (Metcalf dan Eddy, 2003). Grafik distribusi ammonia dan ammonium yang dipengaruhi oleh pH dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut ini.



Gambar 2. 1 Distribusi Ammonia (NH_3) dan Ammonium (NH_4^+)

Sumber : Metcalf dan Eddy, 2003

2. 2 Unsur Hara yang Dibutuhkan oleh Tumbuhan

Salah satu faktor yang menunjang tumbuhan untuk tumbuh dengan baik adalah ketersediaan unsur hara dalam jumlah yang cukup. Jika tanah tidak dapat menyediakan unsur hara yang cukup bagi tanaman, akan menyebabkan tanaman tidak dapat tumbuh dan berproduksi secara optimal. Dibawah ini merupakan beberapa unsur hara yang dibutuhkan oleh tumbuhan.

1. Nitrogen

Nitrogen merupakan unsur hara utama bagi pertumbuhan tanaman, yang pada umumnya sangat diperlukan untuk

pembentukan atau pertumbuhan bagian-bagian vegetatif tanaman seperti daun, batang dan akar, tetapi apabila terlalu banyak dapat menghambat pembungaan dan pematangan pada tanaman. Fungsi Nitrogen bagi tanaman adalah :

- a. Untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman
- b. Dapat menyehatkan pertumbuhan daun, daun tanaman warnanya lebih hijau, kekurangan N menyebabkan klorosis
- c. Meningkatkan kadar protein dalam tubuh tanaman,
- d. Meningkatkan berkembangbiaknya mikroorganisme di dalam tanah

2. Fosfor

Fosfor terdapat dalam bentuk phosfit, nuklein dan fosfatide, merupakan bagian dari protoplasma dan inti sel. Sebagai bagian dari inti sel sangat penting dalam pembelahan sel, demikian pula bagi perkembangan jaringan meristem, pertumbuhan jaringan muda dan akar, mempercepat pembungaan dan pemasakan buah, penyusunan protein dan lemak. Fosfor diambil tanaman dalam bentuk $H_2PO_4^-$, dan HPO_4^{2-} . Tanah yang belum mengalami tingkat hancuran iklim lanjut didominasi oleh fraksi Fosfat Kalsium. Tanah yang sudah mengalami tingkat hancuran iklim lanjut didominasi oleh fraksi Fosfat Aluminium dan Fosfat Besi.

3. Kalium

Kalium sangat penting dalam proses metabolisme tanaman, kalium juga penting di dalam proses fotosintesis. Bila Kalium kurang pada daun, maka kecepatan asimilasi CO_2 akan menurun. Kalium diserap dalam bentuk K^+ (terutama pada tanaman muda). Fungsi kalium adalah :

- a. Membantu pembentukan protein dan Karbohidrat
 - b. Mengeraskan jerami dan bagian kayu tanaman
 - c. Meningkatkan resisten terhadap penyakit
 - d. Meningkatkan kualitas biji atau buah.
- (bappeda.kendalkab.go.id)

2.3 Fitoproses pada Tumbuhan

Proses penurunan kadar zat pencemar dalam air limbah dengan menggunakan tumbuhan air merupakan kerjasama

antara tumbuhan dengan mikroba yang berasosiasi dengan tumbuhan tersebut. Tumbuhan memperoleh nitrogen dari senyawa-senyawa nitrogen dalam nitrit, nitrat, dan amonia (Wolverton, 1987). Menurut Mangkoedihardjo (2010), tumbuhan tidak dapat memilih apa yang akan diserap karena akarnya akan menyerap segala zat dalam cairan. Dalam kondisi demikian tumbuhan akan memberikan berbagai respon terhadap lingkungan. Zat cair dalam lingkungan media tumbuh direspon oleh tumbuhan melalui beberapa proses, yaitu :

1. Fitostabilisasi

Proses imobilisasi kontaminan dalam tanah. Naiknya kontaminan disebabkan terbawa aliran air tanah melalui proses kapiler serta sebagai akibat proses transpirasi tumbuhan. Hal tersebut menyebabkan kontaminan akan terakumulasi sehingga tidak bergerak keluar zona akar.

2. Rizofiltrasi

Proses ini merujuk pada proses adsorpsi atau presipitasi kontaminan pada akar atau penyerapan ke dalam akar. Rizofiltrasi biasa terjadi untuk kontaminan yang memiliki perbedaan muatan ion dengan ion akar. Ion akar, misalnya bikarbonat, akan mengikat kation kontaminan, misalnya logam berat. Proses ini juga terjadi karena koagulasi kontaminan dan kondisi pH air tanah

3. Rizodegradasi

Proses yang terjadi adalah penguraian kontaminan dalam tanah oleh aktivitas mikroba. Kontaminan yang mengalami proses mikrobiologis adalah kontaminan organik yang mudah terurai mikroba, yang dapat terukur sebagai BOD, dan kontaminan anorganik misalnya ammonium dan nitrit serta logam berat

4. Fitoekstraksi

Proses yang terjadi adalah penyerapan kontaminan oleh tumbuhan dari media tumbuhnya. Kontaminan yang terserap selanjutnya terdistribusi ke berbagai organ tumbuhan. Proses ini berlangsung sejalan dengan proses transpirasi

5. Fitodegradasi

Proses ini merupakan proses penguraian kontaminan yang terserap melalui proses metabolic dalam tumbuhan. Sebagai contoh yaitu kontaminan karbondioksida udara diserap

melalui stomata daun dan di dalam sel tumbuhan terurai menjadi karbohidrat

6. Fitovolatisasi

Proses pelepasan kontaminan ke udara setelah terserap tumbuhan. Kontaminan terserap dapat berubah struktur kimianya sebelum lepas ke udara

Spesies tumbuhan yang menyerap NH_4^+ biasanya ditemukan tumbuh pada iklim dengan temperatur rendah atau pada tanah yang bersifat asam, dimana NH_4^+ berlaku sebagai sumber N anorganik, sedangkan spesies yang menyerap NO_3^- tumbuh pada tanah basa dengan kandungan kalsium yang tinggi (Gigon dan Rorison, 1972). Prioritas nitrogen yang dibutuhkan tumbuhan terkait dengan bentuk nitrogen anorganik yang ada pada habitat alami tumbuhan tersebut. Berdasarkan hal ini diharapkan tumbuhan pada *wetland*, yang tumbuh pada tanah rawa dimana NH_4^+ merupakan bentuk dominan dari N anorganik akan memiliki prioritas untuk NH_4^+ dibanding NO_3^- . Tumbuh dengan NH_4^+ sebagai satu-satunya sumber nitrogen dapat menjadi masalah untuk tumbuhan dibandingkan tumbuh dengan NO_3^- atau sumber N gabungan. Banyak spesies tumbuhan yang pertumbuhannya menurun jika nutrisi hanya berasal dari NH_4^+ , dan tumbuhan menghasilkan beberapa karakteristik yang berkaitan dengan toksisitas NH_4^+ khususnya pada akar dengan pH rendah (Brix, 2002). Ammonium diambil oleh akar tanaman dengan cara difusi NH_4^+ melalui membran plasma (Ninnemann *et al.*, 1994) dan pada pH yang tinggi NH_3 dan NH_4OH juga didifusikan (Kleiner, 1981).

2.4 Pengolahan dengan Cattail (*Typha angustifolia*)

Typha angustifolia adalah spesies pada wetland yang merupakan tumbuhan hijau seperti rumput dan kebanyakan tumbuh pada air bersih (Batty, 2003). Cattail adalah tumbuhan yang memiliki banyak manfaat dan dapat mendominasi komunitas wetland dengan cepat. Tumbuhan Cattail merupakan tumbuhan air yang memiliki daun sedikit membulat dan memutar serta tingginya dapat mencapai 3 meter. Bunga berwarna cokelat gelap berbentuk silindris dengan panjang 15-50 cm. Tumbuhan Cattail dapat tumbuh pada daerah yang hanya sebagian terendam atau di daerah berawa yang tidak ada air sama sekali

(AQUAPLANT, 2014). Pada Tabel 2.1 dapat dilihat klasifikasi dari tumbuhan Cattail dan pada Gambar 2.1 dapat dilihat tumbuhan Cattail yang akan digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 2.1 Klasifikasi Tumbuhan Cattail

Kingdom	Plantae
Divisi	Magnoliophyta
Kelas	Liliopsida
Order	Typhales
Family	Typhaceae
Genus	Typha
Spesies	<i>Typha angustifolia</i>

Sumber: AQUAPLANT, 2014



Gambar 2.2 Tumbuhan Cattail

Cattail dapat memproduksi dan memperbanyak benih dalam semua kondisi rawa, baik saat kering maupun basah, tetapi benih tersebut muncul saat kondisi rawa kering. Satu kepala Cattail terdiri paling banyak 250.000 benih, dan hampir 1000 benih/m² terletak beberapa inci dari tanah. Kelangsungan hidupnya dapat mendekati 100% dalam setahun setelah produksi, dan benih dalam seed bank dapat tetap hidup paling lama 100 tahun. Benih Cattail tidak mengalami perkecambahan jika terletak pada lebih dari 0,5 inci (1,3 cm) dibawah air. Cahaya dan beberapa faktor lingkungan diperlukan dalam perkecambahan, tetapi air yang terlalu dalam dan sedikit cahaya dapat mencegah perkecambahan Cattail. Salah satu alasan utama Cattail mudah berkembang biak adalah perkecambahan benih pada rentang suhu yang besar ketika tanah mendekati jenuh. Suhu permukaan tanah optimum adalah 77 hingga 86°F (25-30°C) (Sojda, 1993).

Rhizoma Cattail berfungsi untuk menyokong tanaman, menyimpan karbohidrat, sebagai alat reproduksi aseksual. Aerenchyma menyediakan jalur udara dari daun ke rhizoma pada Cattail. Struktur ini bersifat fungsional tidak hanya pada daun yang hidup tapi juga pada daun yang sudah mati, selama air masih dapat meresap dan daun masih dapat kontak dengan udara. Ini berarti bahwa sehelai daun dapat menyediakan oksigen untuk rhizoma yang berada di bawah tanah yang jaraknya beberapa kaki dari daun tersebut. Pengganggu pada fungsi aerenchyma adalah kunci untuk mengontrol Cattail secara *non-chemical* (Mustafa, 2010)

Makrofit akuatik, Cattail memiliki karakteristik yang dibutuhkan untuk digunakan pada fitoremediasi karena pertumbuhannya yang cepat, penyebaran dan panennya mudah (Boyd, 1970). Pada studi sebelumnya telah ditunjukkan bahwa Cattail dapat tumbuh pada larutan kultur dengan NH_4^+ sebagai dasar sumber N dan bertahan pada medium dengan pH rendah untuk beberapa hari (Dyhr-Jensen, 1996).

Respon pertumbuhan jangka panjang Cattail terhadap suplai nitrogen menunjukkan bahwa spesies ini tumbuh lebih baik dengan NH_4^+ dibandingkan dengan NO_3^- sebagai dasar sumber N. Pada pH mendekati netral tumbuhan yang mengonsumsi NH_4^+ memiliki laju pertumbuhan yang lebih tinggi. Konsentrasi nutrisi utama pada jaringan lebih tinggi, kandungan adeninnya lebih tinggi, dan daya tarik menarik lebih tinggi untuk menyerap nitrogen anorganik dibandingkan dengan tumbuhan yang mengonsumsi NO_3^- . Cattail dapat tumbuh dengan NO_3^- sebagai dasar sumber N, dan tumbuh dengan baik pada kondisi pH sedikit asam. Pada kondisi sangat asam (pH 3,5) laju pertumbuhannya sangat rendah, konsentrasi nutrisi utama pada jaringan dan adenin berkurang, dan kapasitas penyerapan untuk nitrogen anorganik rendah, begitu juga dengan tumbuhan yang mengonsumsi NO_3^- lebih rendah apabila dibandingkan dengan yang mengonsumsi NH_4^+ . Cattail dapat beradaptasi dengan baik untuk tumbuh pada tanah wetland dimana ammonium berlaku sebagai senyawa nitrogen, tetapi pH yang sangat rendah di sekitar akar sangat memberi tekanan untuk tumbuhan. (Brix, 2002).

Cattail sangat dapat memanfaatkan baik nitrat maupun ammonium, tetapi bergantung pada variasi musim. Sebagai contoh Brisson dan Chazaronc (2008) melaporkan bahwa pada musim panas *Carex costrata* menghilangkan ammonium lebih banyak daripada Cattail, tetapi pada akhirnya Cattail menghilangkan lebih banyak total nitrogen pada musim dingin. Zhu dan Sikora (1995) mengadakan studi jangka pendek pada beberapa aliran permukaan pada gravel based wetland dan menemukan antara 70-80% kehilangan nitrat dikarenakan oleh penyerapan tumbuhan. 85% nitrat diambil oleh *Scirpus atrovirens*, 75% oleh *Typha sp.*, dan 70% oleh *Phragmites australis* (Mustafa, 2010).

2.5 Pengolahan dengan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)

Kayu Apu adalah gulma air yang menggenangi di permukaan dan sering dijadikan pengisi akuarium atau ornamen interior kolam air. Deskripsi tumbuhan dengan habitus herba, mengapung di permukaan air dan memiliki tinggi sekitar 5-10 cm. Tubuh tidak berbatang, berdaun tunggal, berbentuk solet menyerupai mawar, ujung membulat, pangkalnya runcing, tepi daun berlekuk dengan panjang sekitar 2-10 cm, lebar 2-6 cm dengan pertulangan sejajar (monokotil) kontras dengan warna hijau kebiruan (Ramey, 2001). Klasifikasi tumbuhan kayu apu dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Klasifikasi Tumbuhan Kayu Apu

Divisi	Spermatophyta
Subdivisi	Angiospermae
Kelas	Monocotyledoneae
Bangsa	Arales
Suku	Araceae
Marga	<i>Pistia</i>
Jenis	<i>Pistia stratiotes</i>

Sumber :Aquapedia.ro

Gambar 2.2 menunjukkan tumbuhan Kayu Apu yang sering digunakan untuk pengolahan limbah.



Gambar 2.3 Tumbuhan Kayu Apu

Makrofita adalah tumbuhan akuatik, tumbuh di dalam atau di dekat air, dan dipertimbangkan sebagai komponen penting dari ekosistem akuatik, tidak hanya sebagai sumber makanan untuk invertebrata akuatik tetapi juga bertindak sebagai akumulator yang efisien untuk logam berat (Li et al., 2012). Telah diketahui dengan baik bahwa *P. stratiotes* (selada air) dan makrofita terapung lainnya seperti *Eichhornia crassipes* dan *Salvinia sp.* Telah dipelajari secara luas mengenai kemampuan mereka dalam mengabsorpsi kontaminan dalam air dan digunakan pada *constructed wetland* untuk mengolah air limbah. *P. stratiotes* juga berguna sebagai penanda biologi untuk monitoring lingkungan (Li et al., 2012).

Makrofita akuatik telah digunakan secara luas sebagai bioindikator dan fitoremediator untuk polusi lingkungan karena mereka menunjukkan kerusakan yang dapat diukur secara langsung terhadap fungsi vital mereka ketika terpapar kontaminan berbeda dan atau memiliki kapasitas untuk mengakumulasi kuantitas yang signifikan untuk beberapa polutan dalam jaringan mereka tanpa memberikan efek negatif dalam pertumbuhan dan perkembangannya. Bagaimanapun, dengan mempertimbangkan bahwa setiap spesies akan menunjukkan respon spesifik yang berhubungan dengan kapasitas akumulasinya, memiliki mekanisme berbeda dalam menghilangkan polutan, dan setiap polutan memiliki reaksi berbeda pada organisme (Lu et al., 2010), Salah satu tumbuhan akuatik dengan potensi yang signifikan untuk digunakan dalam fitoremediasi atau bioindikator adalah *Pistia stratiotes* disebut juga sebagai selada air. *P. stratiotes* dipilih untuk penelitian lebih lanjut karena kemampuan superiornya dan laju pertumbuhannya yang relatif cepat (Li et al., 2012). Spesies ini menunjukkan

karakteristik yang sangat berguna seperti memiliki potensial yang tinggi untuk menyerap dan mengakumulasi polutan yang berbeda, jumlahnya berlimpah di alam, distribusinya luas, laju pengembangbiakannya tinggi pada kondisi laboratorium, mudah untuk tumbuh, dan sel dan jaringannya dapat dianalisis dengan mudah dengan menggunakan mikroskop (Lu et al., 2010).

Manfaat tumbuhan air seperti kayu apu dapat mengurangi konsentrasi limbah cair dalam limbah yang dapat dilakukan dengan proses fitoremediasi. Dari hasil penelitian oleh Ulfen (2000) diketahui bahwa tumbuhan air seperti kayu apu ternyata dapat menurunkan kadar pencemaran limbah cair. Pada banyak kasus, khususnya pada daerah iklim tropis dan subtropis, tanaman yang tumbuh dengan cepat seperti eceng gondok dan kayu apu digunakan pada fitoremediasi badan air. Hal ini karena, jika dibandingkan dengan tanaman yang tumbuh pada daerah tertentu, tanaman yang tumbuh dengan cepat pada daerah tersebut memiliki efisiensi removal nutrien lebih besar dengan kapasitas penyerapan nutrien yang tinggi pula, dapat tumbuh dengan cepat, dan memproduksi biomassa yang besar (Reddy and Sutton, 1984). Kayu apu memiliki potensial yang tinggi untuk removal N dan P, mereduksi *suspended solids*, mengurangi kekeruhan, dan memperbaiki kualitas badan air (Lu et al., 2008). Penanaman selada air di kolam penampung air meningkatkan kualitas air dengan menurunkan kekeruhan dan konsentrasi nutrien seperti N dan P (Lu et al., 2010).

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Metode penelitian berisi tentang beberapa tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian tugas akhir. Hal-hal yang dilakukan diantaranya adalah persiapan penelitian, pelaksanaan penelitian, analisis data dan pembahasan, dan penarikan kesimpulan. Dalam tahap persiapan dilakukan pengumpulan data karakteristik limbah *laundry*, usia optimum tumbuhan yang digunakan, konsentrasi maksimum pencemar yang dapat diserap oleh tumbuhan. Studi literatur diperoleh dari sumber jurnal penelitian, artikel, dan *text book*. Selanjutnya dilakukan uji laboratorium sesuai dengan parameter yang telah ditentukan, kemudian dianalisis dan dibahas hasil uji laboratorium tersebut.

Dengan mengikuti langkah-langkah yang telah disusun dalam metodologi penelitian ini diharapkan proses pengerjaan tugas akhir akan berjalan dengan sistematis, terarah, dan mengurangi terjadinya kesalahan dalam pelaksanaannya.

3.2 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian merupakan dasar pemikiran dan rangkaian kegiatan untuk melaksanakan tugas akhir ini. Penyusunan kerangka penelitian berguna sebagai pedoman dalam melakukan studi mulai dari awal hingga akhir penelitian. Tujuan dari kerangka penelitian adalah sebagai berikut.

Sebagai gambaran awal mengenai tahapan-tahapan penelitian secara sistematis agar pelaksanaan penelitian dan penulisan laporan menjadi sistematis, terarah dan mengurangi terjadinya kesalahan dalam pelaksanaannya.

1. Mengetahui tahapan-tahapan yang harus dilakukan dalam penelitian mulai dari awal hingga akhir penelitian, dan digunakan sebagai acuan dari awal penelitian sampai penulisan laporan tugas akhir.
2. Memudahkan dalam mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian demi tercapainya tujuan.

Beberapa hal yang akan dilakukan adalah mengumpulkan data karakteristik limbah *laundry*, usia optimum tumbuhan yang

digunakan, konsentrasi maksimum yang dapat diserap oleh masing-masing tumbuhan. Dilakukan uji laboratorium sesuai dengan parameter yang telah ditentukan, kemudian dianalisis dan dibahas hasil uji laboratorium tersebut.

3.3 Tahapan Penelitian

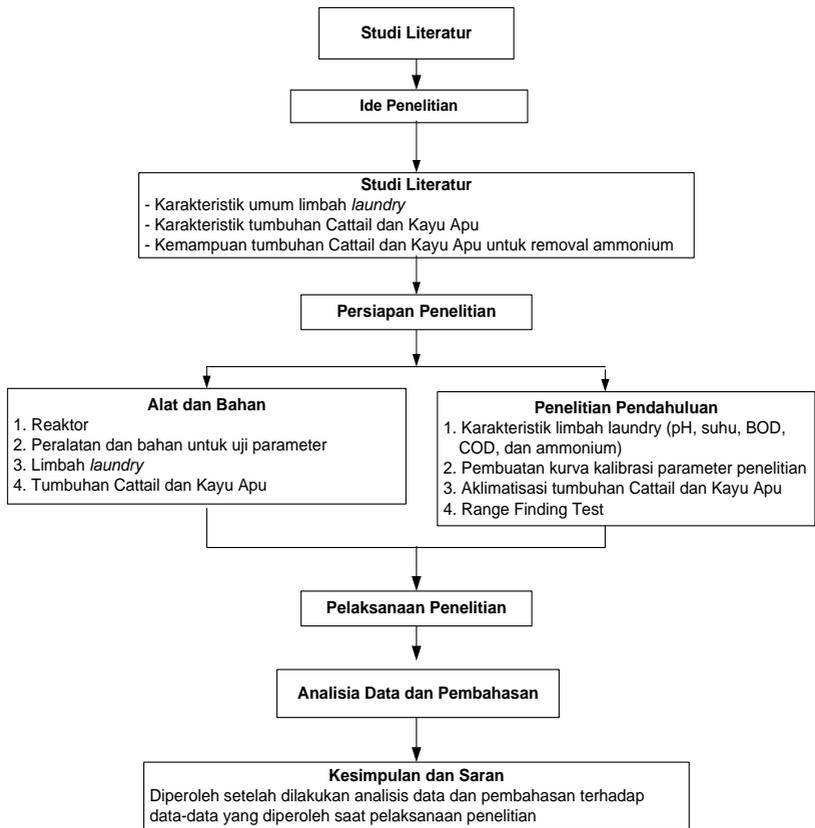
Tahapan penelitian ini berisi tentang langkah-langkah yang akan dilakukan selama pelaksanaan penelitian tugas akhir. Adapun diagram alir penelitian yang akan dilaksanakan dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini.

3.3.1 Ide Tugas Akhir

Tahapan pendahuluan dimulai dengan menetapkan ide penelitian yang diperoleh berdasarkan kondisi lapangan. Ide penelitian merupakan kerangka awal untuk menetapkan rumusan masalah, yang kemudian diperoleh tujuan serta manfaat dari penelitian ini. Penelitian ini dibatasi dengan ruang lingkup agar identifikasi dan penelitian terfokus pada tujuan yang diharapkan. Ide penelitian ini adalah membandingkan efektivitas fitoremediasi dengan menggunakan tumbuhan Cattail dan Kayu Apu dalam meremediasi limbah *laundry*.

3.3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan teori-teori yang dapat menunjang penelitian yang akan dilakukan. Selain sebagai landasan teori, studi literatur berfungsi juga untuk mempermudah dalam menganalisis data yang diperoleh dari hasil pelaksanaan penelitian. Literatur yang diperlukan sebagai acuan antara lain adalah karakteristik limbah *laundry*, karakteristik tumbuhan Cattail dan Kayu Apu, dan data kemampuan tumbuhan Cattail dan Kayu Apu sebagai fitoremediator. Literatur diperoleh dari text book, jurnal ilmiah, laporan tugas akhir dan thesis, serta artikelpenelitian yang berkaitan.



Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian

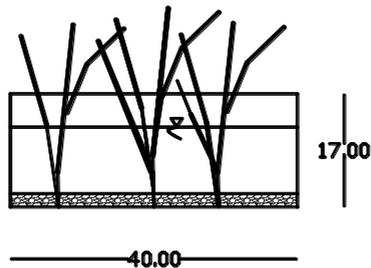
3.3.3 Persiapan Penelitian

3.3.3.1 Alat dan Bahan

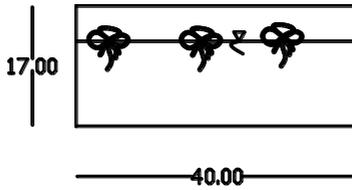
Dalam penelitian ini diperlukan alat dan bahan sebagai penunjang terlaksananya tugas akhir. Alat dan bahan yang digunakan antara lain sebagai berikut.

Alat :

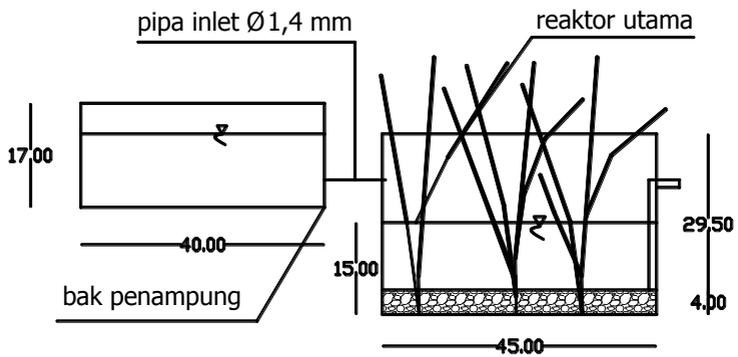
- Reaktor dengan sistem batch berbahan plastik bervolume 10 L sebanyak 14 buah untuk *range finding test* tumbuhan Cattail (Gambar 3.2)
- Reaktor dengan sistem batch berbahan plastik bervolume 10 L berjumlah 14 buah untuk *range finding test* tumbuhan Kayu Apu (Gambar 3.3)
- Reaktor dengan sistem kontinyu berbahan plastik dengan volume 20 L sebanyak 4 buah untuk *running* penelitian tumbuhan Cattail (Gambar 3.4)
- Reaktor dengan sistem kontinyu berbahan plastik dengan volume 20 L sebanyak 4 buah untuk *running* penelitian tumbuhan Kayu Apu (Gambar 3.5)
- Reaktor dengan sistem kontinyu berbahan plastik dengan volume 20 L sebanyak 6 buah untuk *running* penelitian sebagai reaktor kontrol
- pH meter, digunakan untuk mengukur nilai pH
- Termometer digunakan untuk mengukur suhu
- Spektrofotometer, digunakan untuk menganalisis parameter amonium



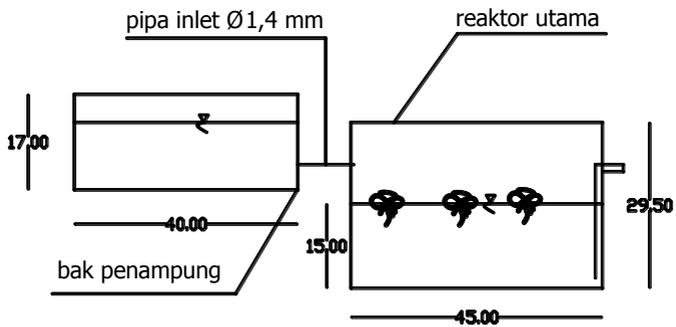
Gambar 3.2 Reaktor RFT Tumbuhan Cattail (dalam satuan cm)



Gambar 3.3 Reaktor RFT Tumbuhan Kayu Apu (dalam satuan cm)



Gambar 3.4 Reaktor Running Fitoremediasi Tumbuhan Cattail (dalam satuan cm)



Gambar 3.5 Reaktor Running Fitoremediasi Tumbuhan Kayu Apu (dalam satuan cm)

Bahan :

- Air limbah *laundry* bilasan pertama dan kedua sebagai sampel yang akan diuji pada penelitian ini
- Kerikil sebagai media tanam untuk tumbuhan Cattail
- Tumbuhan Cattail dan Kayu Apu yang digunakan untuk proses pengolahan limbah *laundry*
- Bahan kimia yang digunakan dalam uji konsentrasi parameter ammonium, misalnya : Hgl₂, KI, dan K.Na.Tatrat

3.3.3.2 Penelitian Pendahuluan

Pada penelitian ini diperlukan penelitian pendahuluan yaitu penelitian tahap aklimatisasi dan range finding test. Tahap aklimatisasi dilakukan untuk mengetahui tingkat penyesuaian diri tumbuhan tersebut terhadap lingkungan yang baru. Sedangkan range finding test dilakukan untuk mengetahui batas kritis konsentrasi, yaitu konsentrasi yang menyebabkan kematian pada tumbuhan. Dalam penelitian ini dilakukan untuk mengetahui konsentrasi maksimum ammonium yang dapat menyebabkan tumbuhan mati.

Aklimatisasi

Tahap aklimatisasi pada tumbuhan Cattail dilakukan dengan cara memindahkan tumbuhan pada sebuah bak dengan media kerikil dan ditambahkan larutan nutrisi untuk menunjang pertumbuhannya. Kriteria tumbuhan yang akan digunakan pada tahap aklimatisasi ini adalah tumbuhan Cattail dengan berat yang seragam dan tinggi 35 ± 5 cm (Vicencio, 2013). Sedangkan untuk tumbuhan Kayu Apu, dipindahkan pada reaktor yang telah diisi dengan larutan nutrisi. Kriteria tumbuhan Kayu Apu yang akan digunakan pada tahap aklimatisasi ini adalah tumbuhan Kayu Apu yang memiliki ukuran dan warna seragam (Yong Li, 2013) dengan ukuran diameter tumbuhan sebesar 6-10 cm (Anggraeni, 2007). Tahap aklimatisasi ini dilakukan hingga muncul tunas baru pada kedua tumbuhan.

Range Finding Test

Range finding test dilakukan dengan menggunakan reaktor sebanyak 28 buah. Pada *range finding test* ini dilakukan variasi konsentrasi untuk mengetahui batas kritis konsentrasi. Variasi konsentrasi pada limbah *laundry* dapat diperoleh dengan

carapengenceran terhadap limbah tersebut. Variasi pengenceran yang dilakukan adalah 1, 5, 10, 20, 30, dan 40 kali. Tumbuhan yang digunakan pada *range finding test* ini merupakan tumbuhan generasi kedua yang telah diaklimatisasikan sebelumnya. Kriteria tumbuhan yang digunakan pada *range finding test* sama dengan kriteria tumbuhan yang digunakan pada tahap aklimatisasi. *Range finding test* dilakukan selama 4 hari atau selama 96 jam, lamanya *range finding test* ini mengacu pada USEPA. Namun apabila dalam waktu 96 jam tidak terjadi perubahan pada tumbuhan, maka waktu diperpanjang selama 24 jam. Jika perpanjangan waktu *range finding test* masih belum menyebabkan perubahan terhadap tumbuhan, waktu diperpanjang lagi hingga 14 hari.

3.3.4 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilakukan di Jurusan Teknik Lingkungan pada Bulan September 2014 hingga Bulan Mei 2015. Analisis parameter yang diuji pada penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Sanitasi dan Fitoteknologi Jurusan Teknik Lingkungan. Pada penelitian ini akan digunakan satu konsentrasi yang telah diperoleh dari hasil *range finding test*. Sehingga dibutuhkan reaktor sebanyak 14 buah dengan rincian sebagai berikut.

1. 6 buah reaktor untuk variabel kontrol, pertama reaktor dengan isi limbah *laundry* A, kedua reaktor dengan isi limbah *laundry* B, ketiga adalah reaktor dengan media kerikil dan limbah *laundry* A, keempat adalah reaktor dengan media kerikil dan limbah *laundry* B, kelima adalah reaktor untuk Cattail, keenam adalah reaktor untuk Kayu Apu
2. 2 buah reaktor untuk limbah bilasan pertama dengan Tumbuhan Cattail
3. 2 buah reaktor untuk limbah bilasan pertama dengan Tumbuhan Kayu Apu
4. 2 buah reaktor untuk limbah bilasan kedua dengan Tumbuhan Cattail
5. 2 buah reaktor untuk limbah bilasan kedua dengan Tumbuhan Kayu Apu

Running penelitian ini dilakukan dengan menggunakan tumbuhan generasi kedua hingga muncul tunas baru (generasi ketiga) yang memiliki kriteria sama dengan tumbuhan yang digunakan pada tahap aklimatisasi dan range finding test. Apabila sebelum muncul generasi ketiga telah terjadi *steady state* maka *running* penelitian dapat dihentikan. Jumlah tumbuhan yang digunakan pada penelitian ini menyesuaikan lamanya siklus hidup tumbuhan atau lamanya waktu *running* penelitian, yaitu sebanyak 7 tumbuhan untuk masing-masing reaktor. Pengujian parameter dilakukan setiap 3 hari sekali untuk memantau konsentrasi dari ammonium, pH, suhu, BOD, dan COD. Sedangkan untuk uji berat basah dan berat kering dilakukan setiap satu minggu sekali.

Uji Ammonium

Uji konsentrasi nitrogen yang dianalisis adalah nitrogen dalam bentuk ammonium, sehingga digunakan Metode Nessler untuk uji konsentrasinya. Prosedur uji ammonium ini menurut Greenberg et al. (2005) dalam Standard Methods dan dapat dilihat pada Lampiran 2. Pada awal penelitian, pengujian parameter dilakukan setiap hari dan dilakukan sebanyak 3 kali untuk mengetahui apakah dalam waktu 3 hari tersebut telah ada ammonium yang diserap.

Uji Nitrat

Uji konsentrasi nitrat menggunakan Metode Brucin Asetat menurut Greenberg et al. (2005) dalam Standard Methods dan dapat dilihat pada Lampiran 2.

Uji pH

Uji pH dilakukan dengan menggunakan pH meter. Uji pH dilakukan setiap kali dilakukan pengambilan sampel. Prosedur uji pH berdasarkan modifikasi dari Greenberg et al. (2005) yang dapat dilihat pada Lampiran 2.

Uji Suhu

Uji suhu dilakukan dengan menggunakan termometer. Uji suhu dilakukan setiap kali dilakukan pengambilan sampel. Prosedur uji suhu dapat dilihat pada Lampiran 2.

Uji BOD

Uji BOD dilakukan dengan menggunakan metode 5-Day Test. Uji BOD dilakukan setiap 3 hari sekali bersamaan dengan

uji parameter ammonium. Prosedur uji BOD berdasarkan Greenberg et al. (2005) yang dapat dilihat pada Lampiran 2.

Uji COD

Uji COD dilakukan dengan menggunakan prinsip *closed reflux* metode titimetri. Uji COD dilakukan setiap 3 hari sekali bersamaan dengan uji parameter ammonium. Prosedur uji COD berdasarkan Greenberg et al. (2005) yang dapat dilihat pada Lampiran 2.

Uji Tinggi Tumbuhan

Uji tinggi tumbuhan dilakukan untuk melihat pertumbuhan tumbuhan selama proses pengolahan berlangsung. Uji tinggi tumbuhan dilakukan setiap satu minggu sekali bersamaan dengan uji biomassa dilakukan. Pengukuran tinggi tumbuhan mengacu pada sebuah jurnal ilmiah oleh Lestari (2005).

Uji Biomassa

Uji biomassa dilakukan untuk melihat pertumbuhan kedua tumbuhan ini, apakah jika tumbuhan tersebut digunakan untuk pengolahan akan mempengaruhi proses pertumbuhannya. Berat kering menyatakan kandungan senyawa organik (dalam ikatan C-H-O-N-S-P-dan lainnya) atau biomassa tumbuhan (Mangkoedihardjo, 2010). Analisis biomassa ini mengacu pada USEPA *Plant Biomass Determination*. Prosedur uji biomassa dapat dilihat pada Lampiran 2.

Uji ANOVA

Uji ANOVA ini dilakukan untuk mengecek signifikansi dari data yang diperoleh selama proses pengolahan berlangsung. Uji ANOVA yang digunakan adalah ANOVA *one way*. Uji ini dilakukan dengan menggunakan sebuah program statistik yang dapat secara otomatis diperoleh hasilnya.

3.3.5 Analisis dan Pembahasan

Analisis data dan pembahasan dilakukan terhadap data hasil penelitian. Pada analisis data dan pembahasan diperlukan teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan, baik teori yang mendukung atau bertentangan dengan penelitian tersebut. Kemudian dilakukan pembahasan terhadap hasil analisis data yang diperoleh dengan berdasarkan pada teori-teori yang berkaitan tersebut. Dari analisis data dan pembahasan diperoleh sebuah kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.

3.3.6 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan diperoleh pada akhir penelitian setelah dilakukan analisis dan pembahasan terhadap data yang diperoleh pada pelaksanaan penelitian. Kesimpulan tersebut menjawab tujuan dilakukannya penelitian ini, sedangkan saran merupakan rekomendasi agar penelitian selanjutnya dapat menyempurnakan penelitian yang dilakukan saat ini.

3.3.7 Penulisan Laporan

Penulisan laporan merupakan hasil keseluruhan langkah studi yang dilakukan, mulai dari ide studi sampai dengan kesimpulan.

BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Karakteristik Awal

Analisis karakteristik awal limbah *laundry* yang digunakan pada penelitian ini dilakukan pada 14 Desember 2014 di Laboratorium Pemulihan Air Teknik Lingkungan. Limbah *laundry* diperoleh dari usaha *laundry* di daerah Keputih, Sukolilo, Surabaya. Pengambilan sampel air limbah dilakukan pada pukul 09.00, dikarenakan pada waktu ini usaha *laundry* tersebut biasanya menghasilkan volume limbah yang besar. Sampling dilakukan dengan cara menampung *effluent* limbah secara langsung yang berasal dari mesin cuci. Analisis karakteristik awal ini dilakukan untuk mengetahui kandungan pencemar dari limbah *laundry* yang akan digunakan.

Limbah *laundry* yang digunakan pada penelitian ini terdapat dua jenis, yaitu limbah bilasan pertama yang mengandung detergen dan limbah bilasan kedua yang mengandung pewangi. Analisis karakteristik awal limbah dilakukan dengan menguji parameter yang digunakan pada penelitian ini. Parameter utama penelitian ini adalah ammonium, sedangkan parameter tambahan pada penelitian ini adalah pH, suhu, BOD, dan COD. Pada Gambar 4.1 dapat dilihat lokasi sampling untuk limbah *laundry* yang digunakan.



Gambar 4.1 Lokasi Pengambilan Sampel Limbah *Laundry*

Kandungan pencemar pada limbah deterjen yang diperoleh dari analisis laboratorium dapat dilihat pada Tabel 4.1. Sedangkan untuk hasil analisis limbah pewangi dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.1 Konsentrasi Kandungan Pencemar pada Limbah Deterjen

Parameter	Hasil Pengukuran
Suhu	29°C
pH	8,25
	Konsentrasi (mg/L)
BOD	294,45
COD	780
Ammonium	390,05
Nitrat	61,00

Tabel 4.2 Konsentrasi Kandungan Pencemar pada Limbah Pewangi

Parameter	Hasil Pengukuran
Suhu	28°C
pH	7,87
	Konsentrasi (mg/L)
BOD	153,25
COD	312,50
Ammonium	102,50
Nitrat	58,31

4.2 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan sebelum penelitian utama dilaksanakan. Penelitian pendahuluan meliputi aklimatisasi dan *Range Finding Test* (RFT) untuk mengetahui konsentrasi yang dapat diterima oleh tumbuhan.

4.2.1 Aklimatisasi

Tahap aklimatisasi dilakukan pada dua tumbuhan yang akan digunakan dalam proses pengolahan, yaitu tumbuhan Cattail dan Kayu Apu. Tahap aklimatisasi merupakan tahap penyesuaian dengan lingkungan tumbuh (Mangkoedihardjo, 2010).

4.2.1.1 Aklimatisasi Tumbuhan Cattail

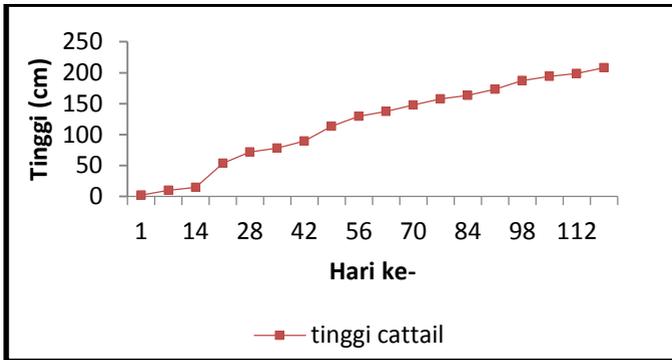
Tahap aklimatisasi pada tumbuhan Cattail dilakukan dengan cara memindahkan tumbuhan pada sebuah bak dengan media kerikil dan ditambahkan larutan nutrisi untuk menunjang pertumbuhannya. Larutan nutrisi yang digunakan pada tahap aklimatisasi ini merupakan pupuk kompos yang dilarutkan dalam air kran atau air PDAM.

Aklimatisasi untuk tumbuhan Cattail dilakukan selama lebih dari lima bulan. Pada umur 6 minggu tumbuhan ini telah memiliki tunas vegetatif pada akarnya, sedangkan untuk perkembangbiakan generatifnya terjadi pada umur sekitar 120 hari atau 3 bulan yang ditandai dengan mulai munculnya bunga pada tumbuhan ini.

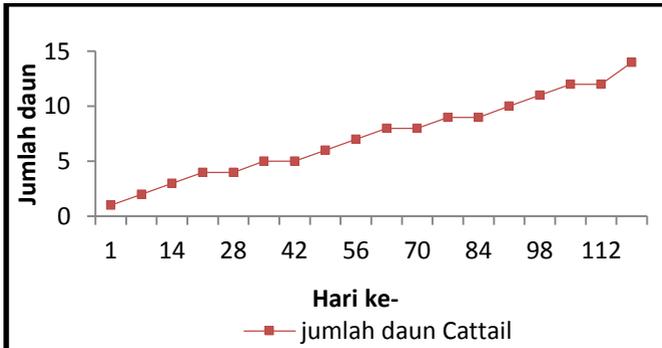
Pola pertumbuhan adalah bertahap sigmoid : aklimatisasi, vegetatif, dan generatif. Pertumbuhan vegetatif dicirikan oleh peningkatan ukuran bagian-bagian tumbuhan (akar, batang, daun). Ciri pertumbuhan generatif adalah tumbuh bunga, buah dan memperbanyak tumbuhan. Pertumbuhan vegetatif mempunyai laju pertumbuhan tercepat dibanding lainnya yang menjadi dasar formulasi kuantitatif pertumbuhan tumbuhan dan fokus fitoteknologi untuk penerapan sanitasi lingkungan (Mangkoedihardjo, 2010).

Pada Gambar 4.2 akan ditunjukkan grafik pertumbuhan tumbuhan Cattail yang diamati selama kurang lebih 120 hari. Selain itu dapat diamati pula pada Gambar 4.3 penambahan jumlah daun pada tumbuhan Cattail. Pemilihan umur tumbuhan Cattail yang akan digunakan untuk *Range Finding Test* (RFT) dan pengolahan limbah didasarkan pada kecepatan pertumbuhan vegetatifnya, yaitu pada umur 3 hingga 4 minggu berdasarkan grafik yang terdapat pada Gambar 4.2 tinggi tumbuhan mencapai 40 cm pada umur 3 hingga 4 minggu ini. Pada penelitian Vicencio (2013) digunakan tumbuhan dengan tinggi 35 ± 5 cm.

Berdasarkan hasil pengamatan, tumbuhan Cattail masih hidup hingga umur 5 bulan. Namun, pada umur 5 bulan ini tumbuhan Cattail mengalami penambahan tinggi yang sudah stabil (setiap pengukuran bertambah kurang lebih 1 hingga 2 cm), tidak seperti pada 3 bulan pertama yang kenaikannya berbeda cukup jauh.



Gambar 4.2 Pertambahan Tinggi Tumbuhan Cattail



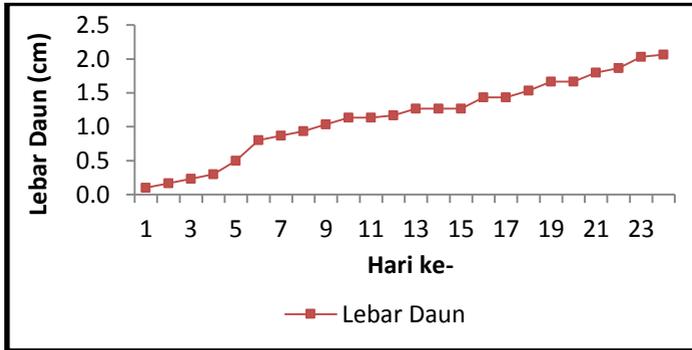
Gambar 4.3 Pertambahan Jumlah Daun Tumbuhan Cattail

4.2.1.2 Aklimatisasi Tumbuhan Kayu Apu

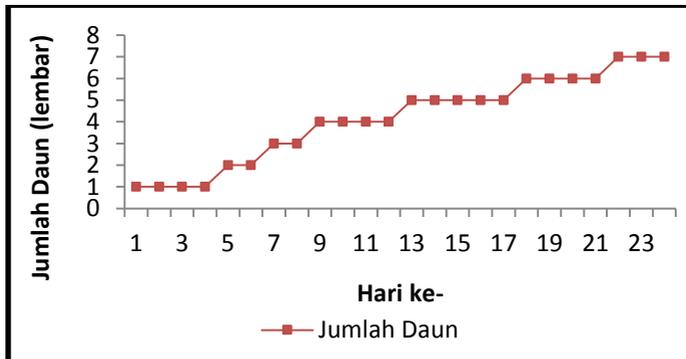
Tahap aklimatisasi pada tumbuhan Kayu Apu, tumbuhan langsung dipindahkan pada bak yang telah diisi dengan larutan nutrien tanpa menggunakan media kerikil. Larutan nutrien yang digunakan pada tahap aklimatisasi ini merupakan pupuk kompos yang dilarutkan dalam air kran atau air PDAM.

Tumbuhan Kayu Apu memiliki laju pertumbuhan yang lebih cepat jika dibandingkan dengan tumbuhan Cattail. Satu tumbuhan Kayu Apu dapat memiliki beberapa tunas sekali waktu. Selama dilakukan pengamatan, tumbuhan Kayu Apu ini tidak mengalami fase generatif atau tidak muncul bunga pada

tumbuhan. Perbanyakkan tumbuhan ini hanya melalui tunas yang muncul dari induk tumbuhan yang berumur mulai sekitar 3 hingga 6 minggu. Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 merupakan hasil pengamatan terhadap pertumbuhan tumbuhan Kayu Apu.



Gambar 4.4 Pertambahan Lebar Daun Tumbuhan Kayu Apu



Gambar 4.5 Pertambahan Jumlah Daun Tumbuhan Kayu Apu

Tumbuhan Kayu Apu yang akan digunakan pada penelitian ini adalah tumbuhan Kayu Apu yang memiliki ukuran dan warna seragam (Yong Li, 2013), yaitu tumbuhan yang memiliki diameter 6-10 cm (Anggraeni, 2007) dan memiliki jumlah daun sekitar 5 hingga 7 lembar.

4.2.2 Range Finding Test (RFT)

RFT dilakukan dengan menggunakan reaktor sebanyak 26 buah termasuk untuk kontrol tumbuhan. Pada RFT ini dilakukan variasi konsentrasi untuk mengetahui batas kritis konsentrasi. Variasi konsentrasi pada limbah *laundry* dapat diperoleh dengan cara pengenceran terhadap limbah tersebut. Tumbuhan yang digunakan pada RFT ini merupakan tumbuhan generasi kedua yang telah di aklimatisasikan sebelumnya.

RFT dilakukan dua kali, yaitu RFT untuk limbah deterjen dan limbah pewangi. Pada Tabel 3.2 Dapat dilihat kriteria dari tumbuhan yang terkena dampak dari RFT.

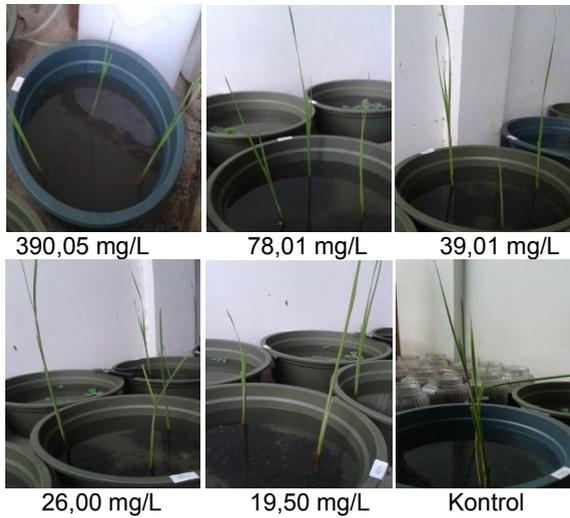
Tabel 4.3 Kriteria Tumbuhan Cattail dan Kayu Apu ketika RFT

No.	Kriteria	Gambar
1	Daun Cattail segar	
2	Ujung daun Cattail berwarna coklat	
3	Akar Cattail membusuk	

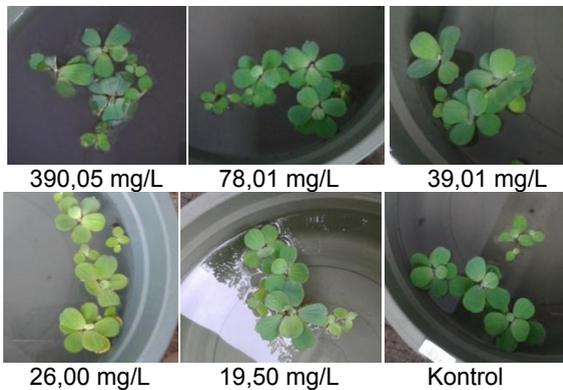
No.	Kriteria	Gambar
4	Daun Kayu Apu segar	
5	Daun Kayu Apu mulai menguning	
6	Akar Kayu Apu terpisah dari daun	
7	Tumbuhan Kayu Apu tenggelam	

4.2.2.1 *Range Finding Test* (RFT) Limbah Deterjen

RFT pada penelitian pendahuluan ini menggunakan limbah deterjen yang diambil dari sebuah usaha *laundry*. Variasi konsentrasi ammonium untuk RFT ini diperoleh dengan melakukan pengenceran terhadap limbah deterjen tersebut. Konsentrasi yang digunakan pada RFT ini adalah limbah dengan konsentrasi ammonium 390,05 mg/L, 78,01 mg/L, 39,01 mg/L, 26,00 mg/L, dan 19,50 mg/L. Tumbuhan yang digunakan pada RFT ini adalah sebanyak 3 buah untuk volume limbah 10 L.



Gambar 4.6 *Range Finding Test* Hari Pertama Tumbuhan Cattail



Gambar 4.7 *Range Finding Test* Tumbuhan Kayu Apu

Hasil pengamatan dari RFT limbah bilasan pertama dapat dilihat pada Tabel 4.3 dibawah ini.

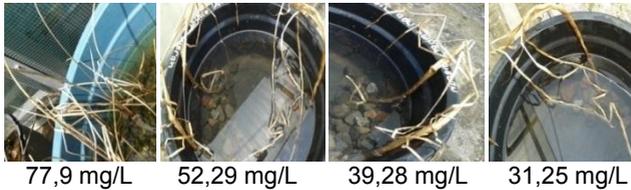
Tabel 4.4 Hasil Pengamatan RFT Limbah Deterjen

Tumbuhan	Konsentrasi (mg/L)	Kondisi Tumbuhan			
		Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4
Cattail	390,05	Daun hijau segar	Ujung daun mulai layu	Ujung daun berwarna coklat	Ujung daun coklat dan akar mulai membusuk
	78,01		Daun hijau segar	Daun hijau segar	Daun hijau segar
	39,01				
	26,00				
	19,50				
Kayu Apu	390,05	Tumbuhan segar	Beberapa daun mulai tenggelam	Tumbuhan tenggelam	Akar terpisah dari daun dan tenggelam
	78,01		Tumbuhan segar	Tumbuhan segar	Tumbuhan segar
	39,01				Tumbuhan segar
	26,00				Daun mulai menguning
	19,50				Tumbuhan segar

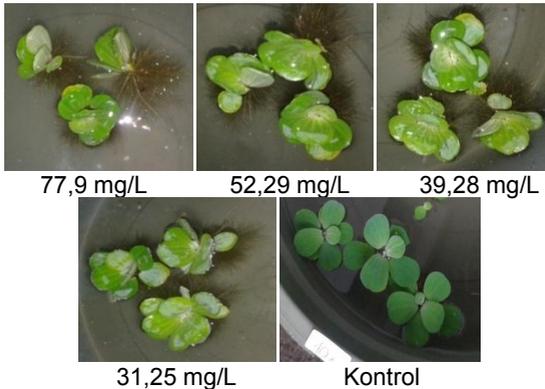
Berdasarkan hasil dari RFT pada tabel di atas, konsentrasi ammonium yang akan digunakan pada penelitian utama adalah limbah dengan konsentrasi ammonium sebesar 78,01 mg/L. Namun, ketika pelaksanaan penelitian dengan menggunakan limbah artifisial tumbuhan mengalami kematian dengan ciri semua daun mengering dan akarnya membusuk pada hari ke-2 untuk tumbuhan Cattail, sedangkan tumbuhan

Kayu Apu mengalami perubahan warna daun menjadi putih trasparan dan tenggelam ke dasar reaktor. Sehingga diperlukan RFT lagi dengan menggunakan limbah artifisial yang dibuat dengan deterjen.

RFT kedua menggunakan variasi konsentrasi ammonium 77,9 mg/L, 52,29 mg/L, 39,28 mg/L, dan 31,25 mg/L. Pada hari ke-2 RFT kondisi fisik tumbuhan Cattail menjadi kering dan mati, sedangkan untuk tumbuhan Kayu Apu tenggelam dan pada hari ke-4 akar tumbuhan Kayu Apu terpisah dari daunnya. Pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 dapat dilihat RFT kedua dengan limbah artifisial.



Gambar 4.8 *Range Finding Test* Kedua Hari Kedua Tumbuhan Cattail



Gambar 4.9 *Range Finding Test* Kedua Hari Pertama Tumbuhan Kayu Apu

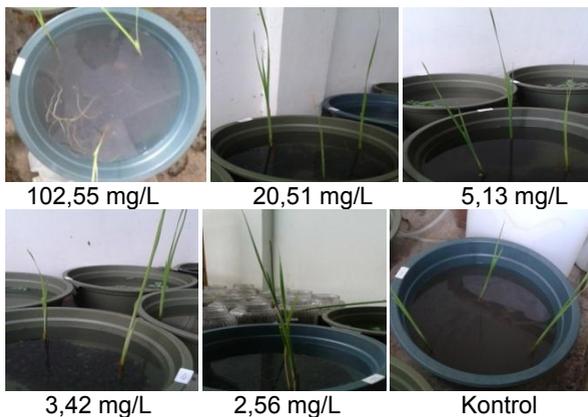
Variasi konsentrasi limbah artifisial di atas masih menyebabkan kematian pada kedua tumbuhan, sehingga dilanjutkan dengan RFT ketiga untuk mendapatkan konsentrasi

ammonium yang tidak menyebabkan kematian pada tumbuhan. Variasi konsentrasi ammonium yang digunakan pada RFT ketiga adalah, 25,82 mg/L, 22,35 mg/L, dan 19,53 mg/L.

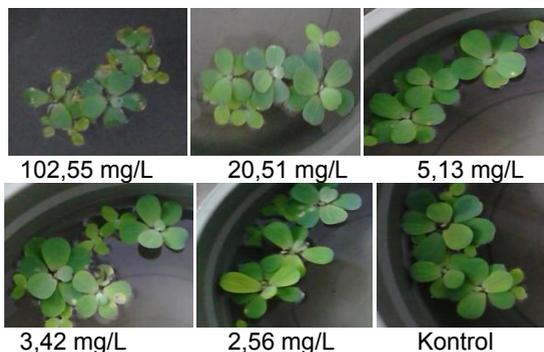
Pada hari pertama RFT, kondisi fisik tumbuhan masih segar. Namun, pada hari kedua untuk limbah artifisial dengan konsentrasi ammonium 25,82 mg/L dan 22,35 mg/L ujung daun tumbuhan Cattail mulai menguning dan hari keempat tumbuhan mulai kering, sedangkan untuk tumbuhan Kayu Apu pada kedua konsentrasi ammonium di atas, beberapa daun dari tumbuhan ini mulai tenggelam pada hari kedua dan pada hari keempat akar tumbuhan terpisah dari daunnya. Hasil RFT ketiga menunjukkan bahwa konsentrasi ammonium yang akan digunakan pada penelitian utama adalah 19,53 mg/L.

4.2.2.2 Range Finding Test (RFT) Limbah Pewangi

Variasi konsentrasi ammonium untuk RFT limbah pewangi diperoleh dengan melakukan pengenceran terhadap limbah tersebut. Konsentrasi yang digunakan pada RFT ini adalah limbah dengan konsentrasi ammonium 102,55 mg/L, 20,51 mg/L, 5,13 mg/L, 3,42 mg/L, dan 2,56 mg/L.



Gambar 4.10 Range Finding Test Hari Pertama Tumbuhan Cattail



Gambar 4.11 *Range Finding Test* Hari Kedua Tumbuhan Kayu Apu

Hasil pengamatan dari RFT limbah pewangi dapat dilihat pada Tabel 4.4 dibawah ini.

Tabel 4.5 Hasil Pengamatan RFT Limbah Pewangi

Tumbuhan	Konsentrasi (mg/L)	Kondisi Tumbuhan			
		Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4
Cattail	122,55	Daun hijau segar	Daun hijau segar	Ujung daun berwarna coklat	Ujung daun coklat dan akar membusuk
	20,51		Daun hijau segar	Daun hijau segar	Daun hijau segar
	5,13		Daun hijau segar	Daun hijau segar	Daun hijau segar
	3,42		Daun hijau segar	Daun hijau segar	Daun hijau segar
	2,56		Daun hijau segar	Daun hijau segar	Daun hijau segar
Kayu Apu	122,55	Beberapa daun langsung menguning	Beberapa daun mulai tenggelam	Tumbuhan tenggelam	Akar terpisah dari daun dan tenggelam

Tumbuhan	Konsentrasi (mg/L)	Kondisi Tumbuhan			
		Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4
	20,51	Tumbuhan segar	Tumbuhan segar	Tumbuhan segar	Tumbuhan segar
	5,13				
	3,42				
	2,56				

Berdasarkan hasil RFT limbah pewangi di atas, dipilih konsentrasi ammonium sebesar 20,51 mg/L untuk penelitian utama. Penelitian utama akan menggunakan limbah artifisial yang terbuat dari pewangi cair dan diencerkan dengan air kran hingga mencapai konsentrasi ammonium yang digunakan.

4.3 Pelaksanaan Penelitian

Parameter utama pada penelitian ini adalah ammonium dan parameter tambahan meliputi pH, suhu, BOD, dan COD. Parameter pH dan suhu diperlukan untuk mengamati kondisi tumbuhan yang digunakan, karena setiap tumbuhan memiliki rentang pH dan suhu tertentu untuk dapat tumbuh optimal. Parameter BOD dan COD diperlukan untuk melihat jenis limbah yang diolah apakah bersifat biodegradabel atau tidak.

4.3.1 Analisis Ammonium

Nitrogen merupakan salah satu polutan utama yang terdapat pada air limbah yang dapat menyebabkan eutrofikasi, mempengaruhi oksigen terlarut pada badan air, dan dapat menyebabkan keracunan (tergantung bentuk nitrogennya) untuk organisme akuatik. Nitrogen pada air limbah dapat terbentuk sebagai organik atau inorganik nitrogen (Kadlec dan Knight, 1996).

Nitrogen merupakan salah satu unsur hara makro bagi tumbuhan. Artinya, nitrogen dibutuhkan oleh tumbuhan dalam jumlah yang cukup besar. Tumbuhan akan mengambil nitrogen

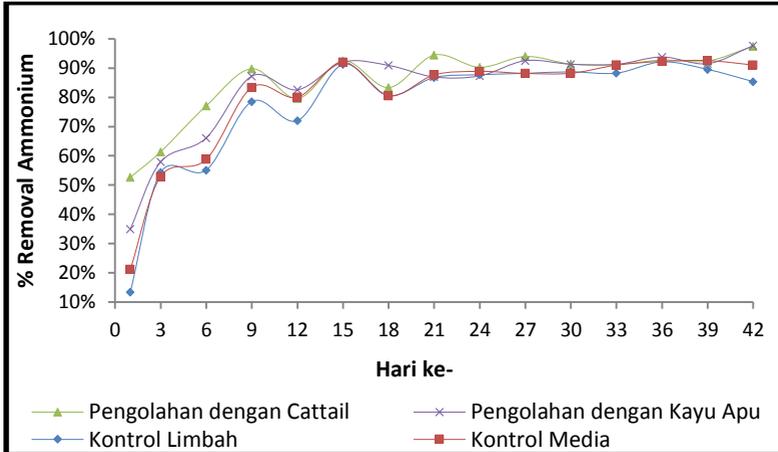
yang tersedia dalam air limbah dalam bentuk ammonium dan nitrat. Ammonia yang terlarut dalam air limbah berbentuk ion ammonium (Metcalf dan Eddy, 2003). Sehingga, ammonium dalam air limbah ini dapat diserap oleh tumbuhan untuk menunjang pertumbuhannya.

Gambar 4.12 dan 4.13 merupakan fluktuasi persentase removal ammonium pada penelitian ini. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa hari pertama penelitian sudah terdapat removal pada masing-masing reaktor dan mengalami kenaikan hingga mencapai 90 % pada hari ke-9 untuk limbah deterjen, dan mencapai 90 % pada hari ke-6 untuk limbah pewangi. Setelah itu terjadi fluktuasi persentase removal yaitu pada rentang 80 % hingga 98 %, hal ini dikarenakan tumbuhan dapat mengeluarkan eksudat sehingga konsentrasi ammonium dalam air limbah akan bertambah. Eksudat merupakan N organik yang diurai menjadi ammonium yang terlarut dalam air (Vymazal, 2008). Hari ke-42 penelitian menunjukkan persen removal terakhir dari penelitian, removal limbah deterjen dengan Cattail mencapai 97,50 % dan untuk Kayu Apu adalah sebesar 97,68 %. Removal pada limbah pewangi dengan Cattail memiliki persentase removal sebesar 97,98 % dan untuk Kayu Apu sebesar 98,34 %.

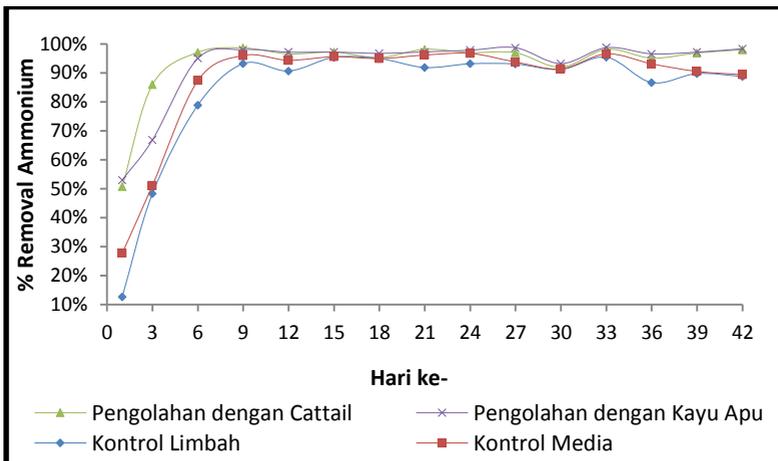
Namun, jika persentase removal ini dibandingkan dengan kontrol limbah, untuk masing-masing jenis limbah, removal tidak memiliki persen yang cukup tinggi. Hal ini dikarenakan pada reaktor yang tidak ditanam Cattail maupun Kayu Apu, ammonium yang terkandung dalam air limbah juga mengalami penurunan yang cukup besar. Pada limbah deterjen, pengolahan menggunakan Kayu Apu mengalami penurunan ammonium sebesar 12,29 %. Pada limbah pewangi, pengolahan dengan Kayu Apu mengalami penurunan ammonium sebesar 9,58 %.

Pengolahan limbah dengan Cattail menggunakan media sebagai penyangga, media yang digunakan adalah media kerikil. Penggunaan media kerikil ini juga dapat menyebabkan penurunan terhadap konsentrasi ammonium. Pada akhir penelitian removal ammonium oleh media adalah sebesar 91,07 % pada limbah deterjen dan 89,38 % pada limbah pewangi. Sehingga removal ammonium untuk tumbuhan Cattail sendiri adalah 6,43 % untuk limbah deterjen dan 8,60 % untuk limbah pewangi. Pada penelitian sebelumnya oleh Brix et. al. (2002),

setelah penelitian berlangsung selama 3 bulan, removal ammonium oleh tumbuhan Cattail adalah sebesar 19,1 % dan tanpa tumbuhan sebesar 13,1 %.



Gambar 4.12 Persentase Removal Ammonium pada Limbah Deterjen

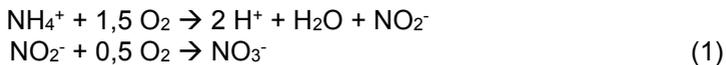


Gambar 4.13 Persentase Removal Ammonium pada Limbah Pewangi

Reaktor kontrol tanpa tumbuhan ini dapat mengalami penurunan konsentrasi ammonium yang cukup besar karena kemungkinan terdapat alga yang hidup dalam air limbah. Keberadaan alga ini dibuktikan dengan air limbah dalam bak yang menjadi berwarna hijau. Selain karena keberadaan alga, penurunan dapat terjadi pula karena adanya bakteri yang dapat membantu terjadinya proses nitrifikasi, sehingga ammonia yang terlarut dalam air sebagai ion dapat diubah menjadi nitrat. Oleh karena itu, removal yang terjadi pada reaktor kontrol cukup besar. Bakteri nitrifikasi dapat hidup dengan baik karena terdapat substrat dalam limbah.

Alga dapat tumbuh dengan baik seperti bakteri atau protozoa (Brix, 1998), alga dapat menambah oksigen terlarut dalam air dan menyerap nutrisi, bakteri dapat mendegradasi zat organik. Bakteri merupakan mikroorganisme pertama yang aktif, dengan bantuan oksigen terlarut, elemen-elemen anorganik dalam air sebagai sumber nutrisi akan berkurang.

Ammonium yang terlarut dalam air limbah dapat menurun dikarenakan dua hal, yang pertama adalah karena adanya uptake oleh tumbuhan dan yang kedua adalah karena terjadi proses nitrifikasi. Akar dan *rhizome* dari makrofita ini menyediakan substrat untuk melekatnya mikroorganisme (Vymazal, 2008). Paul dan Clark (1996) total mikrobial meningkat secara signifikan di *rhizosphere*. Proses nitrifikasi dapat terjadi pada kondisi aerobik, karena proses ini membutuhkan oksigen sesuai dengan persamaan reaksi dibawah ini,



Reaktor yang digunakan pada penelitian ini merupakan reaktor yang bersifat aerobik karena kedalaman dari reaktor ini hanya sebesar 29,5 cm. Sehingga memungkinkan proses nitrifikasi ini berlangsung. Hasil nitrifikasi yang berupa nitrat juga dapat langsung diserap oleh tumbuhan sebagai nutrisi. Selain itu, kehilangan ammonium juga disebabkan munculnya ammonia dalam bentuk gas. Ammonia dalam bentuk gas ini akan terbentuk apabila pH air limbah $\geq 9,25$ (Metcalf dan Eddy, 2003). Selama proses penelitian berlangsung, pada setiap reaktor uji yang

digunakan, terdapat beberapa titik dengan pH $\geq 9,25$, sehingga pada titik-titik ini terbentuk ammonia dalam bentuk gas.

Adanya proses nitrifikasi ini dibuktikan dengan adanya kenaikan konsentrasi nitrat pada hari ke-39 dan ke-42 pada limbah mengalami kenaikan. Tabel 4.6 dan Tabel 4.7 menunjukkan hasil analisis nitrat. Proses nitrifikasi sendiri akan optimal pada pH 7,0-8,3 dan memiliki nilai DO 3-5 mg/L (Hem *et al.*, 1993).

Tabel 4.6 Konsentrasi Nitrat pada Limbah Deterjen (mg/L)

Hari Ke-	Limbah Deterjen				
	in	out			
		Kontrol Limbah	Kayu Apu	Kontrol Media	Cattail
39	68.26	2.38	2.28	2.26	1.65
42		2.37	2.29	2.35	2.47

Tabel 4.7 Konsentrasi Nitrat pada Limbah Pewangi (mg/L)

Hari Ke-	Limbah Pewangi				
	in	out			
		Kontrol Limbah	Kayu Apu	Kontrol Media	Cattail
39	28.89	1.36	1.08	1.29	1.06
42		1.37	1.19	1.29	1.29

Pada sebuah penelitian sebelumnya oleh Kirsten Dyhr-Jensen (1996), disebutkan bahwa tumbuhan Cattail dapat tumbuh pada kultur dengan larutan NH_4^+ sebagai unsur nitrogen yang utama. Hal ini mendukung hasil penelitian yang diperoleh, yakni tumbuhan Cattail dapat tumbuh dan menyerap ammonium dalam air limbah sebagai nutrisi. Didukung dengan hasil removal ammonium yakni sebesar 6,43 % untuk limbah deterjen dan 8,60 % untuk limbah pewangi.

Freely floating macrophyta merupakan makrofita yang terdapat pada permukaan air, jenis tumbuhan ini mampu dengan baik dalam removal nitrogen (N) dan phosphorus (P) dengan memasukkan kedua nutrient tersebut kedalam biomassa tumbuhan, dan dengan denitrifikasi, selain itu, tumbuhan jenis ini juga dapat meremoval *suspended solid* (Saeed, 2012). Tumbuhan Kayu Apu merupakan salah satu makrofita dalam jenis ini, sehingga tumbuhan dapat menurunkan ammonia yang terdapat dalam limbah. Efisiensi removal dari tumbuhan Kayu Apu dalam menurunkan ammonium pada limbah deterjen adalah sebesar 12,29 % dan untuk limbah pewangi sebesar 9,58 %.

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat dilihat bahwa penurunan ammonium dalam limbah tidak terlalu besar dan kedua tumbuhan ini hanya mampu mengolah limbah dengan konsentrasi ammonium sekitar 20 mg/L. Artinya, pengolahan limbah *laundry* dengan menggunakan tumbuhan kurang efektif karena tumbuhan tidak mampu menerima limbah dengan konsentrasi ammonium yang sangat tinggi. Berkurangnya konsentrasi ammonium dalam limbah selama proses penelitian ini, yang lebih banyak berperan antara *uptake* oleh tumbuhan dan nitrifikasi adalah *uptake* oleh tumbuhan. Hal ini dapat dilihat dari perbedaan konsentrasi ammonium pada hari ke-39 dan hari ke-42 pada Tabel 4.8 dan Tabel 4.9 yang dibandingkan dengan perbedaan konsentrasi nitrat pada hari ke-39 dan hari ke-42.

Tabel 4. 8 Konsentrasi Ammonium pada Limbah Deterjen (mg/L)

Hari Ke-	Limbah Deterjen				
	in	out			
		Kontrol Limbah	Kayu Apu	Kontrol Media	Cattail
39	19.56	2.00	0.54	1.85	0.60
42		2.20	0.32	2.07	0.39

Tabel 4. 9 Konsentrasi Ammonium pada Limbah Pewangi (mg/L)

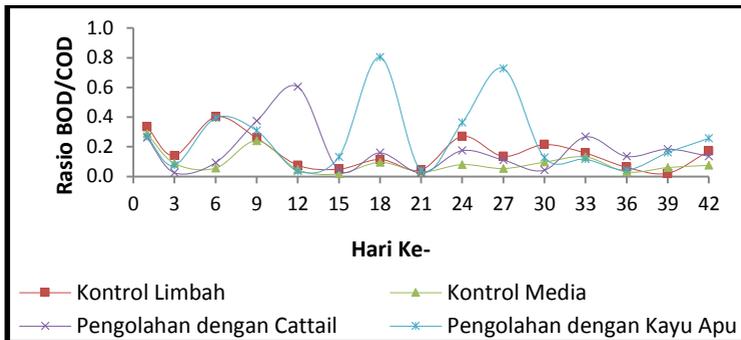
Hari Ke-	Limbah Pewangi				
	in	out			
		Kontrol Limbah	Kayu Apu	Kontrol Media	Cattail
39	20.82	2.18	1.69	1.53	1.50
42		3.04	0.46	1.84	0.49

Perbedaan konsentrasi ammonium pada hari ke-39 dan hari ke-42 lebih besar daripada perbedaan konsentrasi nitratnya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa proses nitrifikasi lebih kecil daripada *uptake* oleh tumbuhan, karena untuk pembentukan satu molekul nitrat dibutuhkan satu molekul ammonium. Sebagaimana persamaan reaksi (1) pembentukan nitrat pada halaman 40.

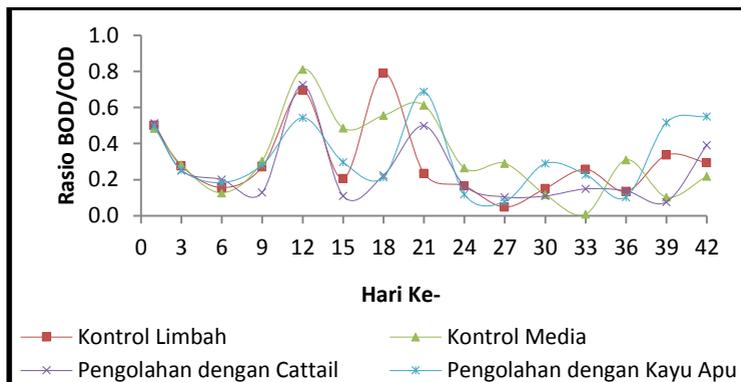
Rizodegradasi merupakan proses penguraian kontaminan dalam tanah oleh aktivitas mikroba. Mikroba hidup dalam zona akar dari pasokan sumber karbon organik dari tumbuhan ($C_6H_{12}O_6$), asam amino, protein, alkohol, vitamin; yang dikenal dengan eksudat akar tumbuhan. Kontaminan yang menjalani proses mikrobiologis adalah kontaminan organik yang mudah terurai mikrobiologis, yang terukur sebagai BOD, dan kontaminan anorganik misalnya ammonium (NH_4^+) dan nitrit (NO_2^-) serta logam berat (Mangkoedihardjo, 2010). Berdasarkan uraian tersebut, kemungkinan fitoproses yang terjadi pada penelitian ini adalah rizodegradasi, karena konsentrasi ammonia yang terukur dalam sampel limbah semakin menurun yang dimungkinkan karena adanya proses *uptake* dari tumbuhan, nitrifikasi dan volatilisasi ammonia pada $pH \geq 9,25$. Selain itu, mekanisme fitoekstraksi juga terjadi pada penelitian ini, karena ammonium yang diserap oleh tumbuhan didifusikan ke seluruh bagian tumbuhan untuk menunjang pertumbuhan tumbuhan. Sebagaimana penelitian yang telah dilakukan oleh Ninnemann *et al.* (1994) bahwa ammonium diambil oleh akar tanaman dengan cara difusi NH_4^+ melalui membran plasma.

4.3.2 Analisis Rasio BOD/COD

Analisis rasio BOD/COD dilakukan untuk mengetahui biodegradabilitas limbah yang akan diolah. Limbah yang belum mengalami pengolahan sama sekali memiliki rasio BOD/COD antara 0,3-0,8 (Metcalf dan Eddy, 2003). Gambar 4.14 dan Gambar 4.15 menunjukkan grafik rasio BOD/COD pada limbah deterjen dan limbah pewangi.



Gambar 4.14 Rasio BOD/COD pada Limbah Deterjen



Gambar 4.15 Rasio BOD/COD pada Limbah Pewangi

Rasio BOD/COD merupakan indikator yang umum digunakan pada derajat biodegradasi air limbah. Menurut Mangkoedihardjo (2010) air limbah yang bersifat stabil memiliki

rasio BOD/COD kurang dari 0,1 dan jika lebih dari 0,1 maka air limbah memiliki mutu yang biodegradabel. Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa rasio BOD/COD selama penelitian berfluktuatif. Naiknya rasio BOD/COD dapat dikarenakan nilai BOD yang meningkat atau dikarenakan nilai CODnya yang menurun. Nilai BOD yang meningkat dipengaruhi oleh aktivitas bakteri yang terdapat pada air limbah. BOD merupakan zat organik yang mudah terurai mikrobiologis, sehingga apabila bakteri tidak mampu mengurai substrat ini berakibat tetap tingginya nilai BOD. Selain itu, oksigen sebagai pengoksidasi dalam air limbah ini dapat berkurang supplainya karena tidak hanya dibutuhkan untuk proses degradasi substrat, tetapi juga untuk sintesis sel bakteri yang terdapat pada air limbah dan kebutuhan untuk proses nitrifikasi. COD dapat mengalami penurunan karena kemungkinan tumbuhan dapat menyerap senyawa non biodegradabel.

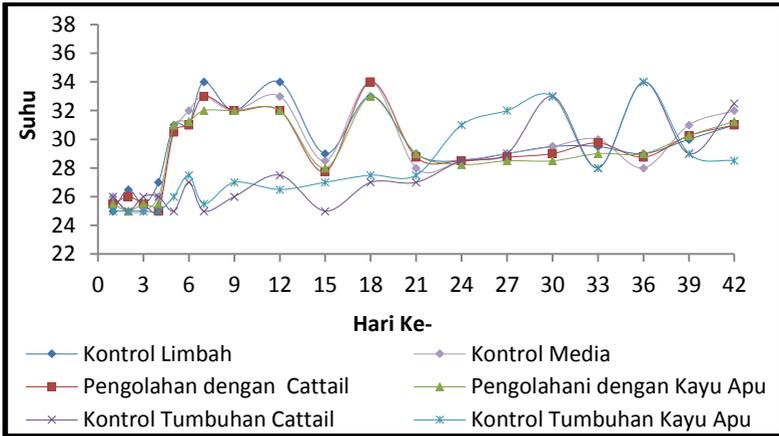
4.3.3 Analisis Suhu dan pH

Analisis suhu dan pH dilakukan sebagai penunjang pengamatan pertumbuhan tumbuhan, karena tumbuhan memiliki rentang suhu dan pH tertentu untuk pertumbuhannya. Suhu optimum untuk pertumbuhan Cattail adalah pada rentang 10-30°C (Reed et al., 1995), sedangkan untuk tumbuhan Kayu Apu adalah 25-30°C. Pada Gambar 4.16 dan 4.17 disajikan grafik fluktuasi suhu selama proses penelitian ini berlangsung. Suhu yang berfluktuasi ini dipengaruhi oleh kondisi lingkungan di sekitar penelitian berlangsung.

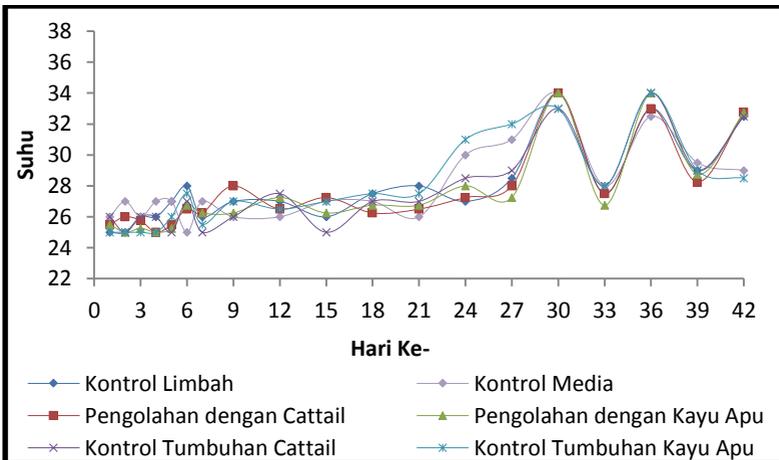
Pada Gambar 4.16, grafik mengalami perbedaan yang signifikan pada hari ke-6 hingga hari ke-42 karena running penelitian dilakukan tidak secara bersamaan. Kontrol Tumbuhan Cattail dan Kayu Apu telah diamati hingga hari 9, baru kemudian untuk running limbah bilasan pertama baru dimulai. Hal ini dikarenakan tumbuhan mati ketika running menggunakan hasil RFT pertama, sehingga harus dilakukan RFT kembali sebanyak dua kali baru kemudian running kembali.

Fluktuasi suhu pada limbah deterjen berkisar antara 25-34°C, begitu pula dengan limbah pewangi. Pada suhu diatas 30°C tumbuhan Cattail masih dapat bertahan dan daun

tumbuhan ini masih tetap hijau segar. Namun, untuk tumbuhan Kayu Apu, daun tumbuhan ini mulai menguning.



Gambar 4.16 Parameter Suhu pada Limbah Deterjen

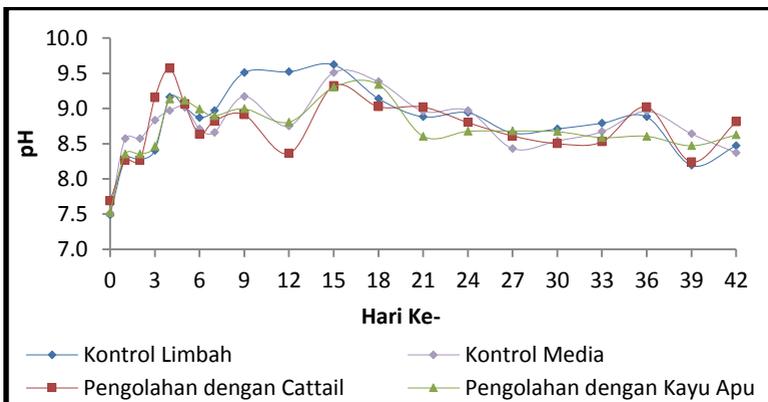


Gambar 4.17 Parameter Suhu pada Limbah Pewangi

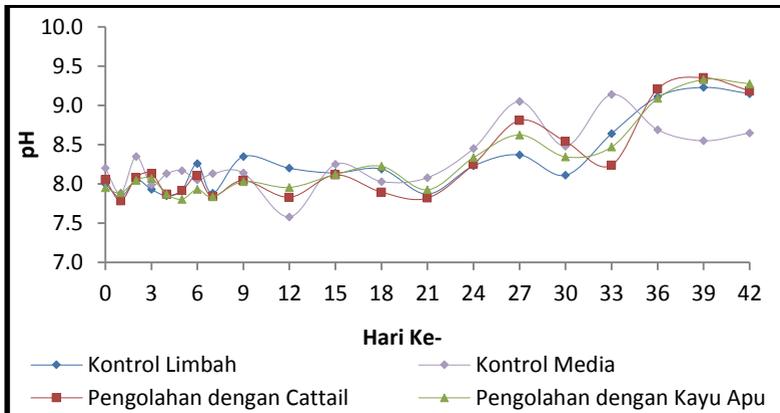
Tumbuhan Cattail dapat hidup pada rentang pH 4 hingga 10 (Reed et. al.,1995), sedangkan tumbuhan Kayu Apu dapat tumbuh pada rentang pH 6 hingga 7 (Foth, 1995). Hasil

pengamatan parameter pH dapat dilihat pada Gambar 4.18 dan Gambar 4.19.

Dari dua gambar tersebut dapat dilihat bahwa pH berfluktuasi. Pada limbah deterjen pH berfluktuasi dari 7,51 hingga 9,57 dan pada limbah pewangi pH berfluktuasi mulai dari 7,58 hingga 9,42. Parameter pH yang berfluktuasi ini dikarenakan penyerapan kation dan anion. Ketika akar tumbuhan menyerap ion positif (kation) seperti ammonium, maka akar tumbuhan juga akan mengeluarkan ion positif (H^+) ke lingkungan dan ketika tumbuhan menyerap ion negatif (anion) seperti nitrat, maka akar tumbuhan juga akan mengeluarkan ion negatif (OH^-) ke lingkungan. Jika kation yang diserap lebih banyak dari anion, maka pH akan mengalami kenaikan. Sebaliknya, jika anion yang diserap lebih banyak daripada kation, maka pH akan mengalami penurunan (Krikke, 2008). Pada Gambar 4.18 dan Gambar 4.19, pH mengalami kenaikan karena akar tumbuhan lebih banyak menyerap kation yaitu ammonium. Pada kedua gambar tersebut pH juga mengalami penurunan karena akar tumbuhan lebih banyak menyerap anion yaitu nitrat.



Gambar 4.18 Parameter pH pada Limbah Deterjen



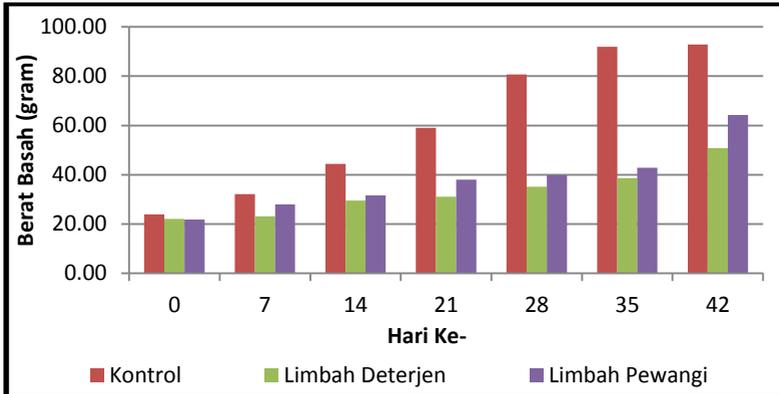
Gambar 4.19 Parameter pH pada Limbah Pewangi

Berdasarkan grafik equilibrium antara ammonia dan ammonium pada Gambar 2.1, bahwa pada $\text{pH} \geq 9,25$ akan terbentuk ammonia dalam bentuk gas. Oleh karena itu, pada titik dimana $\text{pH} \geq 9,25$ kemungkinan terbentuk ammonia dalam bentuk gas, sehingga penurunan konsentrasi ammonium dalam air limbah pada titik tersebut juga dipengaruhi oleh terbentuknya ammonia dalam bentuk gas.

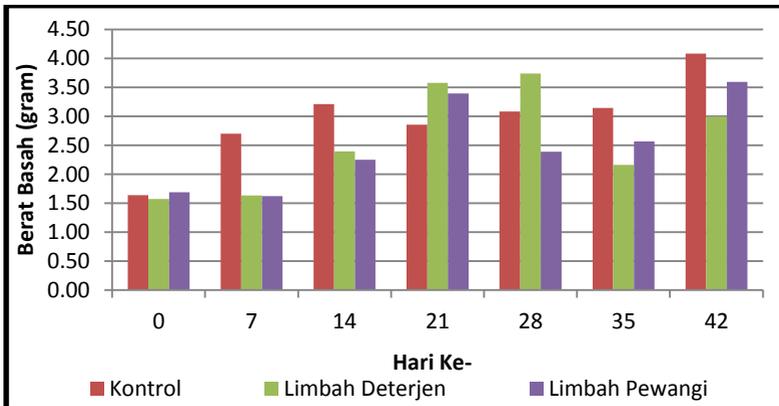
4.3.4 Analisis Berat Basah dan Kering Tumbuhan

Analisis berat basah dilakukan bersamaan dengan analisis berat kering tumbuhan, yang dilakukan setiap satu minggu sekali mulai pada hari ke-0 hingga hari ke-42. Tumbuhan harus dibersihkan dari pengotor sebelum analisis berat basah dan berat kering dilakukan. Pada Gambar 4.21 dan Gambar 4.22 dapat dilihat hasil penimbangan dari berat basah tumbuhan, sedangkan pada Gambar 4.23 dan Gambar 4.24 merupakan hasil analisis berat kering tumbuhan. Berat basah tumbuhan Cattail dan Kayu Apu mengalami kenaikan jika dilihat pada Gambar 4.21 dan Gambar 4.22. Kontrol tumbuhan Cattail mengalami kenaikan yang lebih besar jika dibandingkan dengan tumbuhan Cattail yang terdapat pada reaktor uji dengan deterjen dan pewangi. Sedangkan untuk tumbuhan Kayu Apu mengalami fluktuasi karena tumbuhan ini sangat terpengaruh dengan suhu dan panas

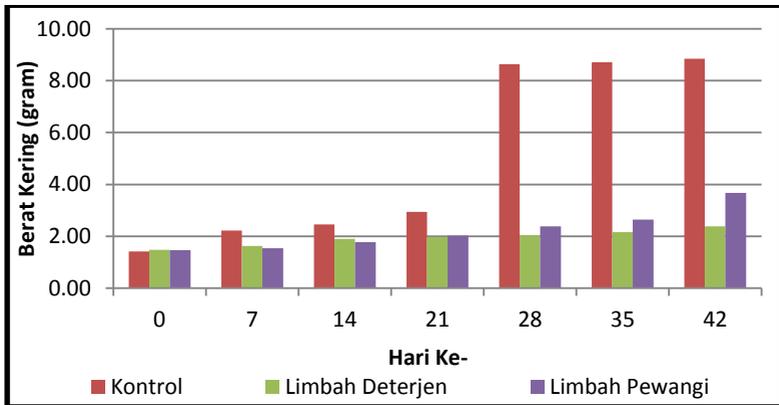
lingkungan, pada reaktor kontrol tumbuhan, tumbuhan ini juga memiliki berat basah yang lebih besar.



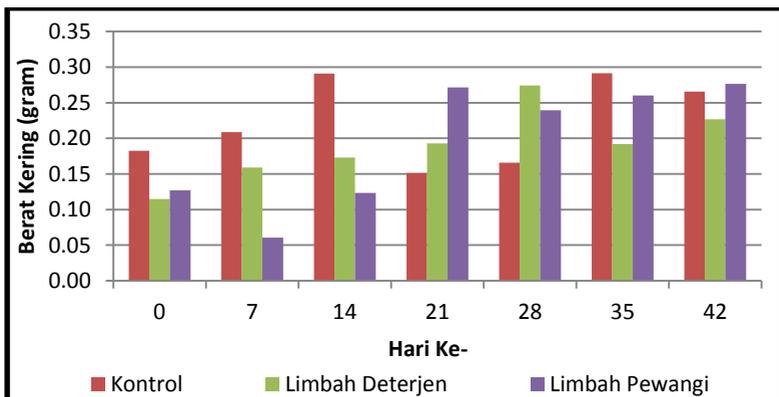
Gambar 4. 20 Berat Basah Tumbuhan Cattail



Gambar 4. 21 Berat Basah Tumbuhan Kayu Apu



Gambar 4. 22 Berat Kering Tumbuhan Cattail



Gambar 4. 23 Berat Kering Tumbuhan Kayu Apu

Berdasarkan Gambar 4.22 dan Gambar 4.23 di atas dapat dilihat bahwa tumbuhan mengalami pertumbuhan setiap waktunya, hal ini dapat dilihat dengan terjadinya kenaikan berat kering dari tumbuhan setiap analisis dilakukan per minggu. Namun, jika dibandingkan dengan kontrol pertumbuhan tumbuhan, kenaikan berat kering lebih besar pada reaktor kontrol tumbuhan. Tumbuhan yang terdapat pada reaktor uji memiliki

kenaikan berat kering yang lebih rendah. Hal ini kemungkinan terjadi karena kontaminan pada limbah menyebabkan terhambatnya pertumbuhan tumbuhan.

Pada Gambar 4.22 terjadi kenaikan berat kering pada hari ke-28 karena akar cattail pada kontrol tumbuh dengan cepat sedangkan pada treatment akar cattail tidak terlalu banyak, namun pertumbuhan tunasnya lebih cepat jika dibandingkan dengan kontrol. Kenaikan pertambahan berat kering relatif stagnan setiap empat minggu setelah terjadi kenaikan pertambahan berat kering.

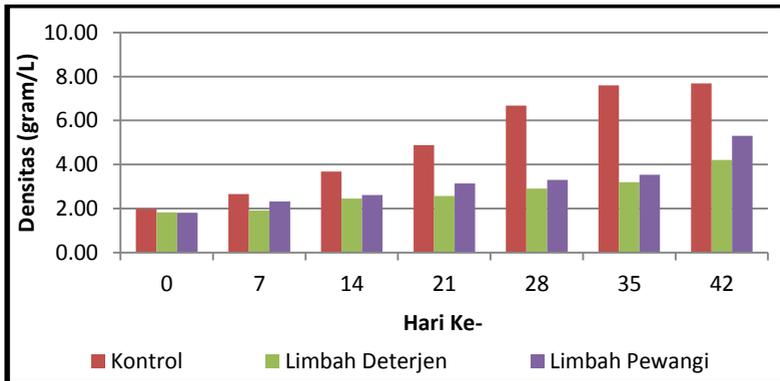
Pada Gambar 4.23 dapat dilihat berat kering dari tumbuhan kayu apu mengalami penurunan dan kemudian naik kembali. Berat kering tumbuhan ini mengalami fluktuasi dipengaruhi ukuran pertambahan diameternya. Sehingga ketika diameter menurun, maka berat kering tumbuhan ini terpengaruh.

Pada umumnya nitrogen sangat diperlukan untuk pembentukan atau pertumbuhan bagian-bagian vegetatif tumbuhan seperti daun, batang, dan akar (Lakitan, 2013). Oleh karena itu, pertambahan berat kering pada tumbuhan ini mengindikasikan bahwa nitrogen dalam air limbah dapat diserap dan digunakan untuk pembentukan atau pertumbuhan oleh kedua tumbuhan ini.

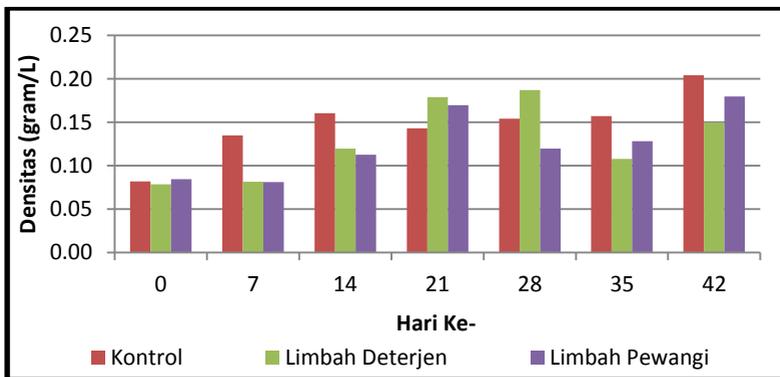
Pertambahan berat kering tumbuhan pada masing-masing reaktor uji dengan limbah deterjen dan pewangi mengalami kenaikan. Pada limbah deterjen, pertambahan berat kering dari tumbuhan Cattail adalah sebesar 905,20 mg dan untuk Kayu Apu adalah sebesar 111,95 mg. Beban yang diterima tiap tumbuhan pada limbah deterjen sendiri adalah 65,10 mg. Sedangkan untuk limbah pewangi, beban untuk tiap tumbuhan adalah sebesar 68,37 mg. Pertambahan berat kering dari tumbuhan Cattail adalah sebesar 2220,19 mg dan untuk Kayu Apu sebesar 149,60 mg. Hal ini menunjukkan bahwa beban tersebut telah mampu diserap oleh tumbuhan yang ditunjukkan dengan kenaikan berat keringnya.

Perhitungan densitas untuk masing-masing tumbuhan juga dilakukan pada penelitian ini. Pertambahan densitas tumbuhan ini dapat diartikan bahwa tumbuhan mengalami pertumbuhan selama proses pengolahan limbah berlangsung. Densitas dari masing-masing tumbuhan dapat dilihat pada Gambar 4.24 dan

Gambar 4.25 di bawah ini. Pada Gambar 4.24 dapat dilihat bahwa densitas cattail antara kontrol dengan *treatment* berbeda cukup tinggi. Hal ini dikarenakan konsentrasi NH_4^+ yang diserap oleh tumbuhan tidak langsung dapat diubah menjadi asam amino untuk pertumbuhannya, ketika dalam jaringan tumbuhan NH_4^+ tidak langsung dirubah, pertumbuhan akan terhambat (Mehrer dan Mohr, 1989). Begitu pula pada Gambar 4.25, terjadi fluktuasi densitas kayu apu juga dikarenakan terjadi akumulasi NH_4^+ dalam jaringan tumbuhan.



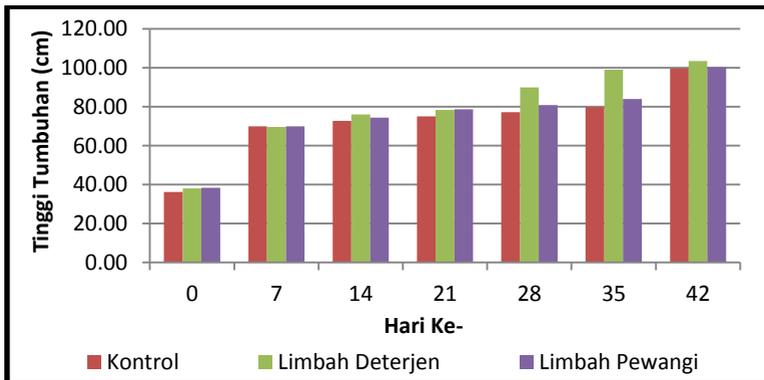
Gambar 4. 24 Densitas Tumbuhan Cattail



Gambar 4. 25 Densitas Tumbuhan Kayu Apu

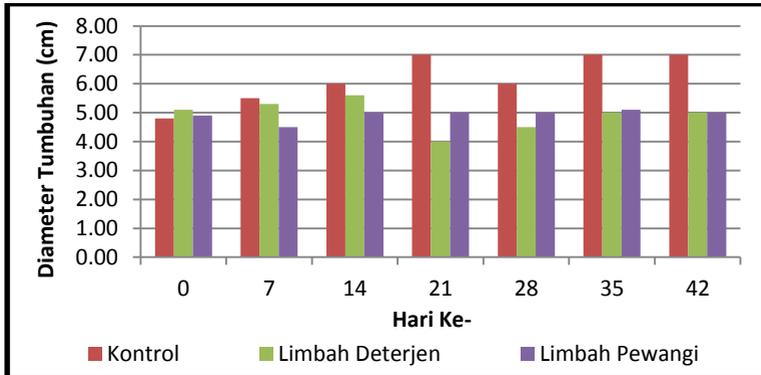
4.3.5 Kondisi Fisik Tumbuhan

Kondisi fisik yang diamati pada tumbuhan adalah tinggi tumbuhan untuk Cattail dan diameter untuk Kayu Apu. Selain itu juga diamati pula pertunasan yang muncul selama penelitian berlangsung. Pada Gambar 4.26 dapat dilihat pertambahan tinggi tumbuhan Cattail yang diamati mulai hari ke-0 hingga hari ke-42. Pertambahan tinggi tumbuhan Cattail relatif sama antara perlakuan dengan kontrol tanpa limbah.



Gambar 4. 26 Pertambahan Tinggi Tumbuhan Cattail

Pada grafik dapat dilihat bahwa tumbuhan dengan *treatment* limbah deterjen cenderung memiliki pertambahan tinggi yang lebih besar pada hari ke-28 hingga hari ke-42, walaupun pertambahan berat kering tumbuhan Cattail pada limbah deterjen ini lebih kecil daripada kontrol tumbuhan tanpa limbah. Pada Gambar 4.27 dapat dilihat pertambahan besar diameter pada tumbuhan Kayu Apu. Berdasarkan gambar dapat dilihat bahwa pertambahan besar diameter pada kontrol tanpa limbah lebih baik jika dibandingkan dengan tumbuhan pada *treatment* dengan limbah deterjen dan pewangi. Hal ini menunjukkan bahwa tumbuhan yang diberikan perlakuan pertumbuhannya terpengaruh oleh limbah deterjen dan pewangi. Penurunan ukuran diameter kayu apu dapat dikarenakan daun tumbuhan ini layu dan tidak muncul di permukaan, sehingga mempengaruhi pengukuran diameternya.



Gambar 4. 27 Pertambahan Diameter Tumbuhan Kayu Apu

Hasil pengamatan pertunasan pada reaktor selama pertumbuhan dapat dilihat pada Tabel 4.12 berikut.

Tabel 4. 10 Jumlah Tunas Selama 42 Hari

Reaktor	Cattail	Kayu Apu
Kontrol	2	3
Limbah Deterjen	4	6
Limbah Pewangi	5	6

Berdasarkan tabel di atas, dapat diketahui bahwa perlakuan pada tanaman yaitu penggunaan limbah sebagai sumber nutriennya dapat menghasilkan tunas lebih cepat daripada dengan menggunakan air PDAM. Nitrogen merupakan unsur hara makro yang dapat membantu pertunasan, apabila kekurangan unsur nitrogen, maka akan mengurangi tunas (Lakitan, 2013).

4.4 Hasil Uji ANOVA

Uji ANOVA pada penelitian ini dilakukan untuk melihat apakah pengolahan yang dilakukan dengan menggunakan tumbuhan Cattail dan Kayu Apu memiliki signifikansi atau

berbeda nyata terhadap kontrolnya. Taraf kepercayaan yang digunakan adalah 95%, sehingga angka errornya adalah 0,05. Apabila P value kurang dari 0,05 maka kesimpulan yang diambil adalah berbeda nyata antara pengolahan dengan kontrol. Namun, apabila hasil P value lebih dari 0,05 maka kesimpulan yang diambil adalah antara kontrol dan pengolahan menggunakan tumbuhan tidak berbeda nyata.

Hasil dari uji ANOVA menunjukkan P value 0,615 untuk limbah deterjen, dan 0,474 untuk limbah pewangi. Sehingga kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil uji ini adalah tidak ada perbedaan yang nyata antara kontrol dengan pengolahan dengan menggunakan kedua tumbuhan. Hasil uji ANOVA dapat dilihat pada Lampiran 4.

Uji ANOVA juga dilakukan untuk tiap variasi pada penelitian ini, yaitu variasi jenis tumbuhan dan variasi jenis limbah. Hasil uji ANOVA untuk variasi ini berbeda signifikan, yang ditunjukkan dengan nilai P value nya adalah sebesar 0,011. Selanjutnya dilakukan T-test untuk mengetahui antar variasi mana yang berbeda signifikan, dari hasil T-test diperoleh hasil bahwa variasi jenis limbah yang memiliki beda signifikan. Apabila limbah yang sejenis diuji dengan variasi beda jenis tumbuhan, hasilnya tidak berbeda signifikan. Namun, apabila yang diuji adalah beda jenis limbah dan beda jenis tumbuhan, maka hasil ujinya adalah berbeda signifikan. Hasil uji ANOVA dan T-test dapat dilihat pada Lampiran 4.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah

1. Konsentrasi maksimum ammonium yang dapat diterima oleh tumbuhan pada limbah deterjen adalah sebesar 19,53 mg/L, sedangkan pada limbah pewangi adalah sebesar 20,51 mg/L.
2. Efisiensi removal ammonium pada limbah deterjen pada reaktor uji menggunakan tumbuhan Cattail adalah sebesar 97,50 % dan tumbuhan Kayu Apu adalah sebesar 97,68 %. Pada limbah pewangi pada reaktor uji menggunakan tumbuhan Cattail adalah sebesar 97,98 % dan tumbuhan Kayu Apu adalah sebesar 98,34 %.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari penelitian ini untuk penelitian selanjutnya adalah

1. Diperlukan adanya pengujian terhadap bakteri yang terdapat pada air limbah dan uji untuk mengetahui adanya alga.
2. Mekanisme fitoremediasi selama proses sebaiknya dilengkapi dengan pengujian terhadap bakteri maupun tumbuhan, disesuaikan dengan mekanisme yang mungkin terjadi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, J., dan EL-Dessouky, H. 2008. Design of a Modified Low Cost Treatment System For the Recycling and Reuse of Laundry Waste Water. **Resources, Conservation and Recycling**, 52, 973–978
- Anggraeni, F. 2007. **Tugas Akhir : Penerapan Metode Fitoremediasi dengan Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) pada Air yang Tercemar Minyak Pelumas Bekas Kendaraan**. Teknik Lingkungan FTSP-ITS
- APHA, AWWA, WPCF. 1999. **Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater**. Washington
- AQUAPLANT. 2014. **Cattail : *Typha spp.* Department of Wildlife & Fisheries Sciences Texas A&M Agrilife Extension Service**. Diakses pada Februari 2014
- Bappeda Kabupaten Kendal. 2011. **Sistem Informasi Status Hara Perkebunan**. bappeda.kendalkab.go.id. Diakses pada 16 September 2014
- Batty, L.C. 2003. Wetlands Plants – More Than Pretty Face? **Land Contam Reclam** 11 : 173 – 180
- Boyd, C. 1970. Chemical Analyses of Some Vascular Aquatic Plants. **Arch Hydrobiol** 67 : 78 – 85
- Brix, H. 1998. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe. **Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands pp.** 123-156
- Brix, H, Dyhr-jensen, K., Lorenzen, B. 2002. Root-Zone Acidity and Nitrogen Source Affect *Typha Latifolia* L. Growth and Uptake Kinetics of Ammonium and Nitrate. **Journal of Experimental Botany**, Vol. 53, No. 379, pp. 2441-2450
- Dyhr-jensen, K. and H. Brix. 1996. **Effect of pH on Ammonium Uptake by *Typha latifolia* L. Plant, Cell & Environment** Volume 19, Issue 12, pages 1431 – 1436, December 1996
- Enciclopedie de Acvariti. 2014. Aquapedia.ro/pistia-stratiotes. Diakses pada Februari 2014
- Environment Protection Agency (EPA) Report. 1995. **Biological Test Method: Test for Measuring the Inhibition of Growth Using the Freshwater Macrophyte**.

- Environment Protection Agency (EPA) Report. 1999. **Environmental Pollutants of Soil, Water and Air in West-Tabriz Industrial region**. Annual Report, EPA Publication, Tabriz, Iran.
- Foth, H.D. 1995. **Dasar-dasar Ilmu Tanah**. Edisi ke-7. Penerjemah: Purbayanti, E.D., D.R. Lukiwati, dan R. Trimulatsih. Yogyakarta: UGM Press.
- Gigon A, Rorison I.H. 1972. The Response of Some Ecologically Distinct Plant Species to Nitrate and Ammonium-nitrogen. **Journal of Ecology** 60, 93-102
- Greenberg A.E., Eaton A.D., Clesceri L.S., Rice E.W. 2005. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater: 21th Edition**. American Public Health Association Publisher: Washington DC
- Hardyanti, N dan Rahayu, S.S. 2007. Fitoremediasi Fosfat dengan Pemanfaatan (*Eichhornia crassipes*) (Studi Kasus pada Limbah Cair Industri Kecil Laundry). **Jurnal Presipitasi** 2, 1 : 28 – 32
- Hem L. J., Rusten B., Ødegaard H. 1993. Nitrification in A Moving Bed Biofilm Reactor. **Water Resource**. 28 (1993) 1425-1433
- Juswardi, Effendi P. Sagala dan A, Lilian Ferdini. 2010. Pertumbuhan *Neptunia Oleracea* Lour. Pada Limbah Cair Amoniak dari Industri Pupuk UREA sebagai Upaya Pengembangan Fitoremediasi. **Jurnal peleitian sains**, Vol. 13, 1:13105 17-20.
- Kleiner, D. 1981. The Transport of NH₃ and NH₄⁺ Across Biological Membranes. **Biochimica et Biophysica Acta** 639, 41-52
- Krikke, Rene. 2008. **pH and Nutrient Uptake**. Relab den Haan
- Kuehn, M.M., and White, B.N. 1999. Morphological Analysis of Generally Identified Cattails *Typha latifolia*, *Typha angustifolia*, And *Typha xglauca*. **Canadian Journal of Botany** ; Jun 1999 ; 77. 6 ; ProQuest Agriculture Journals pg. 906
- Kurniawati, E. 2009. **Penurunan konsentrasi detergen pada limbah industry laundry dengan menggunakan metode pengendapan menggunakan Ca(OH)₂**. Teknik Kimia, FTI UPN "Veteran" Jatim

- Lakitan, Benyamin. 2013. **Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan**. Jakarta : Rajawali Pers.
- Lestari, G.W., Solichatun, Sugiyarto. 2005. **Pertumbuhan, Kandungan Klorofil, dan Laju Respirasi Tanaman Garut (*Maranta arundinacea L.*) setelah Pemberian Asam Giberelat (GA₃)**. Jurusan Biologi FMIPA UNS
- Li, Y, Zhang, S, Jiang, W. 2012. Cadmium Accumulation, Activities of Antioxidant Enzymes, and Malondialdehyde (MDA) Content in *Pistia stratiotes*. **Environ Sci Pollut Res** (2013) 20 : 1117 – 1123
- Lu, Q, He Z.L, Gruetz, D.A, Stoffella, P.J, Yang X.E. 2010. Phytoremediation to Remove Nutrients and Improve Eutrophic Stormwaters Using Water Lettuce (*Pistia stratiotes L.*). **Environ Sci Pollut Res** 17 : 84 – 96
- Lu, Q, He Z.L, Gruetz, D.A. 2011. Uptake and Distribution of Metals by Water Lettuce (*Pistia stratiotes L.*). **Environ Sci Pollut Res** (2011) 18 : 978 – 986
- Mangkoedihardjo, S. dan G. Samudro. 2010. **Fitoteknologi Terapan**. Yogyakarta : Graha Ilmu
- Metcalf dan Eddy. 2003. **Wastewater Engineering Treatment and Reuse**. Fourth edition, McGraw-Hill, Inc. USA
- Mustafa, A and Scholz, M. 2010. Nutrient Accumulation in *Typha latifolia L.* and Sediment of a Representative Integrated Constructed Wetland. **Water Air Soil Pollut** (2011) 219 : 329 – 341
- Nasution, S.P.P. 2013. **Tugas Akhir : Pemulihan Kualitas Air Limbah Laundry dengan Menggunakan Reaktor Biofilter dan Slow Sand Filter**. Teknik Lingkungan FTSP – ITS
- Parwaningtyas, E. 2012. **Efisiensi Teknologi Fito-Biofilm dalam Penurunan Kadar Nitrogen dan Fosfat pada Limbah Domestik dengan Agen Fitotreatment Teratai (*Nymphaea, Sp*) dan Media Biofilter Bio-Ball (Studi Kasus Perumahan Graha Mukti, Tlogosari, Semarang)**. Undergraduate thesis, Universitas Diponegoro.
- Paul, E.A., dan Clark, F.E. 1996. **Soil Microbiology and Biochemistry, 2nd edition**. Academic Press, San Diego, California

- Paytan, A., dan McLaughlin K. 2007. Phosphorus in Our Waters. **Oceanography** (20) 2 : 200 – 208
- Reed, Sherwood C., Ronald W. Crites, and E. Joe Middlebrooks, 1995. **Natural Systems for Waste Management and Treatment, 2nd Edition**. McGraw—Hill, Inc, USA.
- Rosariawari, F. 2010. Efektivitas Multivalen Metal Ions dalam Penurunan Kadar Phosphat sebagai Bahan Pembentuk Deterjen. **Envirotek : Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan**, 2 (1). pp. 24-32.
- Shamir, E., Thompson, T.L., Karpiscak, M.M., Freitas, R.J., Zauderer, J., 2001. Nitrogen accumulation in a constructed wetland for dairy wastewater treatment. **Journal of the American Water Resources Association** 37 (2), 315e325.
- Silva, S.A.E, *et al.* 2013. Reproductive, Cellular, and Anatomical Alterations in *Pistia stratiotes L.* Plants Exposed to Cadmium. **Water Air Soil Pollut** (2013) 224 : 1454
- Sojda, R.S. and Ken L.S. 1993. **Waterfowl Management Handbook**. Fish and wildlife leaflet 13. United States Department of the interior fish and wildlife service. Washington DC.
- Sumariyanti, A. 2002. **Tugas Akhir : Studi Literatur Penurunan Kandungan Logam Berat (Cu dan Cd) dalam Limbah Cair dengan Memanfaatkan Tumbuhan Air**. Surabaya : Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS
- Susana, T., dan Suyarso.2008. **Penyebaran Fosfat dan Deterjen di Perairan Pesisir dan Laut di Cirebon Jawa Barat**. Pusat Penelitian Oseanografi – LIPI, Bandung
- Ulfin, I. Amirudin, P., Zainuddin, M. 2000. Pengaruh Logam Berat Pb pada Penyerapan Logam Berat Cd dalam Larutan oleh Kayu Apu (*Pistia stratiotes L.*). **Prosiding SENAKI II**, Kimia-FMIPA, ITS, Surabaya
- U.S. Environmental Protection Agency. 1994. **Standard Operation Procedure : Plant Biomass Determination**.
- Vicencio, A.L., A.J.A. Castro, C.C.A. Ivarez, R.L. Portales, M.C.A.D. Torre, dan F.G.D. Cruz. 2013. Removal and Accumulation of As, Cd, and Cr by *Typha latifolia*. **Bull Environment Contamination Toxicology** (2013): 650-653

- Vymazal, J., dan Lenka K. 2008. **Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow**. Springer
- Wissanti, FP. 2011. **Studi Analisis Fitoremediasi Efisiensi Penurunan Konsentrasi Nitrogen dengan Kiapu (*Pistia stratiotes*) dan Teratai (*Nymphaea spp.*)**. Semarang: Jurusan Teknik Lingkungan Undip
- Yahya, F. 2010. **Tugas Akhir : Jurnal Studi Pengolahan Air Limbah Domestik dengan Biofilter Aerasi Menggunakan Media Bioball dan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)**. Teknik Lingkungan FTSP-ITS

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 1
HASIL ANALISIS PARAMETER

Hasil Pengukuran Ammonium (mg/L)

Hari ke-	Kontrol Tumbuhan Cattail	Kontrol Tumbuhan Kayu Apu	Kontrol Limbah Deterjen	Kontrol Media Deterjen	Pengolahan Limbah Deterjen dengan Cattail	Pengolahan Limbah Deterjen dengan Kayu Apu	Kontrol Limbah Pewangi	Kontrol Media Limbah Pewangi	Pengolahan Limbah Pewangi dengan Cattail	Pengolahan Limbah Pewangi dengan Kayu Apu
0	0,33	1,43	19,56	19,45	19,18	19,23	20,82	20,55	20,52	20,54
1	3,85	-0,42	17,09	14,07	9,45	9,04	18,02	16,20	9,37	12,91
2	1,10	-115	14,73	13,57	6,73	7,77	11,76	10,44	7,86	7,88
3	2,47	3,35	10,11	9,51	2,69	6,37	9,51	9,67	7,64	8,35
4	2,53	4,18	4,14	3,56	0,73	0,95	5,89	7,14	0,77	5,58
5	0,86	-0,05	3,52	2,42	0,64	0,77	7,93	2,44	0,82	4,40
6	3,82	2,86	4,13	2,46	0,55	0,95	9,34	8,46	4,53	6,73
7	-0,99	0,29	2,24	1,71	0,62	0,82	8,41	1,76	2,31	5,05
9	1,25	0,27	1,33	0,77	0,27	0,38	4,46	3,41	2,02	2,53
12	4,34	1,58	1,83	1,10	0,66	0,55	5,82	4,10	4,03	3,46
15	0,23	-0,05	0,91	0,86	0,54	0,54	1,81	1,63	1,48	1,58
18	4,95	0,73	0,99	0,91	0,62	0,32	4,03	4,01	3,30	1,80
21	0,66	0,13	1,59	0,75	0,36	0,53	2,75	2,53	1,09	2,59
24	2,27	0,08	1,34	0,64	0,57	0,42	2,55	2,29	1,93	2,51
27	1,23	0,40	1,36	1,21	0,59	0,25	2,46	2,43	1,19	1,48
30	2,26	0,46	1,73	1,68	1,55	1,30	2,35	2,42	1,70	1,73
33	2,30	0,60	0,90	0,67	0,36	0,25	2,44	1,85	1,73	1,73
36	-0,10	1,27	2,62	1,34	0,94	0,66	1,64	1,58	1,44	1,23
39	2,05	0,81	2,00	1,85	0,60	0,54	2,18	1,53	1,50	1,69
42	0,08	0,40	2,20	2,07	0,39	0,32	3,04	1,84	0,49	0,46

Hasil Pengamatan pH

Hari ke-	Kontrol Tumbuhan Cattail	Kontrol Tumbuhan Kayu Apu	Kontrol Limbah Deterjen	Kontrol Media Deterjen	Pengolahan Limbah Deterjen dengan Cattail	Pengolahan Limbah Deterjen dengan Kayu Apu	Kontrol Limbah Pewangi	Kontrol Media Limbah Pewangi	Pengolahan Limbah Pewangi dengan Cattail	Pengolahan Limbah Pewangi dengan Kayu Apu
0	8,01	8,06	7,49	7,51	7,69	7,53	8,00	8,20	8,06	7,95
1	7,81	8,43	8,27	8,57	8,26	8,35	7,83	7,88	7,79	7,89
2	8,27	8,05	8,27	8,57	8,26	8,35	8,05	8,35	8,08	8,05
3	8,25	8,50	8,40	8,83	9,15	8,46	7,93	7,99	8,13	8,07
4	8,27	8,37	9,16	8,97	9,57	9,14	7,85	8,13	7,87	7,87
5	8,64	8,64	9,02	9,02	9,07	9,12	7,92	8,17	7,92	7,81
6	8,31	8,94	8,87	8,71	8,63	8,99	8,26	8,05	8,11	7,93
7	7,74	8,63	8,97	8,66	8,82	8,90	7,88	8,13	7,84	7,84
9	8,43	8,93	9,51	9,17	8,91	9,00	8,35	8,14	8,05	8,03
12	7,84	7,55	9,52	8,75	8,36	8,81	8,20	7,58	7,83	7,96
15	8,08	8,63	9,62	9,51	9,32	9,30	8,14	8,25	8,12	8,12
18	7,92	8,41	9,14	9,38	9,03	9,34	8,19	8,03	7,90	8,23
21	7,70	7,82	8,88	8,96	9,02	8,61	7,87	8,08	7,82	7,93
24	8,31	7,94	8,94	8,97	8,80	8,68	8,23	8,45	8,25	8,34
27	8,47	8,76	8,65	8,43	8,61	8,68	8,37	9,05	8,81	8,63
30	8,25	8,74	8,71	8,54	8,50	8,67	8,11	8,48	8,54	8,35
33	8,19	9,42	8,79	8,67	8,53	8,59	8,64	9,14	8,24	8,47
36	8,92	8,64	8,88	8,96	9,02	8,61	9,11	8,69	9,21	9,09
39	9,05	8,65	8,19	8,64	8,24	8,47	9,23	8,55	9,36	9,33
42	9,03	8,71	8,47	8,37	8,81	8,63	9,15	8,65	9,19	9,28

Hasil Pengukuran Suhu (°C)

Hari ke-	Kontrol Tumbuhan Cattail	Kontrol Tumbuhan Kayu Apu	Kontrol Limbah Deterjen	Kontrol Media Deterjen	Pengolahan Limbah Deterjen dengan Cattail	Pengolahan Limbah Deterjen dengan Kayu Apu	Kontrol Limbah Pewangi	Kontrol Media Limbah Pewangi	Pengolahan Limbah Pewangi dengan Cattail	Pengolahan Limbah Pewangi dengan Kayu Apu
1	26	25	25	26	26	26	25	26	26	26
2	25	25	27	25	26	25	25	27	26	25
3	26	25	26	25	26	26	26	26	26	25
4	26	25	27	26	25	26	26	27	25	25
5	25	26	31	31	31	31	27	27	26	25
6	27	28	31	32	31	31	28	25	27	27
7	25	26	34	33	33	32	26	27	26	26
9	26	27	32	32	32	32	27	26	28	26
12	28	27	34	33	32	32	27	26	27	27
15	25	27	29	29	28	28	26	27	27	26
18	27	28	33	34	34	33	28	27	26	27
21	27	28	29	28	29	29	28	26	27	27
24	29	31	29	29	29	28	27	30	27	28
27	29	32	29	29	29	29	29	31	28	27
30	33	33	30	30	29	29	34	34	34	34
33	28	28	30	30	30	29	28	28	28	27
36	34	34	29	28	29	29	33	33	33	34
39	29	29	30	31	30	30	29	30	28	29
42	33	29	31	32	31	31	33	29	33	33

Hasil Perhitungan Rasio BOD/COD

Hari ke-	Kontrol Limbah Deterjen	Kontrol Media Deterjen	Pengolahan Limbah Deterjen dengan Cattail	Pengolahan Limbah Deterjen dengan Kayu Apu	Kontrol Limbah Pewangi	Kontrol Media Limbah Pewangi	Pengolahan Limbah Pewangi dengan Cattail	Pengolahan Limbah Pewangi dengan Kayu Apu
0	0,33	0,29	0,26	0,27	0,50	0,48	0,51	0,50
3	0,14	0,09	0,02	0,08	0,28	0,28	0,25	0,25
6	0,40	0,06	0,09	0,39	0,16	0,13	0,20	0,18
9	0,26	0,24	0,37	0,31	0,27	0,30	0,13	0,28
12	0,08	0,05	0,60	0,04	0,69	0,81	0,72	0,54
15	0,05	0,02	0,04	0,13	0,21	0,49	0,11	0,30
18	0,11	0,10	0,16	0,80	0,79	0,56	0,22	0,21
21	0,04	0,03	0,02	0,04	0,24	0,61	0,50	0,69
24	0,27	0,08	0,17	0,36	0,17	0,26	0,17	0,12
27	0,14	0,05	0,11	0,73	0,05	0,29	0,10	0,08
30	0,21	0,10	0,04	0,13	0,15	0,12	0,11	0,29
33	0,16	0,13	0,27	0,12	0,26	0,01	0,15	0,23
36	0,06	0,03	0,13	0,04	0,13	0,31	0,14	0,10
39	0,02	0,06	0,18	0,16	0,34	0,10	0,08	0,52
42	0,17	0,07	0,14	0,26	0,29	0,22	0,39	0,55

Pertumbuhan Tumbuhan Cattail dan Kayu Apu

- Cattail

Hari Ke-	Kontrol			Limbah Deterjen			Limbah Pewangi		
	Tinggi (cm)	Jumlah Daun (lembar)	Lingkar Batang (cm)	Tinggi (cm)	Jumlah Daun (lembar)	Lingkar Batang (cm)	Tinggi (cm)	Jumlah Daun (lembar)	Lingkar Batang (cm)
0	36,2	3	3,2	38	5	3	38,4	4	3,4
7	70	5	4,3	69,6	5	3,2	70	5	3,5
14	72,8	7	5,4	76	6	3,6	74,4	5	3,6
21	75	7	5,5	78,3	6	3,6	78,7	6	3,7
28	77,2	7	5,5	90	6	4	80,9	7	5
35	79,8	9	6,7	99,1	7	4,2	84	9	5,4
42	99,6	10	9,7	103,5	7	5,8	100,3	9	5,7

- Kayu Apu

Hari Ke-	Kontrol			Limbah Deterjen			Limbah Pewangi		
	Diameter (cm)	Jumlah Daun (lembar)	Panjang Akar (cm)	Diameter (cm)	Jumlah Daun (lembar)	Panjang Akar (cm)	Diameter (cm)	Jumlah Daun (lembar)	Panjang Akar (cm)
0	4,8	5	3,9	5,1	5	4,8	4,9	6	4,3
7	5,5	6	6,5	5,3	8	5	4,5	7	4,4
14	6	7	7,5	5,6	11	5,6	5	7	4,8
21	7	8	7,7	4	8	5,3	5	8	7
28	6	8	7,6	4,5	8	6,5	5	8	9
35	7	10	9	5	8	6,8	5,1	10	9,1
42	7	11	10,3	5	8	8,7	5	10	9,5

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Berat Basah Tumbuhan Cattail

Hari Ke-	Berat Basah Tumbuhan (gram)		
	Cattail		
	Kontrol	Limbah Deterjen	Limbah Pewangi
0	23,982	22,110	21,854
7	32,171	23,088	28,005
14	44,443	29,586	31,581
21	59,000	31,108	38,011
28	80,655	35,160	39,844
35	91,949	38,637	42,801
42	92,888	50,801	64,200

Berat Kering Tumbuhan Cattail

Hari Ke-	Berat Kering Tumbuhan (gram)		
	Cattail		
	Kontrol	Limbah Deterjen	Limbah Pewangi
0	1,412	1,474	1,459
7	2,217	1,632	1,539
14	2,462	1,894	1,781
21	2,938	1,976	2,019
28	8,641	2,037	2,379
35	8,711	2,158	2,641
42	8,852	2,379	3,680

Berat Basah Tumbuhan Kayu Apu

Hari Ke-	Berat Basah Tumbuhan (gram)		
	Kayu Apu		
	Kontrol	Limbah Deterjen	Limbah Pewangi
0	1,638	1,571	1,688
7	2,698	1,632	1,622

Hari Ke-	Berat Basah Tumbuhan (gram)		
	Kayu Apu		
	Kontrol	Limbah Deterjen	Limbah Pewangi
14	3,209	2,394	2,248
21	2,858	3,576	3,394
28	3,081	3,737	2,389
35	3,142	2,158	2,564
42	4,081	2,995	3,595

Berat Kering Tumbuhan Kayu Apu

Hari Ke-	Berat Kering Tumbuhan (gram)		
	Kayu Apu		
	Kontrol	Limbah Deterjen	Limbah Pewangi
0	0,182	0,115	0,127
7	0,209	0,159	0,061
14	0,291	0,173	0,123
21	0,151	0,193	0,271
28	0,166	0,274	0,240
35	0,292	0,192	0,260
42	0,266	0,227	0,277

LAMPIRAN 2 PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM

1. Analisis Ammonium

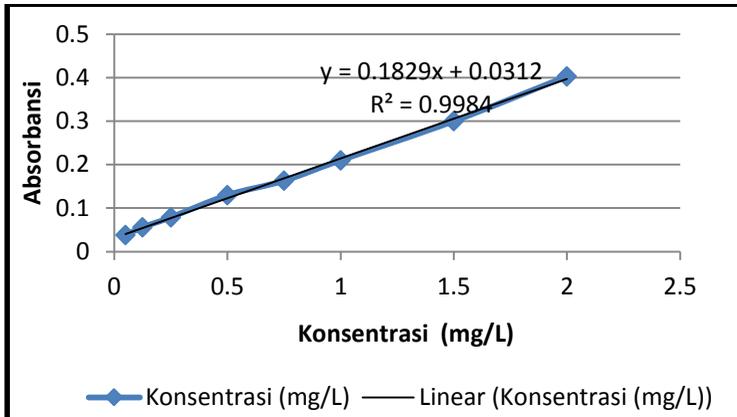
Analisis ammonium menggunakan metode nessler yang mengacu pada Greenberg et al. (2005) dalam Standard Methods

Prosedur :

- a. Disiapkan erlenmeyer 100 ml, lalu diisi dengan sampel air limbah dan air aquadest sebanyak 25 ml
- b. Ditambahkan 1 ml larutan nessler
- c. Ditambahkan 1,25 ml larutan garam signett
- d. Dikocok pelan dan dibiarkan selama 10 menit
- e. Dibaca spektrofotometer dengan panjang gelombang 390 μm .
- f. Dihitung dengan rumus kalibrasi atau dibaca dengan kurva kalibrasi

Berikut adalah kurva kalibrasi ammonium yang digunakan,

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi (A)
0,05	0,038
0,125	0,056
0,25	0,079
0,5	0,130
0,75	0,163
1	0,210
1,5	0,300
2	0,403



2. Analisis Nitrat

Metode analisis Nitrat dilakukan dengan menggunakan metode brucin asetat berdasarkan Greenberg *et al.* (2005).

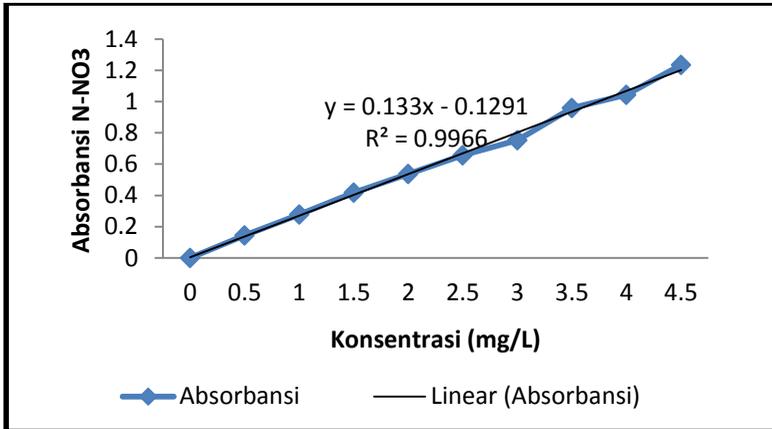
Prosedur :

1. Diambil sampel sebanyak 2 ml dan dimasukkan dalam erlenmeyer
2. Ditambahkan brucin asetat sebanyak 2,5 ml
3. Ditambahkan H₂SO₄ pekat sebanyak 4 ml
4. Didiamkan selama 10 menit, kemudian dibaca absorbansinya pada spektrofotometer

Berikut adalah kurva kalibrasi ammonium yang digunakan,

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi (A)
0	0
0,5	0,144
1	0,277
1,5	0,418
2	0,537
2,5	0,657
3	0,754
3,5	0,959

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi (A)
4	1,044
4.5	1,234



3. Analisis pH

Analisis pH menggunakan pH meter dengan bacaan digital. Prosedur analisis menggunakan modifikasi dari Greenberg *et al.* (2005).

Prosedur :

1. pH meter distandardisasi menggunakan larutan buffer pH pada pH 4, 7 dan 10. Standardisasi dilakukan dengan mencelupkan probe pH meter bergantian ke dalam larutan buffer dengan urutan : buffer pH 4 □ buffer pH 7 □ buffer pH 10 □ buffer pH 7
2. Diambil sejumlah sampel dan diletakkan dalam beaker glass
3. Dichelupkan probe pH meter ke dalam sampel yang akan diukur nilai pH nya
4. Dibaca nilai pH sampel pada monitor pembaca

4. Analisis Suhu

Analisis suhu dilakukan langsung dengan cara mencelupkan thermometer kedalam reaktor uji. Thermometer dicelupkan selama kurang lebih 5 menit agar suhu stabil.

5. Analisis BOD

Analisis BOD menggunakan metode 5-Day BOD Test yang mengacu pada Greenberg et al. (2005).

Prosedur :

- a. Ditentukan pengenceran. Untuk menganalisis BOD harus diketahui besarnya pengenceran melalui angka PV sebagai berikut.

$$P = \frac{\text{Angka PV}}{3 \text{ atau } 5}$$

- b. Disiapkan 1 buah labu takar 500 ml dan menuangkan sampel sesuai perhitungan pengenceran, lalu menambahkan air pengencer sampai batas labu
- c. Disiapkan 2 buah botol winkler 300 ml dan 2 buah botol winkler 150 ml
- d. Dituangkan air dalam labu takar tadi ke dalam botol winkler 300 ml dan 100 ml sampai tumpah
- e. Dituangkan air pengencer ke botol winkler 300 ml dan 119 ml sebagai blanko sampai tumpah
- f. Dimasukkan kedua botol winkler 300 ml ke dalam inkubator 20°C selama 5 hari.
- g. Kedua botol winkler 119 ml yang berisi air dianalisis oksigen terlarutnya dengan prosedur sebagai berikut.
 - Ditambahkan 1 ml larutan mangan sulfat
 - Ditambahkan 1 ml larutan pereaksi oksigen
 - Botol ditutup dengan hati-hati lalu dibolak-balikkan beberapa kali
 - Gumpalan dibiarkan mengendap selama 5-10 menit
 - Ditambahkan 1 ml asam sulfat pekat, lalu ditutup dan dibolak-balikkan
 - Dituangkan 100 ml larutan ke dalam erlenmeyer 250 ml
 - Ditambahkan 3-4 tetes indikator amilum dan titrasi dengan natrium thiosulfat hingga warna biru hilang
 - Dititrasi dengan Natrium thiosulfat 0,0125 N sampai menjadi warna coklat muda

- h. Setelah 5 hari, dilakukan analisis kedua larutan dalam botol winkler 300 ml dengan analisis oksigen terlarut
- i. Dihitung oksigen terlarut dan BOD dengan rumus berikut.

$$OT \text{ (mg O}_2\text{/l)} = \frac{a \times N \times 8000}{100 \text{ ml}}$$

Keterangan :

a = volume titran (ml)

N = Normalitas larutan Na-thiosulfat = 0,0125 N

100 ml = volume sampel yang digunakan dalam titrasi

$$BOD_{5^{20}} \text{ (mg/l)} = \frac{[(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)] \times (1 - P)}{P}$$

$$P = \frac{\text{ml sampel}}{\text{volume hasil pengenceran (500 ml)}}$$

Keterangan :

X₀ = DO sampel pada t = 0 hari

X₅ = DO sampel pada t = 5 hari

B₀ = DO blanko pada t = 0 hari

B₅ = DO blanko pada t = 5 hari

P = derajat pengenceran

6. Analisis COD

Metode analisis COD dilakukan dengan menggunakan prinsip *closed reflux* metode titrimetri berdasarkan Greenberg *et al.* (2005).

Prosedur :

- a. Sampel dan blanko masing-masing dimasukkan ke dalam tabung COD sebanyak 1 ml
- b. Ditambahkan 1,5 ml K₂Cr₂O₇
- c. Ditambahkan 3,5 ml larutan Ag₂(SO)₄
- d. Dikocok, lalu dipanaskan di atas kompor pemanas selama 2 jam
- e. Setelah 2 jam, tabung dibilas dengan akuades, kemudian dituang ke dalam erlenmeyer 100 ml
- f. Ditambahkan 1-2 tetes indikator ferroin
- g. Dititrasi dengan larutan FAS 0,025N hingga berwarna merah kecokelatan
- h. Hasil titrasi blanko dan sampel dihitung menggunakan rumus

$$\text{COD (mg/L)} = \frac{(a-b) \times 0.025 \times 8000}{v}$$

dimana a = ml titran blanko

b = ml titran sampel

v = volume sampel

7. Analisis Biomassa

Analisis Biomassa mengacu pada USEPA *Plant Biomass Determination*.

Prosedur :

1. Tumbuhan diambil dari media tanam, kemudian dibersihkan dengan menggunakan lap kain atau tissue
2. Masing-masing bagian tumbuhan dicacah dengan menggunakan pisau
3. Sampel tumbuhan yang telah dicacah diletakkan pada cawan petri, ditimbang dengan menggunakan neraca analitik
4. Sampel yang telah ditimbang kemudian dioven selama 24-48 jam dengan suhu 80°C
5. Sampel dimasukkan ke dalam desikator agar suhu sama dengan suhu ruang
6. Sampel ditimbang dengan neraca analitik

LAMPIRAN 3 DOKUMENTASI PENELITIAN



Kondisi Usaha Laundry



Pengambilan Sampel Limbah



Aklmatisasi Tumbuhan Cattail dan Kayu Apu



Reaktor Uji Pengolahan Limbah



Analisis Ammonium



Analisis BOD



Analisis COD



Analisis Berat Basah dan Berat Kering Tumbuhan

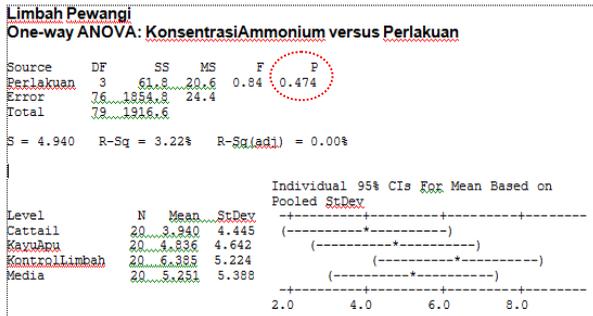
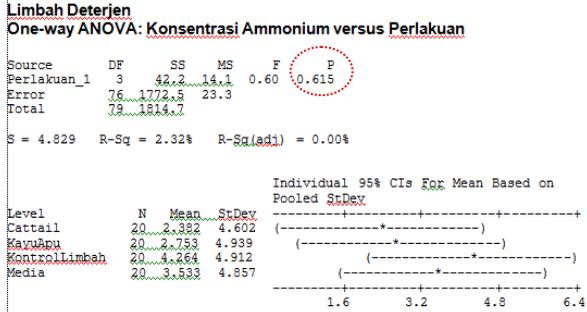


Analisis Suhu dan pH

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 4 HASIL UJI ANOVA

Hasil Uji Dibandingkan dengan Kontrol



Hasil Uji Antar Variasi

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0.222555	3	0.074185	3.844034	0.011506	2.682809
Within Groups	2.238652	116	0.019299			
Total	2.461206	119				

Hasil Uji T-test

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances			t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances		
	L1T1	L2T2		L1T1	L2T1
Mean	0.929992	0.829525	Mean	0.929992	0.853654
Variance	0.01425	0.028067	Variance	0.01425	0.017441
Observations	30	30	Observations	30	30
Hypothesized Mean Difference	0		Hypothesized Mean Difference	0	
df	52		df	57	
t Stat	2.675003		t Stat	2.348699	
P(T<=t) one-tail	0.004983		P(T<=t) one-tail	0.011165	
t Critical one-tail	1.674689		t Critical one-tail	1.672029	
P(T<=t) two-tail	0.009967		P(T<=t) two-tail	0.02233	
t Critical two-tail	2.006647		t Critical two-tail	2.002465	

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances			t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances		
	L1T2	L2T1		L1T2	L2T2
Mean	0.92162	0.853654	Mean	0.92162	0.829525
Variance	0.017437	0.017441	Variance	0.017437	0.028067
Observations	30	30	Observations	30	30
Hypothesized Mean Difference	0		Hypothesized Mean Difference	0	
df	58		df	55	
t Stat	1.993305		t Stat	2.36468	
P(T<=t) one-tail	0.025469		P(T<=t) one-tail	0.010801	
t Critical one-tail	1.671553		t Critical one-tail	1.673034	
P(T<=t) two-tail	0.050939		P(T<=t) two-tail	0.021602	
t Critical two-tail	2.001717		t Critical two-tail	2.004045	

Keterangan :

L1 : Limbah Deterjen

L2 : Limbah Pewangi

T1 : Tumbuhan Cattail

T2 : Tumbuhan Kayu Apu

BIOGRAFI PENULIS



Dilahirkan di Tulungagung pada tanggal 25 Oktober 1992, penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis berkesempatan untuk menempuh pendidikan formal di TK Dharma Wanita, SDN Bangoan 2, MTsN Tulungagung dan MAN Insan Cendekia Gorontalo. Setelah lulus dari MAN, penulis mendaftar SNMPTN undangan dan diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS pada tahun 2011 dengan NRP 3311100001.

Semasa kuliah, penulis aktif sebagai panitia di berbagai kegiatan HMTL, penulis sempat menjabat sebagai bendahara 2 KPPL pada periode 2012-2013 dan sebagai sekretaris KPPL pada periode 2013-2014. Penulis juga sempat menjadi asisten praktikum pada tahun 2013. Prestasi yang pernah diraih penulis adalah menjadi salah satu perwakilan ITS untuk mengikuti MTQ Mahasiswa Nasional yang digelar di Padang pada tahun 2012. Selain itu penulis juga aktif mengikuti lomba karya tulis ilmiah bersama 'The A Team' yang salah satunya meraih peringkat pertama pada acara Civil Week UNS 2013. Pada tahun 2014 penulis diterima untuk kerja praktek di PT. Badak LNG selama satu setengah bulan, dengan topik upaya untuk menurunkan emisi CO pada insinerator limbah medik. Penulis dapat dihubungi via email dewyqurrotu@gmail.com.