

TUGAS AKHIR - RE184804

FITOREMEDIASI OLEH TANAMAN KAYU APU (*Pistia stratiotes*) DAN ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) PADA AIR SUNGAI TERCEMAR LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU

AIDA FAIQOTUN NAJAH
0321184000046

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Sarwoko Magkoedihardjo. M.Sc.Es.
NIP. 19540824 198403 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2022



TUGAS AKHIR - RE184804

FITOREMEDIASI OLEH TANAMAN KAYU APU (*Pistia stratiotes*) DAN ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) PADA AIR SUNGAI TERCEMAR LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU

AIDA FAIQOTUN NAJAH
0321184000046

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Sarwoko Magkoedihardjo. M.Sc.Es.
NIP. 19540824 198403 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPI, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2022

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT - RE184804

**PHYTOREMEDIATION BY KAYU APU (*Pistia stratiotes*)
AND WATER HYACINTH (*Eichhornia crassipes*) IN
RIVERS POLLUTED BY WASTEWATER FROM TOFU
INDUSTRY**

AIDA FAIQOTUN NAJAH
03211840000046

Advisor
Prof. Dr. Ir. Sarwoko Magkoedihardjo. M.Sc.Es.
NIP. 19540824 198403 1 001

**DEPARTEMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
FACULTY OF SIPIL, PLANNING, AND GEO ENGINEERING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2022**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



HALAMAN PENGESAHAN



LEMBAR PENGESAHAN

FITOREMEDIASI OLEH TANAMAN KAYU APU (*Pistia stratiotes*) DAN ECENG GONDOK (*Eichornia crassipes*) PADA AIR SUNGAI TERCEMAR LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: **AIDA FAIQOTUN NAJAH**

NRP 0321184000046

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M.Sc.Es. Pembimbing
2. Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D. Penguji
3. Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D. Penguji
4. Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, M.T. Penguji



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



PERNYATAAN ORISINALITAS



PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Aida Faiqotun Najah / 0321184000046

Departemen : Teknik Lingkungan

Dosen Pembimbing/ NIP : Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M.Sc.Es. /
195408241984031001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul **“FITOREMEDIASI OLEH TANAMAN KAYU APU (*Pistia stratiotes*) DAN ECENG GONDOK (*Eichornia crassipes*) PADA AIR SUNGAI TERCEMAR LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU”** adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 21 Juli 2022

Mengetahui,

Mahasiswa,

Dosen Pembimbing



Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M.Sc.Es. Aida Faiqotun Najah

NIP. 195408241984031001

NRP. 0321184000046

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

FITOREMEDIASI OLEH TANAMAN KAYU APU (*Pistia stratiotes*) DAN ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) PADA AIR SUNGAI TERCEMAR LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU

Nama Mahasiswa : Aida Faiqotun Najah
NRP : 03211840000046
Departemen : Teknik Lingkungan, FTSPK-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M.ScEs.

ABSTRAK

Banyak terdapat pabrik tahu di sekitar pemukiman warga di Indonesia yang menghasilkan limbah padat maupun limbah cair. Kebanyakan dari pabrik tahu yang ada di Indonesia merupakan industri skala kecil dan tidak memiliki unit pengolahan limbah yang memadai. Limbah cair tahu biasanya akan langsung dibuang ke badan air oleh industri yang tidak memiliki unit pengolahan limbah. Limbah cair yang dihasilkan dari proses produksi tahu mengandung bahan pencemar organik yang sangat tinggi dan apabila limbah ini langsung dibuang ke badan air akan berbahaya bagi lingkungan bahkan merusak ekosistem. Untuk mengatasi hal tersebut dapat dilakukan fitoremediasi menggunakan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) dan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) karena tanaman tersebut termasuk salah satu tanaman yang mudah menyerap bahan pencemar dari media tumbuhnya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) dan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dalam melakukan penyisihan pada BOD, COD, dan TSS yang terkandung dalam air sungai tercemar limbah cair industri tahu melalui proses fitoremediasi, serta menganalisis pengaruh berat basah tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) dan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) yang digunakan dalam melakukan proses fitoremediasi air sungai yang tercemar limbah industri tahu.

Tahapan penelitian ini meliputi: pengambilan sampel, uji awal sampel, propagasi, dan aklimatisasi tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) dan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) selama 7 hari, *range finding test* untuk menentukan kadar pencemar yang akan digunakan dalam penelitian, pemaparan kayu apu (*Pistia stratiotes*) dan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dengan sampel air sungai selama 4 minggu, dan analisis BOD, COD, dan TSS dalam sampel yang dilakukan pada hari ke-7, hari ke-14, hari ke-21, dan hari ke-28.

Hasil analisis menunjukkan bahwa tanaman kayu apu dan eceng gondok mampu melakukan proses fitoremediasi pada air sungai yang tercemar limbah cair industri tahu. Hal ini dapat dibuktikan bahwa tanaman kayu apu dengan berat basah 150 gram mampu melakukan penyisihan pada COD hingga 62%, BOD hingga 72%, dan TSS hingga 66%. Sementara tanaman kayu apu dengan berat basah 100 gram mampu melakukan penyisihan COD sebesar 56%, BOD sebesar 69%, dan TSS sebesar 63%. Begitu pula pada tanaman eceng gondok, pada berat basah 150 gram tanaman eceng gondok mampu melakukan penyisihan pada COD yaitu hingga 56%, BOD hingga 58%, dan TSS hingga 46%. Sementara tanaman eceng gondok dengan berat basah 100 gram mampu melakukan penyisihan COD sebesar 50%, BOD sebesar 53%, dan TSS sebesar 40%.

Kata Kunci: Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), Fitoremediasi, Kayu apu (*Pistia stratiotes*), Limbah industri tahu, Sungai

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PHYTOREMEDIATION BY KAYU APU (*Pistia stratiotes*) AND WATER HYACINTH (*Eichhornia crassipes*) IN RIVERS POLLUTED BY WASTEWATER FROM TOFU INDUSTRY

Name : Aida Faiqotun Najah
NRP : 03211840000046
Departement : Teknik Lingkungan, FTSPK-ITS
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M.ScEs.

ABSTRACT

There are many tofu factories around residential areas in Indonesia that produce both solid and liquid waste. Most of the tofu factories in Indonesia are small-scale industries and do not have adequate waste treatment units. Tofu liquid waste will usually be directly discharged into water bodies by industries that do not have a sewage treatment unit. Liquid waste generated from the tofu production process contains very high organic pollutants and if this waste is directly discharged into water bodies it will be harmful to the environment and even damage the ecosystem. To overcome this, phytoremediation can be carried out using kayu apu (*Pistia stratiotes*) and water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) plants because these plants are one of the plants that easily absorb pollutants from the growth media. This study aimed to analyze the effectiveness of kayu apu (*Pistia stratiotes*) and water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in removing BOD, COD, and TSS contained in river water contaminated with tofu industrial wastewater through the phytoremediation process, as well as to analyze the effect of plant wet weight. kayu apu (*Pistia stratiotes*) and water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) used in the phytoremediation process of river water contaminated with tofu industrial waste.

The stages of this research include: sampling, initial sample testing, propagation, and acclimatization of kayu apu (*Pistia stratiotes*) and water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) for 7 days, range finding test to determine the level of pollutants to be used in research, exposure to kayu apu (*Pistia stratiotes*) and water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) with river water samples for 4 weeks, and BOD, COD, and TSS analyzes in samples were carried out on the 7th, 14th, 21st, and 28th days.

The results of the analysis showed that the kayu apu and water hyacinth plants were able to carry out the phytoremediation process in river water contaminated with liquid waste from the tofu industry. It can be proven that kayu apu with a wet weight of 150 grams is able to remove COD up to 62%, BOD up to 72%, and TSS up to 66%. Meanwhile, kayu apu with a wet weight of 100 grams was able to remove 56% of COD, 69% of BOD, and 63% of TSS. Likewise for water hyacinth plants, at a wet weight of 150 grams, water hyacinth plants were able to remove COD up to 56%, BOD up to 58%, and TSS up to 46%. Meanwhile, water hyacinth plants with a wet weight of 100 grams were able to remove 50% COD, 53% BOD, and 40% TSS.

Keywords: Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), Phytoremediation, Kayu apu (*Pistia stratiotes*), Tofu industrial waste, River

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



KATA PENGANTAR



KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Segala puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga laporan Tugas Akhir yang berjudul “Fitoremediasi oleh Tanaman Kayu Apu (*Pistia Stratiotes*) dan Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) pada Air Sungai Tercemar Limbah Cair Industri Tahu” dapat diselesaikan. Sholawat serta salam selalu turunkan kepada Rasulullah, Nabi besar Muhammad SAW yang menjadi panutan bagi umat islam termasuk penulis.

Tujuan dari pelaksanaan dan penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk melengkapi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana S1-Teknik Lingkungan di Departemen Teknik Lingkungan, FTSPK ITS. Selain itu juga untuk mendalami dan menerapkan keilmuan Teknik Lingkungan di bidang Remediasi. Dengan demikian, diharapkan penulis dapat menjadi pribadi yang bermanfaat. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan dan nasihat dalam penyusunan dan penulisan Laporan Tugas Akhir, terutama kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M. Sc.Es., selaku dosen pembimbing atas segala bimbingannya, ketersediaan waktunya, pengertiannya kepada penulis dan semua saran bermanfaat yang telah diberikan.
2. Ibu Bieby Vojant Tangahu, ST., MT., Ph.D., Ibu Harmin Sulistiyaning Titah, ST., MT., Ph.D., dan Bapak Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT. selaku dosen pengarah yang telah memberikan saran dan masukan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. Bowo Djoko Marsono, M. Eng., selaku dosen wali yang selalu memberikan semangat untuk terus belajar.
4. Ayah dan Ibu selaku orang tua serta keluarga besar atas segala doa, kepercayaan, dukungan, pengertian dan bantuannya baik dari segi material maupun spiritual.
5. Teman-teman angkatan 2018 yang selalu memberi dukungan, doa dan saling mengingatkan satu sama lain.
6. Seluruh pihak lain yang telah ikut mendukung dan membantu penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Penulis sendiri yang telah berjuang dan tidak putus asa dalam menyelesaikan perkuliahan dan bertahan sampai pada titik ini.

Penulis sadar bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini, baik dari segi teknis maupun isi dari penulisan. Penulis berharap adanya saran dan kritik yang bersifat membangun, agar tercipta penulisan yang dapat bermanfaat baik semua pihak.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Surabaya, 21 Juli 2022
Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



DAFTAR ISI



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	v
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Ruang Lingkup	2
1.5 Manfaat	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Pencemaran Air Sungai	3
2.2 Limbah Industri Tahu	4
2.3 Fitoremediasi	5
2.4 Tanaman Kayu Apu (<i>Pistia stratiotes</i>).....	5
2.5 Tanaman Eceng Gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>).....	7
2.6 Kurva Konsentrasi Respon	8
BAB III METODE PENULISAN	9
3.1 Umum	9
3.2 Kerangka Penelitian	9
3.3 Tahap Penelitian	9
3.3.1 Ide Tugas Akhir	10
3.3.2 Studi Literatur.....	10
3.3.3 Penelitian Pendahuluan	11
3.3.4 Pelaksanaan Penelitian	11
3.3.5 Variabel dan Parameter Penelitian	11

3.3.6	Persiapan Alat dan Baha.....	12
3.3.7	Pengumpulan Data.....	13
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		15
4.1	Uji Karakteristik Air Sungai	15
4.2	Tahap Propagasi Tumbuhan	15
4.3	Tahap Aklimatisasi	19
4.4	<i>Range Finding Test</i> (RFT).....	19
4.5	Uji Fitoremediasi Air Sungai	23
4.5.1	Analisis Parameter COD	24
4.5.2	Analisis Parameter BOD	26
4.5.3	Analisis Parameter TSS	27
4.5.4	Analisis pH	28
4.5.5	Analisis Morfologi Tumbuhan	29
4.5.6	Uji Statistik.....	32
BAB V		33
KESIMPULAN DAN SARAN		33
5.1	Kesimpulan	33
5.2	Saran	33
DAFTAR PUSTAKA.....		35
LAMPIRAN		37
BIODATA PENULIS.....		53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tanaman Kayu Apu	6
Gambar 2.2 Tanaman Eceng Gondok	7
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	10
Gambar 3.2 Reaktor RFT	13
Gambar 3.3 Reaktor Uji Fitoremediasi.....	13
Gambar 4.1 Pengamatan Fisik Tumbuhan Kayu Apu.....	16
Gambar 4.2 Perkembangan Jumlah Daun Tanaman Kayu Apu	16
Gambar 4.3 Perkembangan Lebar Daun Tanaman Kayu Apu	16
Gambar 4.4 Laju Pertumbuhan Tanaman Kayu Apu	17
Gambar 4.5 Pengamatan Fisik Tumbuhan Eceng Gondok.....	18
Gambar 4.6 Perkembangan Panjang Tanaman Eceng Gondok.....	18
Gambar 4.7 Perkembangan Lebar Daun Tanaman Eceng Gondok.....	18
Gambar 4.8 Laju Pertumbuhan Tanaman Eceng Gondok.....	19
Gambar 4.9 Efek Kematian Tanaman Kayu Apu.....	22
Gambar 4.10 Efek Kematian Tanaman Eceng Gondok	22
Gambar 4.11 Hasil Penyisihan COD	25
Gambar 4.12 Hasil Penyisihan BOD	26
Gambar 4.13 Hasil Penyisihan TSS	27
Gambar 4.14 Pembusukan Tanaman Eceng Gondok	28
Gambar 4.15 Analisis pH	28
Gambar 4.16 Hasil Pengamatan Lebar Daun Tanaman Kayu Apu	29
Gambar 4.17 Hasil Pengamatan Jumlah Daun Tanaman Kayu Apu.....	30
Gambar 4.18 Hasil Pengamatan Lebar Daun Tanaman Eceng Gondok.....	30
Gambar 4.19 Hasil Pengamatan Panjang Tanaman Eceng Gondok.....	31

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



DAFTAR TABEL



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kriteria Mutu Air Berdasarkan Kelas.....	3
Tabel 3.1 Rincian Reaktor Uji RFT Tumbuhan Kayu Apu (<i>Pistia stratiotes</i>).....	12
Tabel 3.2 Rincian Reaktor Uji RFT Tanaman Eceng Gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>)	12
Tabel 3.3 Rincian Reaktor Uji Fitoremediasi Tanaman Kayu Apu dan Eceng Gondok.....	12
Tabel 3.4 Parameter Penelitian dan Metode Uji.....	13
Tabel 4.1 Hasil Uji Karakteristik Air Sungai	15
Tabel 4.2 Pengamatan Fisik Kayu Apu	20
Tabel 4.3 Pengamatan Eceng Gondok.....	21
Tabel 4.4 Hasil <i>Range Finding Test</i> Tanaman Kayu Apu.....	21
Tabel 4.5 Hasil <i>Range Finding Test</i> Tanaman Eceng Gondok	22
Tabel 4.6 Hasil Uji Anova Terhadap Efisiensi Penyisihan COD, BOD, TSS	32

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BAB I
PENDAHULUAN



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tahu merupakan salah satu makanan tradisional berbahan dasar kedelai yang banyak digemari oleh masyarakat Indonesia. Hal ini menyebabkan banyak terdapat pabrik tahu di sekitar pemukiman warga di Indonesia. Suatu industri yang beroperasi tentu menghasilkan limbah, begitu pula pabrik tahu yang menghasilkan limbah padat maupun limbah cair. Limbah padat dihasilkan dari proses penyaringan dan penggumpalan, sedangkan limbah cair dihasilkan dari proses pencucian, perebusan, pengepresan dan pencetakan tahu. Kebanyakan dari pabrik tahu yang ada di Indonesia merupakan industri skala kecil dan tidak memiliki unit pengolahan limbah yang memadai. Limbah padat tahu biasanya akan diolah kembali menjadi pakan ternak, oncom, tempe gembus, dan berbagai olahan makanan lainnya. Sedangkan limbah cair tahu biasanya akan langsung dibuang ke badan air oleh industri tahu yang tidak memiliki unit pengolahan limbah.

Industri tahu mampu menghasilkan ± 700 kg/hari tahu dengan pemakaian air bersih ± 6000 L/hari dan menghasilkan limbah cair ± 4800 L/hari. Pada proses penggumpalan dan pengepresan menghasilkan buangan air limbah yang memiliki polutan tinggi (Sungkowo dkk, 2015). Limbah cair dari pengolahan tahu dan tempe mempunyai kadar BOD sekitar 5.000 - 10.000 mg/L, COD 7.000 -12.000 mg/L (Sayow dkk, 2020). Sedangkan dalam Permen LH No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, telah ditetapkan baku mutu air limbah tahu yaitu 150 mg/L untuk BOD dan 300 mg/L untuk COD. Sehingga apabila limbah cair tahu langsung dibuang ke badan air tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu dapat berbahaya bagi lingkungan dan merusak ekosistem di dalamnya.

Pencemaran sungai akibat limbah cair tahu dapat diatasi dengan salah satu metodenya yaitu fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan suatu proses pembersihan lingkungan yang terkontaminasi polutan dengan menggunakan tanaman. Menurut Zynda dalam Santriyana dkk (2013) Keuntungan fitoremediasi adalah dapat bekerja pada senyawa organik dan anorganik, prosesnya dapat dilakukan secara insitu dan eksitu, mudah diterapkan dan tidak memerlukan biaya yang tinggi, teknologi yang ramah lingkungan dan bersifat estetik bagi lingkungan, serta dapat mereduksi kontaminan dalam jumlah yang besar.

Kayu apu (*Pistia stratiotes L.*) merupakan salviniaceae dari genus Pistia. Secara fisiologis tumbuhan kayu apu (*Pistia stratiotes L.*) memiliki kemampuan untuk menyerap bahan radioaktif sehingga dapat digunakan untuk mengurangi limbah akibat pencemaran radioaktif di lingkungan (Diara, 2017). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Hanafiah dkk, pada hari ke-7 penggunaan 30 gram *Pistia stratiotes* sebagai agen fitoremediasi dalam pengolahan air limbah domestik efektif dalam menghilangkan jumlah padatan tersuspensi hingga mencapai 95% serta penghilangan amonia nitrogen 92%. Sedangkan 20 gram *Pistia stratiotes* dapat menghilangkan hingga 92% padatan tersuspensi dan 83% ammonia nitrogen. Dan 10 gram *Pistia stratiotes* berhasil mengurangi 78% ammonia nitrogen dan 89% dari total padatan tersuspensi.

Eceng gondok merupakan tumbuhan yang mengambang di air dan tumbuh subur di daerah yang beriklim tropis. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Raissa (2017) diketahui bahwa pada fitoremediasi air yang tercemar limbah laundry, tumbuhan eceng gondok mampu menyisihkan BOD sebesar 98% atau setara dengan 8 mg/L, COD sebesar 96% atau setara dengan 19 mg/L, fosfat sebesar 99% atau setara dengan 0,07 mg/L pada kerapatan 30 mg/cm² dengan densitas 0,02 gr/cm³. Dari hasil penelitian didapat, tumbuhan Eceng gondok dengan kerapatan 30 mg/cm² memiliki efisiensi penyisihan yang tertinggi.

Karena kemampuannya tersebut, maka pada penelitian ini digunakan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes L.*) dan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) untuk fitoremediasi air sungai yang tercemar limbah cair industri tahu.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana efektivitas tanaman kayu apu dan eceng gondok dalam melakukan proses fitoremediasi air sungai yang tercemar limbah industri tahu?
2. Bagaimana pengaruh berat basah tanaman kayu apu dan eceng gondok yang digunakan dalam melakukan proses fitoremediasi air sungai yang tercemar limbah industri tahu?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penyusunan tugas akhir ini adalah:

1. Untuk menganalisis efektivitas tanaman kayu apu dan eceng gondok dalam melakukan proses fitoremediasi air sungai yang tercemar limbah industri tahu.
2. Untuk menganalisis pengaruh berat basah tanaman kayu apu dan eceng gondok yang digunakan dalam melakukan proses fitoremediasi air sungai yang tercemar limbah industri tahu.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari tugas akhir ini adalah:

1. Sampel yang digunakan yaitu air dari Sungai Jabung, Kecamatan Paiton, Kabupaten Probolinggo yang mengalir di dekat industri tahu.
2. Jenis tanaman uji yaitu kayu apu (*Pistia stratiotes*) dan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*)
3. Parameter yang dianalisis yaitu BOD, COD, TSS, dan pH air sungai serta morfologi tanaman yang terdiri dari lebar daun dan jumlah daun untuk tanaman kayu apu, serta lebar daun dan tinggi tanaman untuk eceng gondok.
4. Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis tanaman yaitu kayu apu dan eceng gondok, serta berat basah tanaman yang digunakan yaitu 100 gram dan 150 gram
5. Pengamatan pada penelitian utama dilakukan selama 4 minggu atau 28 hari dengan waktu sampling yaitu pada hari ke-7, hari ke-14, hari ke-21, dan hari ke-28
6. Tolok ukur kualitas air sungai mengacu pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Memberikan informasi tentang kemampuan tanaman kayu apu dan eceng gondok dalam menurunkan kadar BOD, COD, dan TSS serta menetralkan pH air sungai yang tercemar limbah industri tahu dan efisiensinya.
2. Sebagai bahan masukan dalam melakukan pengendalian pencemaran air sungai yang tercemar limbah industri tahu.
3. Dapat dijadikan sebagai bahan kajian untuk penelitian selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Air Sungai

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, pencemaran air adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu air yang telah ditetapkan. Sedangkan baku mutu air adalah ukuran batas atau kadar makhluk hidup, zat, ertergi, atau komponen yang ada atau harus ada dan/atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya di dalam air.

Kualitas air merupakan salah satu faktor penting untuk mengetahui apakah suatu sumber air tersebut dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan manusia, seperti kebutuhan air minum, pertanian, perikanan, maupun digunakan untuk keperluan lainnya (Kesuma dan Widyastuti, 2013). Kualitas air tersebut yang didasarkan dengan baku mutu kualitas air yang sesuai pada kelas sungai berdasarkan dengan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kriteria Mutu Air Berdasarkan Kelas

Parameter	Satuan	Kelas			
		I	II	III	IV
pH	-	6-9	6-9	6-9	6-9
Suhu	°C	Devisiasi 3	Devisiasi 3	Devisiasi 3	Devisiasi 3
BOD	mg/L	2	3	6	12
COD	mg/L	10	25	40	80
TSS	mg/L	40	50	100	400

Sumber: Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021

Keterangan:

Klasifikasi mutu air yang sudah ditetapkan dapat dibagi menjadi 4 kelas:

1. **Kelas I** : Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
2. **Kelas II** : Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
3. **Kelas III** : Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi tanaman, dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
4. **Kelas IV** : Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanaman dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Air limbah dan bahan buangan dari kegiatan industri yang di buang ke perairan akan mengubah pH air, dan dapat mengganggu kehidupan organisme air. Air normal yang memenuhi syarat untuk kehidupan mempunyai pH berkisar antara 6,5 sampai 7,5. Ekosistem air dapat melakukan “rehabilitasi” apabila terjadi pencemaran terhadap badan air. Kemampuan ini ada batasnya. Oleh karena itu perlu diupayakan untuk mencegah dan menanggulangi pencemaran air. Limbah industri hendaknya diproses dahulu dengan teknik pengolahan limbah, dan

setelah memenuhi syarat baku mutu air buangan baru bisa dialirkan ke selokan selokan atau sungai. Dengan demikian akan tercipta sungai yang bersih dan memiliki fungsi ekologis (Adack, 2013).

Karakteristik dari limbah industri tahu yang masih mengandung kadar protein tinggi apabila dibuang langsung ke lingkungan tanpa ada pengolahan terlebih dahulu untuk menurunkan konsentrasi protein dalam limbah tersebut mengakibatkan protein mudah terurai sehingga menimbulkan bau busuk yang mengganggu baik dari segi estetika maupun kesehatan selain itu dapat menurunkan kualitas air pada badan air yang menerima (Kesuma dan Widyastuti, 2013).

Menurut Fitriyah (2020) Peruntukkan air Sungai Jabung masuk dalam golongan air Kelas III yang telah ditetapkan oleh Keputusan Bupati KDH Tingkat II Probolinggo nomor 336 Tahun 1988. Masyarakat sekitar Sungai memanfaatkan air sungai untuk keperluan irigasi, budidaya perikanan, mencuci, mandi dan buang air besar. Hal tersebut dapat berpotensi mengalami penurunan kualitas air sungai. Dalam penelitiannya, pada stasiun 3 yaitu di Dusun Krajan, Jabung sisir, Kecamatan Paiton, Kabupaten Probolinggo pada koordinat 7°43'55.35"S 113°28'15.12"T, kondisi Sungai Jabung pada stasiun 3 yaitu disekeliling sungai terdapat semak dan pohon pisang, terdapat banyak sampah, air sungai keruh, bau, sedikit berbusa serta dasar sungai berbatu. Tata guna lahan pada stasiun ini yaitu industri dan pemukiman. Setelah dilakukan pengujian diketahui bahwa pada titik tersebut suhu, pH, TDS dan TSS air sungai telah memenuhi baku mutu berdasarkan PP. No.82 Tahun 2001. Sedangkan untuk kandungan BOD, COD, Nitrit, dan Amonia telah melebihi baku mutu. Menurut Fitriyah, hal ini disebabkan karena adanya sumber pencemar pada stasiun 3 yaitu disebabkan oleh buangan limbah tahu ke badan air yang bersumber dari industri tahu.

2.2 Limbah Industri Tahu

Industri tahu mampu menghasilkan ± 700 kg/hari tahu dengan pemakaian air bersih ± 6000 L/hari dan menghasilkan limbah cair ± 4800 L/hari. Limbah cair diperoleh dari beberapa proses, antara lain proses pencucian, proses perendaman, proses penggumpalan, dan proses pengepressan. Pada proses penggumpalan dan pengepressan menghasilkan buangan air limbah yang memiliki polutan tinggi. Untuk mengatasi limbah tersebut agar aman dibuang ke lingkungan diperlukan suatu pengolahan limbah cair, agar nantinya dapat mengurangi beban limbah yang masuk ke dalam badan air (Sungkowo dkk, 2015).

Pada umumnya bahan – bahan organik yang terkandung dalam industri tahu sangat tinggi, senyawa organik di dalam air buangan tersebut dapat berupa protein, karbohidrat, lemak dan minyak. Di antara senyawa organik protein dan lemak yang paling besar bisa mencapai 40% - 60% protein, 25 - 50% karbohidrat, dan 10% lemak. Semakin lama jumlah dan bahan organik ini akan semakin banyak, dalam hal ini akan menyulitkan pengelolaan limbah, karena beberapa zat sulit di uraikan oleh mikroorganisme di dalam air limbah tahu tersebut (Adack, 2013).

Beberapa karakteristik limbah cair industri tahu yang penting antara lain: Total Suspended Solid (TSS), Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Nitrogen Total (N-Total), dan Derajat Keasaman (pH). Limbah cair dari pengolahan tahu dan tempe mempunyai kadar BOD sekitar 5.000 - 10.000 mg/L, COD 7.000 -12.000 mg/L (Sayow dkk, 2020).

Karakteristik limbah cair industri tahu meliputi dua hal, yaitu karakteristik fisika dan kimia. Karakteristik Fisika meliputi padatan total, padatan tersuspensi, suhu, warna, dan bau. Karakteristik kimia meliputi bahan organik, bahan anorganik dan gas. Suhu buangan industri tahu berasal dari proses pemasakan kedelai. Suhu limbah cair tahu pada umumnya lebih tinggi dari air bakunya, yaitu 40°C sampai 46°C. Suhu yang meningkat di lingkungan perairan akan

mempengaruhi kehidupan biologis, kelarutan oksigen dan gas lain, kerapatan air, viskositas, dan tegangan permukaan (Sungkowo dkk, 2015).

2.3 Fitoremediasi

Istilah fitoremediasi berasal dari kata Inggris *phytoremediation* kata ini sendiri tersusun atas dua bagian kata, yaitu *phyto* yang berasal dari kata Yunani *phyton* ("tumbuhan") dan *remediation* yang berasal dari kata Latin *remedium* ("menyembuhkan", dalam hal ini berarti juga "menyelesaikan masalah dengan cara memperbaiki kesalahan atau kekurangan"), dengan demikian fitoremediasi dapat didefinisikan sebagai: penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan, atau menghancurkan bahan pencemar baik itu senyawa organik maupun anorganik (Disyanto dkk, 2014).

Fitoremediasi berlandaskan pada kemampuan tumbuhan dalam menstimulasi aktivitas biodegradasi oleh mikroba yang berasosiasi dengan akar (*phytostimulation*) dan imobilisasi kontaminan di dalam tanah/air oleh eksudat dari akar (*phytostabilization*) serta kemampuan tumbuhan dalam menyerap logam dari dalam tanah/air dalam jumlah besar dan secara ekonomis digunakan untuk meremediasi tanah/air yang bermasalah (*phytomining*) (Hidayati, 2005).

Fitoremediasi merupakan pembersihan lingkungan (tanah, air, dan udara) secara biologis oleh tanaman. Fitoremediasi melibatkan berbagai proses, seperti fitoekstraksi, fitoakumulasi, fitovolatilisasi, fitostabilisasi, dan fitotransformasi (Raza dkk, 2020). Keuntungan menggunakan metode fitoremediasi adalah perawatan ini ramah lingkungan dan merupakan proses ulang sehingga tidak memerlukan bahan kimia sintetik serta biaya aplikasi rendah (Hanafiah dkk, 2018).

Ada enam tahapan proses yang terjadi ketika fitoremediasi berlangsung, yaitu :

- a. *Phytoaccumulation (phytoextraction)* yaitu proses tumbuhan menarik zat kontaminan dan media sehingga berakumulasi di sekitar akar tumbuhan, proses ini disebut juga *Hyperaccumulation*.
- b. *Rhizofiltration* adalah proses adsorpsi atau pengendapan zat kontaminan oleh akar untuk menempel pada akar.
- c. *Phytostabilization* yaitu penempelan zat-zat kontaminan tertentu pada akar yang tidak mungkin terserap ke dalam batang tumbuhan. Zat-zat tersebut menempel erat atau stabil pada akar sehingga tidak akan terbawa oleh aliran air dalam media.
- d. *Rhizodegradation* disebut juga *enhanced rhizosphere biodegradation, oilplanted assisted bioremediation degradation*, yaitu penguraian zat-zat kontaminan oleh aktivitas mikroba yang berada di sekitar akar tumbuhan, misalnya ragi, fungi dan bakteri.
- e. *Phytodegradation (phyto transformation)* yaitu proses yang dilakukan tumbuhan untuk menguraikan zat kontaminan yang mempunyai rantai molekul yang kompleks menjadi bahan yang tidak berbahaya dengan susunan molekul yang lebih sederhana yang dapat berguna bagi pertumbuhan tumbuhan itu sendiri.
- f. *Phytovolatilization* yaitu proses menarik dan transpirasi zat kontaminan oleh tumbuhan dalam bentuk yang telah menjadi larutan terurai sebagai bahan yang tidak berbahaya lagi untuk selanjutnya di uapkan ke atmosfer (Irhamni, 2017)

2.4 Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)

Kayu apu (*Pistia stratiotes L.*) merupakan salviniaceae dari genus *Pistia*. Kayu apu memiliki dua tipe daun yang sangat berbeda. Daun yang tumbuh dipermukaan air berbentuk cuping agak melingkar, berklorofil sehingga berwarna hijau, dan permukaan atasnya ditutupi rambut berwarna putih agak transparan. Rambut-rambut ini mencegah daun menjadi basah

dan juga membantu kayu apu mengapung. Daun tipe kedua tumbuh di dalam air berbentuk sangat menyirip seperti akar, tidak berklorofil dan berfungsi menangkap hara dari air seperti akar. Secara fisiologis tumbuhan kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) memiliki kemampuan untuk menyerap bahan radioaktif sehingga dapat digunakan untuk mengurangi limbah akibat pencemaran radioaktif di lingkungan (Diara, 2017).



Gambar 2.1Tanaman Kayu Apu

Berikut merupakan klasifikasi tumbuhan kayu apu.

Kingdom	: Plantae
Sub Kingdom	: Tracheobionta
Superdivision	: Spermatophyta
Division	: Magnoliophyta
Class	: Liliopsida
Subclass	: Arecidae
Order	: Arales
Family	: Araceae
Genus	: Pistia
Species	: <i>Pistia stratiotes</i> L.

Kayu apu (*Pistia stratiotes*) merupakan salah satu tumbuhan fitoremediator yang memiliki kemampuan untuk menyerap limbah baik berupa logam berat, zat organik maupun anorganik (Audyanti dkk 2019). Kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) sebagai tumbuhan air memiliki potensi dalam menurunkan kadar pencemar air limbah, yang memiliki kadar organik tinggi (Widya dkk, 2015).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Hanafiah dkk, pada hari ke-7 penggunaan 30 gram *Pistia stratiotes* sebagai agen fitoremediasi dalam pengolahan air limbah efektif dalam menghilangkan jumlah padatan tersuspensi hingga mencapai 95% serta penghilangan amonia nitrogen 92%. Sedangkan 20 gram *Pistia stratiotes* dapat menghilangkan hingga 92% padatan tersuspensi dan 83% ammonia nitrogen. Dan 10 gram *Pistia stratiotes* berhasil mengurangi 78% ammonia nitrogen dan 89% dari total padatan tersuspensi. Hasil penelitian yang telah dilakukan Audiyanti dkk (2019) menunjukkan bahwa engukuran nilai BOD setelah 14 hari proses fitoremediasi mengalami penurunan nilai di semua perlakuan. Pada perlakuan kayu apu nilai penurunan bahan organik menjadi 6,45 hingga 11,35 mg/L (36,41 %-63,87%).

2.5 Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)

Eceng gondok merupakan salah satu tanaman yang dapat hidup dan mengapung di air. Eceng gondok biasanya hidup secara liar di daerah perairan seperti di kolam-kolam dangkal, tanah basah dan rawa, aliran air yang lambat, danau, tempat penampungan air dan sungai.



Gambar 2.2 Tanaman Eceng Gondok

Berikut merupakan klasifikasi eceng gondok

Divisi : Spermatophyta

Sub divisi: Angiospermae

Kelas : Monocotyledoneae

Suku : Pontederiaceae

Marga : Eichornia

Jenis : *Eichornia crassipes* Solms

Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) merupakan tumbuhan gulma di wilayah perairan yang hidup terapung pada air yang dalam. Eceng gondok memiliki kecepatan tumbuh yang tinggi sehingga tumbuhan ini dianggap sebagai gulma yang dapat merusak lingkungan perairan. Eceng gondok berkembangbiak dengan sangat cepat, baik secara vegetatif maupun generatif. Perkembangbiakan dengan cara vegetatif dapat melipat ganda dua kali dalam waktu 7-10 hari (Gunawan, 2007). Karena pertumbuhan yang cepat maka eceng gondok dapat menutupi permukaan air dan menimbulkan masalah pada lingkungan. Namun disisi lain, eceng gondok bermanfaat karena mampu menyerap zat organik, zat anorganik serta logam berat yang merupakan bahan pencemar (Djodkk, 2017)

Eceng gondok merupakan tumbuhan yang mengambang di air dan tumbuh subur di daerah yang beriklim tropis. Eceng gondok memiliki toleransi yang tinggi untuk hidup pada lingkungan yang tercemar (Rahman, 2011). Srivastava (2014) menyarankan untuk menggunakan eceng gondok dalam fitoremediasi karena sifatnya yang mampu mengakumulasi polutan penyebab pencemaran air. Eceng gondok juga merupakan tumbuhan yang mudah berkembang biak dan memiliki biomassa yang besar.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Raissa (2017) diketahui bahwa pada fitoremediasi air yang tercemar limbah laundry, tumbuhan eceng gondok mampu menyisihkan BOD sebesar 98% atau setara dengan 8 mg/L, COD sebesar 96% atau setara dengan 19 mg/L,

fosfat sebesar 99% atau setara dengan 0,07 mg/L pada kerapatan 30 mg/cm² dengan densitas 0,02 gr/cm³. Dari hasil penelitian didapat, tumbuhan *Eceng gondok* dengan kerapatan 30 mg/cm² memiliki efisiensi penyisihan yang tertinggi. Begitu pula hasil penelitian yang telah dilakukan Audiyanti dkk (2019) menunjukkan bahwa pengukuran nilai BOD setelah 14 hari proses fitoremediasi mengalami penurunan nilai. Pada perlakuan *eceng gondok* nilai penurunan bahan organik menjadi 8,1 hingga 16,25 mg/L (8,96%-54,62%).

2.6 Kurva Konsentrasi Respon

Prinsip yang menghubungkan dosis dengan efek/respons toksik dikenal sebagai hubungan dosis-efek atau hubungan dosis-respons. Terdapat dua jenis hubungan dosis-respons, yakni respons individu dan respons kuantal. Pada respons individu, perubahan sistem tubuh yang kontinu diamati sejalan dengan kenaikan dosis toksikan yang diberikan. Semakin tinggi respons yang diberikan, akan semakin parah. Sedangkan pada respons kuantal, distribusi akan respons individu dalam suatu populasi sebagai akibat pajanan suatu toksikan diamati. Pada respons kuantal yang diamati adalah apakah individu merespons atau tidak. Persentase individu yang memberi respons perubahan sistem biologis akibat pajanan toksikan akan dihitung, kemudian digunakan dalam penentuan tingkat atau klasifikasi bahaya terhadap toksikan yang diuji. Hubungan dosis-respons merupakan konsep penting dalam toksikologi dan menjadi dasar pengukuran bahaya dari suatu toksikan. Hubungan dosis-respons merujuk pada persentase populasi yang memberi respons perubahan sistem biologis yang terdeteksi. Nilai ini kemudian digunakan dalam penentuan tingkat atau klasifikasi bahaya terhadap toksikan yang diuji (Kurniawidjaja dkk, 2021).

Konsep hubungan konsentrasi-respons merupakan hal mendasar dalam toksikologi. Konsep ini mengasumsikan bahwa ada hubungan kausal antara konsentrasi toksikan dalam larutan dan respons terukur. Secara umum, respons yang lebih parah diharapkan pada konsentrasi zat toksik yang lebih tinggi, dan respons yang kurang parah pada konsentrasi yang lebih rendah. Sebuah respon biologis (mortalitas, pertumbuhan atau penghambatan reproduksi) diukur pada kisaran konsentrasi limbah untuk mengembangkan kurva konsentrasi-respons (Fleming, 2004).

Akibat yang wajar dari konsep konsentrasi-respons adalah bahwa setiap toksikan harus menunjukkan hubungan konsentrasi-respons, mengingat bahwa respons yang tepat diukur dan rentang konsentrasi yang dievaluasi sesuai. Penggunaan konsep ini dapat membantu dalam menentukan apakah limbah memiliki toksisitas dan dalam mengidentifikasi hasil uji yang tidak normal. Tes yang menunjukkan hubungan konsentrasi-respons yang tidak terduga dapat mengindikasikan kebutuhan untuk penyelidikan atau pengujian lebih lanjut. Jika limbah tertentu secara konsisten menghasilkan hubungan konsentrasi-respons yang spesifik dan tidak terduga, kemungkinan ada penyebab fisik, kimia, atau biologis yang harus diselidiki lebih lanjut. Uji toksisitas akut yang diperlukan terdiri dari setidaknya 2 kontrol dan 5 konsentrasi limbah dimana titik akhir adalah perkiraan konsentrasi limbah yang mematikan 50% organisme uji dalam periode waktu yang ditentukan oleh pengujian, yang dinyatakan sebagai LC₅₀. Secara teoritis, ini adalah konsentrasi uji yang dihitung yang akan menyebabkan kematian hingga 50% dari populasi uji (Fleming, 2004).



BAB III

METODE PENELITIAN



BAB III METODE PENULISAN

3.1 Umum

Sebuah metodologi penelitian dilakukan untuk memberikan gambaran awal mengenai tahapan dalam penelitian sehingga pelaksanaan dan penulisan laporan menjadi sistematis. Penelitian ini dilakukan di rumah peneliti, sedangkan analisis sampel air sungai sebelum dan sesudah dilakukan fitoremediasi dilakukan di Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup Kota Probolinggo dan Laboratorium Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember. Penelitian ini berfokus pada fitoremediasi air sungai yang tercemar limbah cair industri tahu, dengan 2 variabel penelitian yaitu variasi jenis tanaman yaitu Kayu apu (*Pistia stratiotes*) dan Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) serta berat basah masing-masing tanaman yaitu 100 gram dan 150 gram. Hasil akhir dari penelitian ini yaitu efektivitas jenis tanaman dan berat basah tanaman untuk menurunkan kandungan pencemar dengan parameter BOD, COD, TSS, serta pH pada air sungai yang tercemar limbah cair industri tahu.

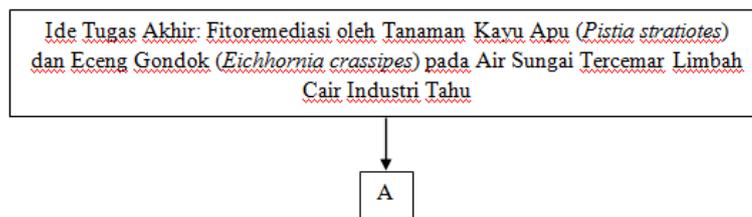
3.2 Kerangka Penelitian

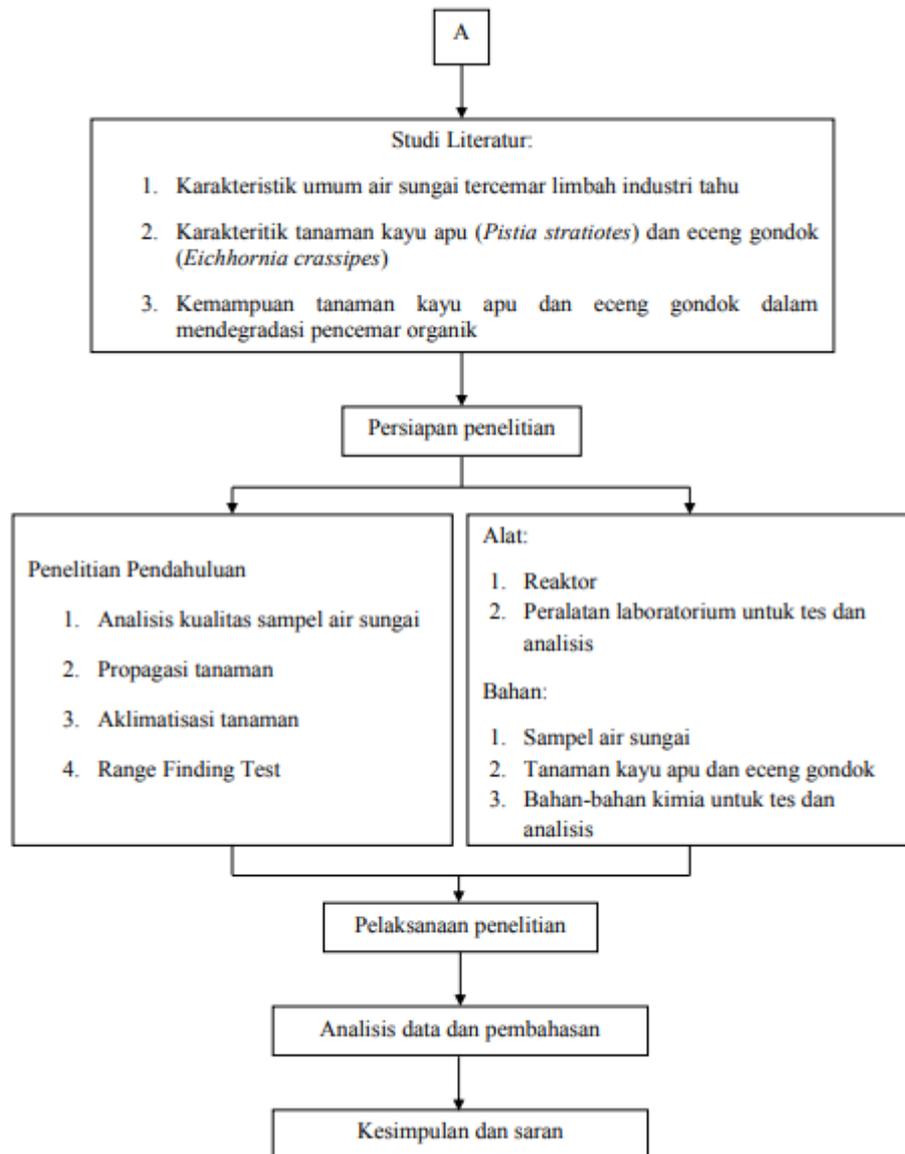
Metode Kerangka penelitian merupakan alur proses tahapan penelitian. Penyusunan dilakukan dari tahap awal yaitu persiapan alat dan bahan, pelaksanaan penelitian hingga penulisan laporan. Tujuan dari kerangka penelitian yaitu untuk mengetahui tahapan yang harus dilakukan dalam penelitian sehingga dapat digunakan sebagai acuan dari awal penelitian hingga penulisan laporan tugas akhir. Selain itu tujuan dari kerangka penelitian juga untuk mempermudah dalam menganalisis hal-hal yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian demi tercapainya tujuan.

Hal-hal yang akan dilakukan yaitu mengumpulkan data karakteristik limbah cair industri tahu, usia optimum tanaman yang akan digunakan, konsentrasi maksimum yang dapat diserap oleh masing-masing tumbuhan. Dilakukan uji laboratorium sesuai dengan parameter yang telah ditentukan, kemudian dilakukan analisis dan pembahasan terhadap hasil uji laboratorium tersebut.

3.3 Tahap Penelitian

Penyusunan tahapan penelitian dalam tugas akhir ini berupa langkah-langkah yang akan dilakukan selama penelitian dari awal hingga akhir penelitian, dengan tujuan agar mempermudah pelaksanaan penelitian dan menjadi acuan selama menjalankan penelitian. Tahap penelitian terdiri dari beberapa hal yang harus dikerjakan. Beberapa hal tersebut yaitu penentuan ide tugas akhir, studi literatur, persiapan penelitian yang terdiri dari penelitian pendahuluan serta persiapan alat dan bahan, pelaksanaan penelitian, analisis data dan pembahasan, serta kesimpulan dan saran. Adapun tahapan penelitian dalam pelaksanaan tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.3.1 Ide Tugas Akhir

Tahap awal dimulai dengan menentukan ide penelitian yang didapatkan dari analisis kondisi lapangan. Ide penelitian merupakan kerangka awal untuk menetapkan rumusan masalah, sehingga 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 tanaman Kayu apu dan Eceng gondok dalam meremediasi air sungai yang tercemar limbah industri tahu.

3.3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendukung jalannya penelitian dari awal hingga penyusunan laporan. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan dasar teori yang kuat yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan. Sumber literatur berasal dari buku teks, laporan penelitian, jurnal-jurnal ilmiah dan artikel yang terpercaya.

3.3.3 Penelitian Pendahuluan

Tahap penelitian pendahuluan terdiri dari beberapa tahap, yaitu:

1. Analisis kualitas sampel air sungai tercemar limbah cair tahu dengan parameter pencemar BOD, COD, TSS, dan pH.
2. Propagasi tanaman kayu apu dan eceng gondok, dilakukan dengan cara memasukkan air ke dalam reaktor kemudian memasukkan masing-masing tanaman uji kedalam reaktor. Pada tahap ini diamati masa laju pertumbuhan pada masing-masing tanaman dan perubahan fisiologis pada tiap tanaman, yaitu lebar daun dan jumlah daun pada tanaman kayu apu, serta lebar daun dan tinggi tanaman pada eceng gondok.
3. Aklimatisasi tanaman kayu apu dan eceng gondok selama 7 hari, dilakukan dengan cara mengambil masing-masing tumbuhan yang telah dewasa dari tahap propagasi dan memindahkannya ke reaktor aklimatisasi. Tujuan dilakukan aklimatisasi adalah agar tanaman dapat beradaptasi pada media yang akan digunakan pada *range finding test* dan uji fitoremediasi.
4. *Range Finding Test* dilakukan untuk menentukan konsentrasi sampel air tercemar yang sesuai untuk digunakan dalam penelitian. Pada tahap ini akan diuji batas konsentrasi pencemar yang mampu diterima oleh tanaman uji dengan cara meletakkan tanaman uji pada air sungai dengan variasi konsentrasi. Berdasarkan USEPA Guidelines Part 850.4500 banyak variasi konsentrasi pada tahap *range finding test* yaitu 5 konsentrasi, dengan rentang variasi mengikuti deret geometrik, dengan konsentrasi 0%, 10%, 20%, 40%, 60%, 80%. Mengacu pada USEPA (2012), *range finding test* dilakukan selama 4 hari atau 96 jam. Namun apabila dalam waktu 96 jam tidak terjadi perubahan pada tumbuhan, maka waktu diperpanjang selama 24 jam. Jika perpanjangan waktu RFT masih belum menyebabkan perubahan terhadap tumbuhan, waktu diperpanjang lagi hingga 14 hari.

3.3.4 Pelaksanaan Penelitian

Pada pelaksanaan penelitian digunakan sampel air tercemar limbah cair tahu dengan konsentrasi yang sesuai hasil dari *range finding test* yang telah dilakukan. Sampel air diambil dari Sungai Jabung, Kecamatan Paiton, Kabupaten Probolinggo yang mengalir di dekat tempat pembuangan limbah dari industri tahu. Penelitian ini dilakukan secara duplo dan dilakukan menggunakan reaktor plastik dengan variasi jenis tanaman dan berat basah tanaman. Sampel air sungai dimasukkan ke dalam reaktor dan kemudian ditambahkan tanaman kayu apu dan eceng gondok dengan variasi berat 100g dan 150g. Pengujian parameter dilakukan selama 4 minggu atau 28 hari dengan waktu sampling yaitu pada hari ke-7, hari ke-14, hari ke-21, dan hari ke-28. Sampel air yang akan diujikan diambil pada bagian atas reaktor, karena akar tanaman pasti menjangkau bagian ini sehingga terjadi proses fitoremediasi.

3.3.5 Variabel dan Parameter Penelitian

a. Variabel yang digunakan yaitu:

- Variabel bebas:

- Variasi Jenis Tanaman

Variasi jenis tanaman dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan masing-masing tanaman dalam menurunkan kandungan organik dalam sampel air sungai. Tanaman yang digunakan yaitu kayu apu dan eceng gondok.

- Variasi Berat Basah Tanaman

Berat basah tanaman dimaksudkan untuk mengetahui berat basah tanaman yang optimum untuk menurunkan kandungan konsentrasi dalam sampel air sungai. Variasi berat basah tanaman yang digunakan yaitu 100g dan 150g.

- Variabel terikat berupa kandungan BOD, COD, dan TSS, dan pH sampel air sungai, serta morfologi tanaman uji.
 - Variabel kontrol berupa sampel air sungai tanpa tanaman dengan konsentrasi dan volume yang sama serta tanaman yang tidak diberi sampel air sungai.
- b. Parameter yang digunakan yaitu:
- Parameter utama: TSS, BOD, COD
 - Parameter pendukung: pH dan morfologi tumbuhan yang terdiri dari lebar daun dan jumlah daun untuk tanaman kayu apu, serta lebar daun dan tinggi tanaman untuk eceng gondok

3.3.6 Persiapan Alat dan Baha

Adapun rincian alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Bak reaktor plastik sebanyak 2 buah untuk propagasi tanaman kayu apu dan eceng gondok.
2. Bak reaktor plastik sebanyak 6 buah untuk *range finding test* tanaman kayu apu.

Tabel 3.1 Rincian Reaktor Uji RFT Tumbuhan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)

Jumlah Reaktor Uji RFT Tumbuhan Kayu Apu					
C1	C2	C3	C4	C5	Kontrol
1	1	1	1	1	1
Total					6

3. Bak reaktor plastik sebanyak 6 buah untuk *range finding test* tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*).

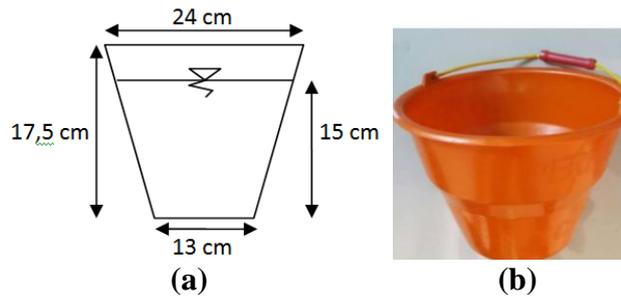
Tabel 3.2 Rincian Reaktor Uji RFT Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)

Jumlah Reaktor Uji RFT Tumbuhan Eceng Gondok					
C1	C2	C3	C4	C5	Kontrol
1	1	1	1	1	1
Total					6

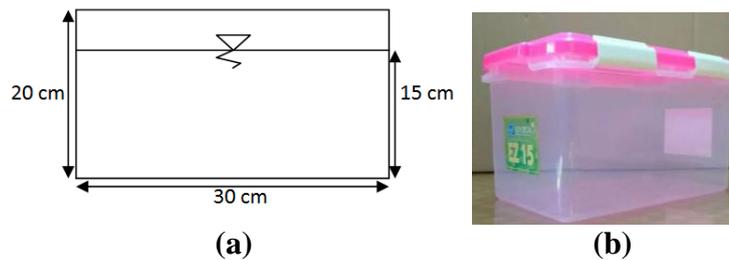
4. Bak reaktor plastik sebanyak 14 buah untuk uji fitoremediasi tanaman kayu apu dan eceng gondok

Tabel 3.3 Rincian Reaktor Uji Fitoremediasi Tanaman Kayu Apu dan Eceng Gondok

Berat Basah Tanaman	Jumlah Reaktor				
	Kayu Apu	Eceng Gondok	Kontrol		
			Tanpa Limbah		Tanpa Tanaman
			Kayu Apu	Eceng Gondok	
100 g	2	2	1	1	2
150 g	2	2	1	1	
Total					14



Gambar 3.2 Reaktor RFT
(a) Desain Reaktor RFT (b) Foto Reaktor RFT



Gambar 3.3 Reaktor Uji Fitoremediasi
(a) Desain Reaktor Uji Fitoremediasi (b) Foto Reaktor Uji Fitoremediasi

5. Peralatan yang digunakan untuk analisis parameter pH, TSS, BOD, COD yang dapat dilihat pada Tabel 3.4

Tabel 3.4 Parameter Penelitian dan Metode Uji

No	Parameter	Satuan	Acuan	Metode Analisis
1	BOD	mg/L	SNI 6989.72-2009	Titration winkler
2	COD	mg/L	SNI 6989.73:2009	Titrimetri
3	TSS	mg/L	SNI 6989.3:2019	Gravimetri
4	pH	-	SNI 6989.11-2019	pH Meter

Sedangkan bahan-bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu:

1. Sampel air sungai dari Sungai Jabung yang mengalir di dekat tempat pembuangan limbah dari industri tahu.
2. Tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) dan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*).
3. Bahan-bahan kimia yang digunakan untuk analisis parameter uji yaitu,
 - a. Analisis BOD
 - b. Analisis COD
 - c. Analisis TSS

3.3.7 Pengumpulan Data

Pada pelaksanaan penelitian akan dikumpulkan beberapa data untuk mendapatkan nilai dari setiap parameter yang telah ditentukan di awal yaitu pengukuran kandungan BOD, COD TSS, dan pH, serta morfologi tumbuhan. Berikut adalah beberapa metode pengumpulan dan analisis data untuk setiap parameter pada penelitian ini

- pH
 Pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan pH meter. Sebelum pengukuran pH meter dilakukan kalibrasi sehingga didapatkan hasilnya akurat. Pengukuran pH

dilakukan dilakukan selama 4 minggu atau 28 hari dengan waktu sampling yaitu pada hari ke-7, hari ke-14, hari ke-21, dan hari ke-28.

- **Morfologi tumbuhan**

Pengukuran morfologi tumbuhan pada tanaman kayu apu dilakukan dengan cara pengamatan terhadap jumlah daun dan lebar daun, sedangkan pada tanaman eceng gondok dilakukan dengan cara pengamatan terhadap lebar daun dan panjang tanaman. Pengukuran dilakukan selama 4 minggu atau 28 hari dengan waktu sampling yaitu pada hari ke-7, hari ke-14, hari ke-21, dan hari ke-28.

- **BOD**

Pengukuran BOD dilakukan di Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup Kota Probolinggo. Pengukuran BOD dilakukan selama 4 minggu atau 28 hari dengan waktu sampling yaitu pada hari ke-7, hari ke-14, hari ke-21, dan hari ke-28.

- **COD**

Pengukuran COD dilakukan di Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup Kota Probolinggo. Pengukuran COD dilakukan selama 4 minggu atau 28 hari dengan waktu sampling yaitu pada hari ke-7, hari ke-14, hari ke-21, dan hari ke-28.

- **TSS**

Pengukuran TSS dilakukan di Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup Kota Probolinggo. Pengukuran TSS dilakukan selama 4 minggu atau 28 hari dengan waktu sampling yaitu pada hari ke-7, hari ke-14, hari ke-21, dan hari ke-28.



BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Uji Karakteristik Air Sungai

Air yang digunakan dalam penelitian ini yaitu air sungai yang diambil dari Sungai Jabung yang dekat dengan outlet pembuangan limbah dari industri tahu, sehingga kemungkinan besar air sungai tersebut telah terkontaminasi oleh limbah dari industri tahu. Uji karakteristik air sungai ini dilakukan untuk mengetahui kandungan awal air sungai yang digunakan dengan tolok ukur kualitas air sungai mengacu pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Hasil uji karakteristik air sungai dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Uji Karakteristik Air Sungai

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisis	Baku Mutu
1	BOD	mg/l	185.58	6
2	COD	mg/l	317.07	40
3	TSS	mg/l	434	100
4	pH	-	6.2	6-9

Berdasarkan hasil analisis awal didapatkan nilai BOD sebesar 185,58 mg/L, COD sebesar 317,07 mg/L dan TSS sebesar 434 mg/L. Untuk nilai BOD, COD dan TSS melebihi baku mutu air kelas III menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, sedangkan untuk nilai pH masih memenuhi baku mutu.

4.2 Tahap Propagasi Tumbuhan

Propagasi tumbuhan dilakukan untuk memperbanyak stok tumbuhan yang akan digunakan dalam penelitian. Tahap propagasi dilakukan minimal selama satu bulan hingga tumbuhan memiliki ukuran yang optimum. Propagasi tanaman kayu apu dan eceng gondok, dilakukan dengan cara memasukkan air ke dalam reaktor kemudian memasukkan masing-masing tanaman uji kedalam reaktor. Pada tahap ini diamati masa laju pertumbuhan pada masing-masing tanaman dan perubahan fisiologis pada tiap tanaman, yaitu lebar daun dan jumlah daun pada tanaman kayu apu, serta lebar daun dan tinggi tanaman pada eceng gondok. Tumbuhan pada usia yang sama akan digunakan pada setiap tahapan penelitian, sehingga kondisi awal tumbuhan yang digunakan sama.

Pada tahap propagasi, perubahan fisik pada tanaman kayu apu diamati untuk mengetahui laju pertumbuhannya. pengamatan perubahan fisik pada tanaman kayu apu yaitu berupa jumlah daun dan lebar daun. Proses pengamatan fisik pada tanaman kayu apu dapat dilihat pada gambar 4.1.

Setelah dilakukan propagasi tanaman selama 35 hari dapat diketahui perkembangan jumlah daun dan lebar daun tanaman kayu apu serta laju pertumbuhan tanaman seperti pada gambar 4.2, gambar 4.3, dan gambar 4.4.

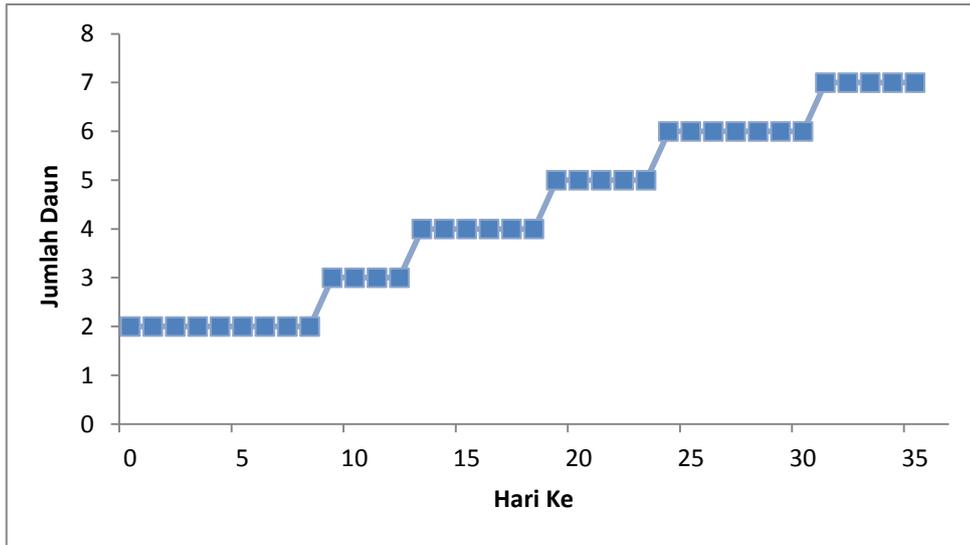


(a)

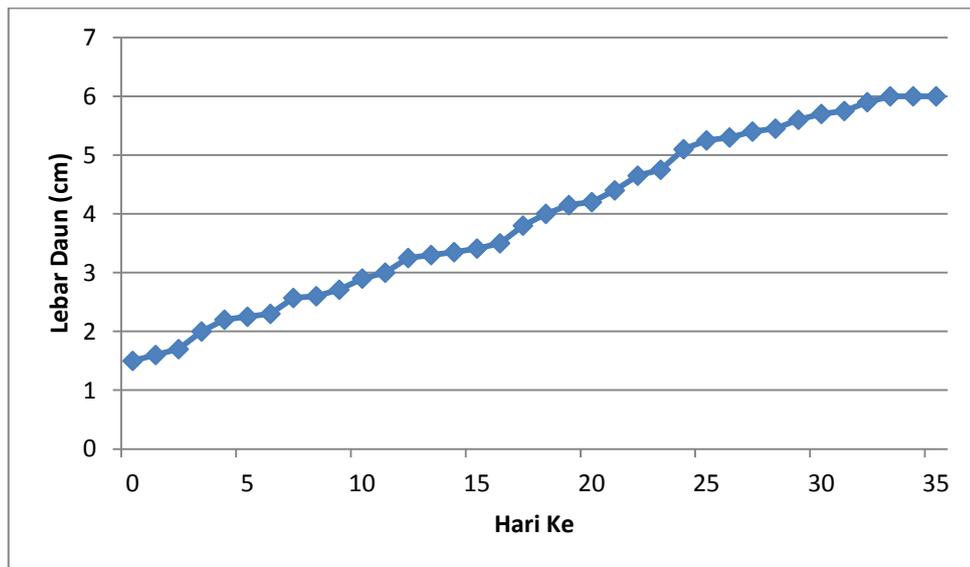


(b)

**Gambar 4.1 Pengamatan Fisik Tumbuhan Kayu Apu
(a) Jumlah Daun (b) Lebar Daun**



Gambar 4.2 Perkembangan Jumlah Daun Tanaman Kayu Apu



Gambar 4.3 Perkembangan Lebar Daun Tanaman Kayu Apu

Dari hasil pengamatan pertumbuhan tanaman kayu apu tersebut dapat dihitung laju pertumbuhannya menggunakan data perkembangan lebar daun. Adapun contoh perhitungan laju pertumbuhan lebar daun tanaman kayu apu pada hari ke-2 yaitu sebagai berikut:

$$\text{Laju pertumbuhan (cm/hari)} = \frac{(P2-P1)}{(T2-T1)}$$

Dimana:

P2 = Panjang bagian tumbuhan pada t2

P1 = Panjang bagian tumbuhan pada t1

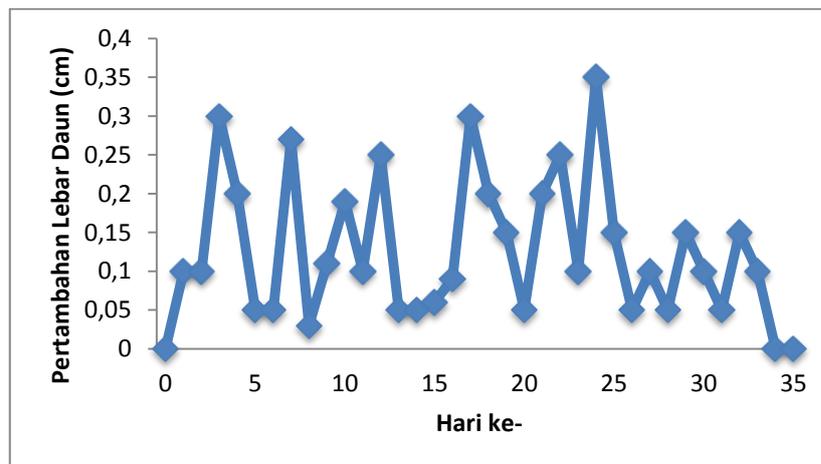
t1 = Waktu ke-0

t2 = waktu ke-t

Sehingga dapat dilakukan perhitungan pada hari ke-2 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Laju pertumbuhan (cm/hari)} &= \frac{(1,7-1,6)}{(2-1)} \\ &= \frac{0,1}{1} \\ &= 0,1\text{cm/hari} \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan laju pertumbuhan tanaman, didapatkan data laju pertumbuhan pada lebar daun tanaman kayu apu yang dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Laju Pertumbuhan Tanaman Kayu Apu

Dari hasil pengamatan laju pertumbuhan tanaman kayu apu, dapat diketahui usia tanaman yang akan digunakan pada *range finding test* dan penelitian utama. Dari hasil pengamatan tersebut dipilih tanaman kayu apu yang berusia 24 hari dengan lebar daun kayu apu yaitu 5 cm - 6 cm dan jumlah daun sebanyak 5 helai – 7 helai. Pemilihan penggunaan kayu apu pada usia ini didasarkan karena tanaman ini akan memasuki fase generatif. Fase generatif pada tanaman kayu apu terjadi saat usianya mencapai 1 - 2 bulan yang ditandai dengan keluarnya bunga. Diharapkan sebelum memasuki fase generatif, kayu apu dapat menyerap kontaminan dalam air secara optimal (Raissa, 2017).

Dilakukan pula tahap propagasi pada tanaman eceng gondok. Perubahan fisik pada tanaman eceng gondok juga diamati untuk mengetahui laju pertumbuhannya. pengamatan perubahan fisik pada tanaman eceng gondok yaitu berupa tinggi tanaman dan lebar daun. Proses pengamatan pada tanaman eceng gondok dapat dilihat pada gambar berikut.



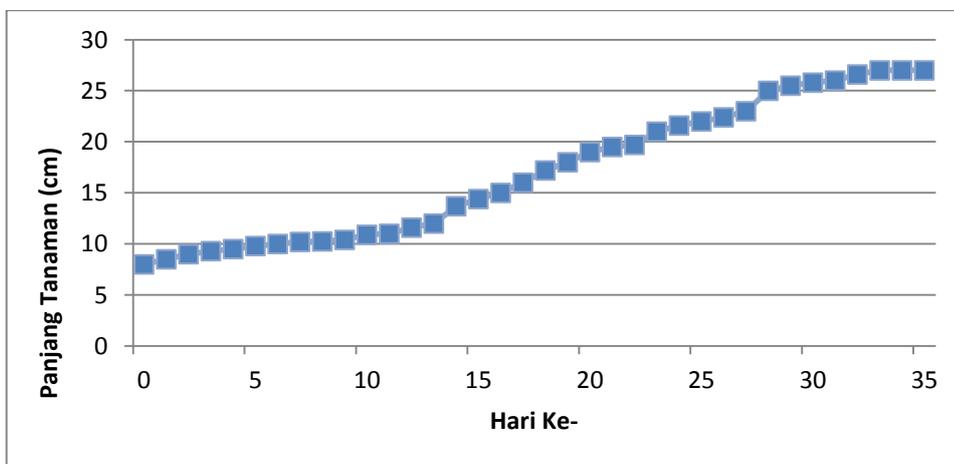
(a)



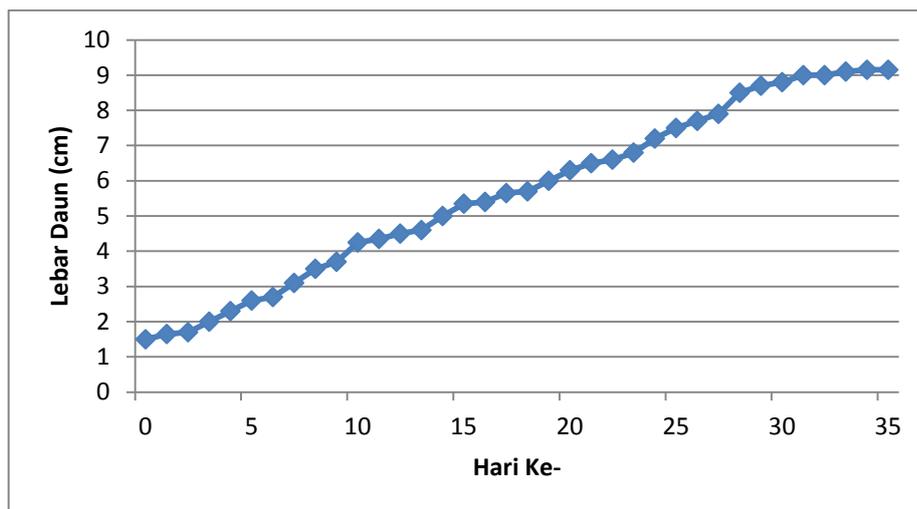
(b)

**Gambar 4.5 Pengamatan Fisik Tumbuhan Eceng Gondok
(a) Tinggi Tanaman (b) Lebar Daun**

Setelah dilakukan propagasi tanaman selama 35 hari dapat diketahui perkembangan tinggi tanaman dan lebar daun eceng gondok serta laju pertumbuhan tanaman seperti pada grafik di bawah ini.



Gambar 4.6 Perkembangan Panjang Tanaman Eceng Gondok

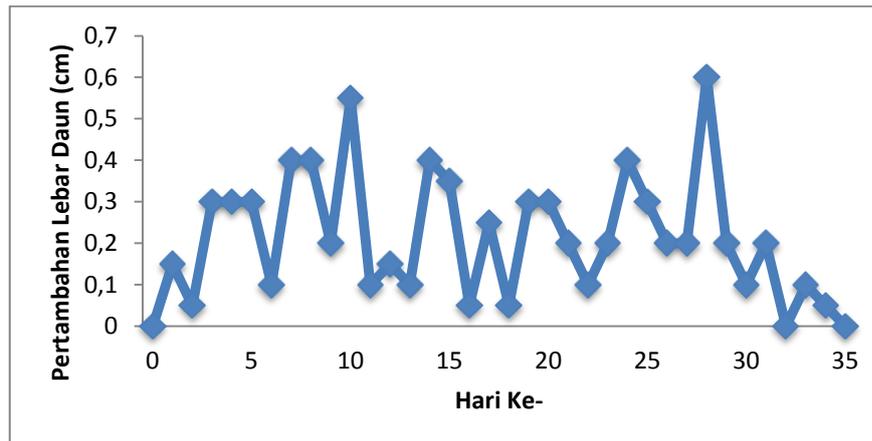


Gambar 4.7 Perkembangan Lebar Daun Tanaman Eceng Gondok

Dari hasil pengamatan pertumbuhan tanaman eceng gondok tersebut dapat dihitung laju pertumbuhannya menggunakan data perkembangan lebar daun. Adapun contoh perhitungan laju pertumbuhan lebar daun tanaman eceng gondok pada hari ke-2 yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Laju pertumbuhan (cm/hari)} &= \frac{(1,7-1,65)}{(2-1)} \\ &= \frac{0,05}{1} \\ &= 0,05 \text{ cm/hari} \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan laju pertumbuhan tanaman, didapatkan data laju pertumbuhan pada lebar daun tanaman eceng gondok yang dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Laju Pertumbuhan Tanaman Eceng Gondok

Dari hasil pengamatan laju pertumbuhan tanaman eceng gondok, dapat diketahui usia tanaman yang akan digunakan pada *range finding test* dan penelitian utama. Dari hasil pengamatan tersebut dipilih tanaman eceng gondok yang berusia 28 hari dengan tinggi tanaman eceng gondok yaitu 25 cm - 27 cm dan lebar daun sebesar 8 cm – 9 cm. Pemilihan penggunaan eceng gondok pada usia ini didasarkan karena tanaman ini akan memasuki fase generatif. Fase generatif pada tanaman eceng gondok terjadi saat usianya mencapai 1 - 2 bulan yang ditandai dengan keluarnya bunga.

4.3 Tahap Aklimatisasi

Aklimatisasi dilakukan agar tanaman dapat beradaptasi dengan kondisi air yang akan diproses dan dapat bertahan hidup. Pada tahap aklimatisasi, tanaman yang ukurannya relatif sama diletakkan pada reaktor selama 7 hari. Kemudian tanaman yang bertahan hidup dengan baik dan tidak layu dipilih untuk digunakan pada uji *Range Finding Test* dan uji fitoremediasi.

4.4 *Range Finding Test* (RFT)

Range Finding Test dilakukan untuk menentukan konsentrasi sampel air tercemar yang sesuai untuk digunakan dalam penelitian. Pada tahap ini akan diuji batas konsentrasi pencemar yang mampu diterima oleh tanaman uji dengan cara meletakkan tanaman uji pada sampel air sungai dengan variasi konsentrasi. Berdasarkan USEPA banyak variasi konsentrasi pada tahap *range finding test* yaitu 5 konsentrasi, dengan rentang variasi mengikuti deret geometrik, dengan konsentrasi 0%, 10%, 20%, 40%, 60%, 80%. Pada konsentrasi tertinggi yang membuat tanaman masih segar atau tidak layu dan mati akan digunakan pada penelitian utama. Volume air yang digunakan dalam RFT yaitu sebanyak 4L. Prinsip dalam penentuan jumlah tanaman yang digunakan dalam RFT ini yaitu menggunakan lebih dari 1 buah tanaman. Berdasarkan USEPA tanaman yang dipilih harus memiliki ukuran dan bentuk yang serupa dan jumlah tanaman serta jumlah daun harus sama di setiap reaktor. Dalam satu

reaktor total daun setidaknya 12 daun dan tidak lebih dari 16 daun. Jumlah tanaman yang digunakan dapat ditentukan dengan perhitungan terhadap densitas tumbuhan dan volume air yang digunakan. Berdasarkan Raissa (2017), densitas tanaman yang paling efektif dalam mereduksi pencemar yaitu sebesar 0,04 gr/cm³ untuk kayu apu dan 0,02 gr/cm³ untuk eceng gondok. Sehingga dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Massa kayu apu} &= \text{densitas} \times \text{volume air} \\ &= 0,004 \text{ g/cm}^3 \times 4000 \text{ mL} \\ &= 160 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah kayu apu} &= \text{massa kayu apu} / \text{berat basah} \\ &= 160\text{gr} / 46 \text{ gr} \\ &= 3,4 \approx 3 \text{ tanaman} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa eceng gondok} &= \text{densitas} \times \text{volume air} \\ &= 0,02 \text{ g/cm}^3 \times 4000 \text{ mL} \\ &= 80 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah eceng gondok} &= \text{massa eceng gondok} / \text{berat basah} \\ &= 80\text{gr} / 23 \text{ gr} \\ &= 3,4 \approx 3 \text{ tanaman} \end{aligned}$$

Setelah dilakukan *Range Finding Test* selama 4 hari belum ada tanaman yang mengalami kematian, hanya saja beberapa daun tanaman kayu apu mulai menguning dan daun tanaman eceng gondok mulai menyusut dan mengering. Maka dari itu RFT perlu diperpanjang selama 24 jam. Hasil pengamatan fisik pada tanaman kayu apu selama 5 hari dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.2 Pengamatan Fisik Kayu Apu

Konsentrasi	Hari Ke-1	Hari Ke-2	Hari Ke-3	Hari Ke-4	Hari Ke-5
0%					
20%					
40%					
60%					
80%					
100%					

Hasil pengamatan fisik saat *range finding test* pada eceng gondok dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut.

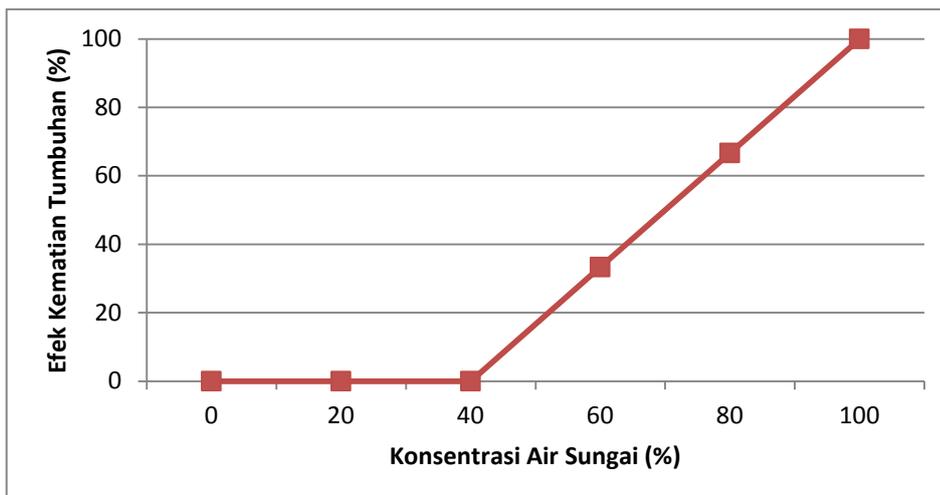
Tabel 4.3 Pengamatan Eceng Gondok

Konsentrasi	Hari Ke-1	Hari Ke-2	Hari Ke-3	Hari Ke-4	Hari Ke-5
0%					
20%					
40%					
60%					
80%					
100%					

Hasil RFT kedua tanaman tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5, sedangkan grafik respon tumbuhan terhadap berbagai macam konsentrasi dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10

Tabel 4.4 Hasil *Range Finding Test* Tanaman Kayu Apu

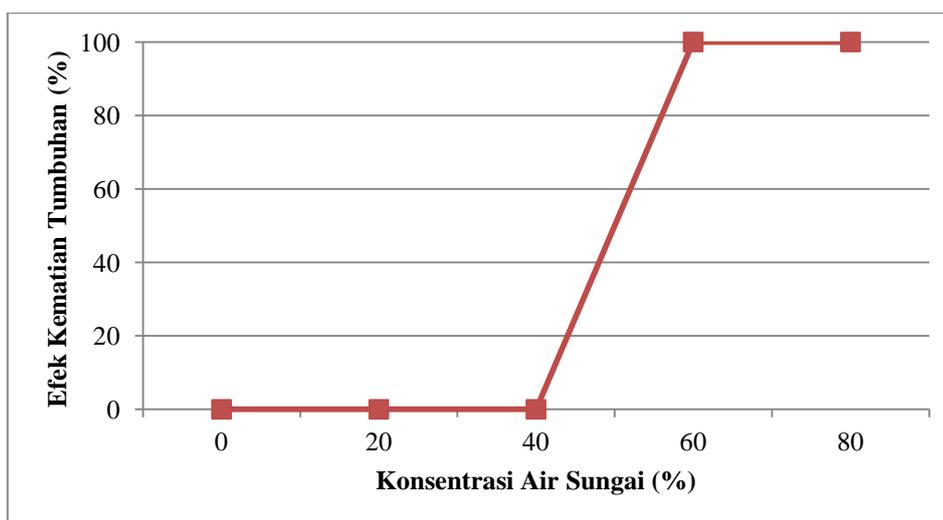
Konsentrasi Air Sungai (%)	Jumlah Tanaman Kayu Apu	Hidup	Letal	Efek Kematian Tumbuhan (%)
0	3	3	0	0
20	3	3	0	0
40	3	3	0	0
60	3	2	1	33
80	3	1	2	67
100	3	0	3	100



Gambar 4.9 Efek Kematian Tanaman Kayu Apu

Tabel 4.5 Hasil Range Finding Test Tanaman Eceng Gondok

Konsentrasi Air Sungai (%)	Jumlah Tanaman Eceng Gondok	Hidup	Letal	Efek Kematian Tumbuhan (%)
0	3	3	0	0
20	3	3	0	0
40	3	3	0	0
60	3	0	3	100
80	3	0	3	100
100	3	0	3	100



Gambar 4.10 Efek Kematian Tanaman Eceng Gondok

Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa tanaman kayu apu dan tanaman eceng gondok sama sekali tidak mengalami kematian pada konsentrasi 40%, sehingga digunakanlah konsentrasi 40% untuk melakukan uji fitoremediasi pada kedua tanaman tersebut.

4.5 Uji Fitoremediasi Air Sungai

Tanaman yang digunakan pada uji fitoremediasi merupakan tanaman yang sebelumnya telah melewati tahap aklimatisasi sehingga tanaman tersebut dapat beradaptasi pada saat dilakukan uji fitoremediasi. Air sungai yang digunakan pada saat uji fitoremediasi yaitu air sungai dengan konsentrasi yang sama seperti konsentrasi pada saat RFT yang tidak menimbulkan efek kematian pada tanaman. Konsentrasi air sungai yang digunakan pada kedua jenis tanaman yaitu 40% (v/v). Variasi pada penelitian ini yaitu variasi pada jenis dan berat basah tanaman. Jenis tanaman yang digunakan yaitu tanaman kayu apu dan tanaman eceng gondok, sedangkan variasi berat basah yang digunakan pada ke-dua tanaman yaitu 100 gram dan 150 gram. Volume air yang digunakan yaitu sebanyak 12 Liter dengan rentang waktu uji selama 28 hari. Parameter yang digunakan untuk pengujian yaitu BOD, COD, TSS, dan pH. Diperlukan perhitungan beban yang mampu diterima oleh setiap tanaman sebelum melakukan uji fitoremediasi untuk mengetahui kemampuan tanaman dalam menyerap kontaminan pada air sungai. Berikut merupakan perhitungan analisis beban per unit tumbuhan:

1. Tanaman Kayu Apu

a. Tahap RFT

Diketahui:

- Konsentrasi limbah = 40%
- BOD = 79,33 mg/L
- Volume = 4 L
- Jumlah tumbuhan digunakan = 3 tumbuhan

Perhitungan:

- Beban yang diterima oleh 3 tumbuhan
Volume air x BOD awal = $4L \times 79,33\text{mg/L}$
= 317,32 mg BOD /3 tumbuhan
- Kemampuan tiap tumbuhan = $\frac{\text{Beban Tumbuhan}}{\text{Berat tumbuhan}}$
= $\frac{317,32}{3 \times 46}$
= 2,299 mg
= 2299 mg/kg

b. Cek beban pada tahap fitoremediasi

Diketahui:

- Konsentrasi limbah = 40%
- BOD = 74,23 mg/L
- Volume = 12 L

Perhitungan:

- Beban tumbuhan = Volume air x BOD awal
= $12L \times 74,23\text{mg/L}$
= 890,76 mg
- Kemampuan Tiap Tumbuhan = $\frac{890,76}{2299}$
= 0,387 kg
= 387 gr

2. Tanaman Eceng gondok

a. Tahap RFT

Diketahui:

- Konsentrasi limbah = 40%
- BOD = 79,33 mg/L
- Volume = 4 L
- Jumlah tumbuhan digunakan = 3 tumbuhan

Perhitungan:

- Beban yang diterima oleh 3 tumbuhan
Volume air x BOD awal = $4\text{L} \times 79,33 \text{ mg/L}$
= 317,32 mg BOD /3 tumbuhan
- Kemampuan tiap tumbuhan
$$= \frac{\text{Beban Tumbuhan}}{\text{Berat Tumbuhan}}$$
$$= \frac{317,32}{3 \times 23}$$
$$= 4,599 \text{ mg}$$
$$= 4599 \text{ mg/kg}$$

b. Cek beban pada tahap fitoremediasi

Diketahui:

- Konsentrasi limbah = 40%
- BOD = 74,23 mg/L
- Volume = 12 L

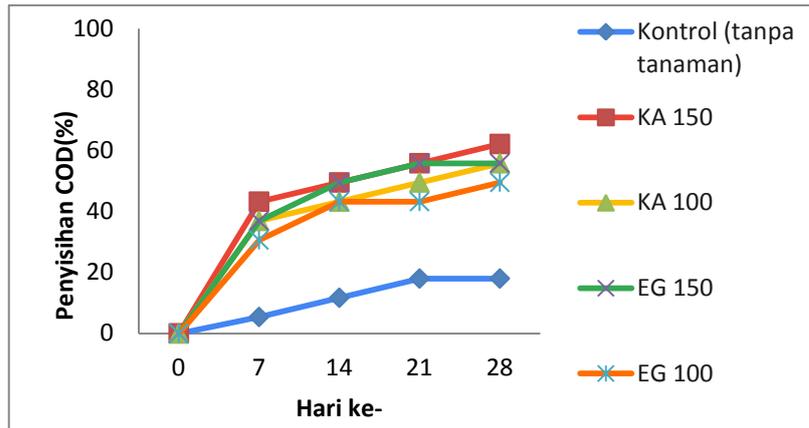
Perhitungan:

- Beban tumbuhan = Volume air x BOD awal
= $12 \text{ L} \times 74,23 \text{ mg/L}$
= 890,76 mg
- Kemampuan Tiap Tumbuhan = $\frac{890,76}{4599}$
= 0,194 kg
= 194 gr

Tanaman yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan variasi berat basah 100 gram dan 150 gram pada masing-masing jenis tanaman.

4.5.1 Analisis Parameter COD

COD merupakan jumlah oksigen yang diperlukan agar senyawa organik yang ada di dalam air limbah dapat teroksidasi melalui reaksi kimia. Menurut Mulia (2005) dalam Rahadian dkk (2017), senyawa organik dalam COD meliputi senyawa yang dapat diolah secara biologis (*biodegradable*) dan tidak dapat diolah secara biologis (*non-biodegradable*). Metode Uji yang digunakan yaitu metode refluks tertutup secara titrimetri sesuai dengan SNI 6989.73:2009. Hasil analisis COD yang diuji pada hari ke 7, 14, 21, dan 28 dapat dilihat pada tabel di lampiran b dan pada gambar berikut.



Gambar 4.11 Hasil Penyisihan COD

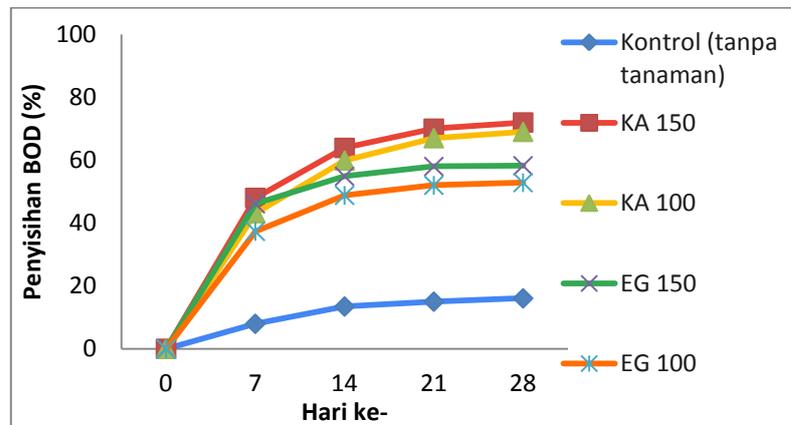
Data tersebut menunjukkan bahwa penyisihan COD pada reaktor dengan tanaman di hari ke-7 sangat tinggi, yaitu mencapai 43% pada reaktor dengan tanaman kayu apu dengan berat basah tanaman 150 gram, 37% pada reaktor dengan tanaman kayu apu dengan berat basah tanaman 100 gram, 37% pada reaktor dengan tanaman eceng gondok dengan berat basah tanaman 150 gram, dan 31% pada reaktor dengan tanaman eceng gondok dengan berat basah tanaman 100 gram. Pada hari ke-14 kenaikan angka penyisihan COD tidak terlalu besar, yaitu 50% pada reaktor dengan tanaman kayu apu dengan berat basah tanaman 150 gram, 43% pada reaktor dengan tanaman kayu apu dengan berat basah tanaman 100 gram, 50% pada reaktor dengan tanaman eceng gondok dengan berat basah tanaman 150 gram, dan 43% pada reaktor dengan tanaman eceng gondok dengan berat basah tanaman 100 gram. Pada hari ke-21 kenaikan angka penyisihan COD juga rendah, yaitu 56% pada reaktor dengan tanaman kayu apu dengan berat basah tanaman 150 gram, 50% pada reaktor dengan tanaman kayu apu dengan berat basah tanaman 100 gram, 56% pada reaktor dengan tanaman eceng gondok dengan berat basah tanaman 150 gram, dan 43% pada reaktor dengan tanaman eceng gondok dengan berat basah tanaman 100 gram. Pada hari ke-28 kenaikan angka penyisihan COD juga sangat rendah bahkan ada yang stagnan, yaitu 62% pada reaktor dengan tanaman kayu apu dengan berat basah tanaman 150 gram, 56% pada reaktor dengan tanaman kayu apu dengan berat basah tanaman 100 gram, 56% pada reaktor dengan tanaman eceng gondok dengan berat basah tanaman 150 gram, dan 50% pada reaktor dengan tanaman eceng gondok dengan berat basah tanaman 100 gram.

Data tersebut menunjukkan bahwa tanaman kayu apu memiliki efisiensi yang lebih baik dalam melakukan penyisihan COD dibandingkan dengan tanaman eceng gondok. Berat basah yang digunakan juga memiliki pengaruh walaupun tidak signifikan. Tanaman dengan berat basah yang lebih besar mampu melakukan penyisihan COD lebih baik pula. Menurut Rahadian dkk (2017), jumlah tanaman yang digunakan dalam reaktor berbanding lurus dengan nilai efisiensi penyisihan COD.

Penyisihan COD dengan menggunakan tanaman dapat terjadi karena adanya proses fotosintesis yang menghasilkan oksigen dan kemudian dilepaskan ke dalam air, sehingga dapat mengoksidasi senyawa organik yang terkandung dalam air tersebut. Selain itu, adanya proses penyerapan senyawa organik yang dilakukan tanaman dapat mengurangi kandungan senyawa organik pada air sungai (Rahadian dkk, 2017).

4.5.2 Analisis Parameter BOD

Analisis BOD bertujuan untuk menghitung kebutuhan oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air. Analisis ini merupakan salah satu analisis terpenting dalam aktivitas pencemaran sungai. Dengan mengetahui nilai BOD memungkinkan untuk menentukan tingkan pencemaran air lingkungan (Wardhana, 2001). BOD₅ adalah banyaknya oksigen (mg) yang diperlukan oleh bakteri untuk menguraikan atau mengoksidasi bahan organik dalam satu liter air limbah selama pengeraman (5x24 jam pada suhu 20°C) (Ningsih, 2017). Metode uji yang digunakan sesuai dengan SNI 6989.72:2009. Hasil analisis BOD yang diuji pada hari ke 7, 14, 21, dan 28 dapat dilihat pada tabel di lampiran b dan pada gambar berikut.



Gambar 4.12 Hasil Penyisihan BOD

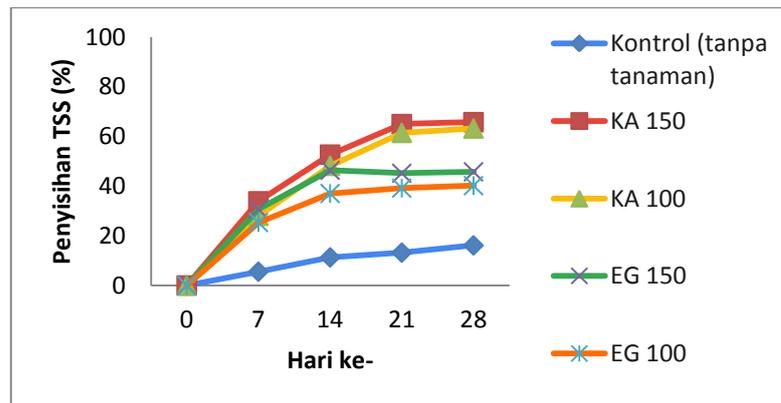
Data tersebut menunjukkan bahwa penyisihan BOD pada hari ke-7 sangat tinggi, yaitu mencapai 48% pada reaktor dengan tanaman kayu apu dengan berat basah tanaman 150 gram, 43% pada reaktor dengan tanaman kayu apu dengan berat basah tanaman 100 gram, 46% pada reaktor dengan tanaman eceng gondok dengan berat basah tanaman 150 gram, dan 37% pada reaktor dengan tanaman eceng gondok dengan berat basah tanaman 100 gram. Hari ke-14 menunjukkan bahwa kenaikan angka penyisihan BOD tidak terlalu besar, yaitu 64% pada reaktor dengan tanaman kayu apu dengan berat basah tanaman 150 gram, 60% pada reaktor dengan tanaman kayu apu dengan berat basah tanaman 100 gram, 55% pada reaktor dengan tanaman eceng gondok dengan berat basah tanaman 150 gram, dan 49% pada reaktor dengan tanaman eceng gondok dengan berat basah tanaman 100 gram. Hari ke-21 menunjukkan bahwa kenaikan angka penyisihan BOD juga rendah, yaitu 69% pada reaktor dengan tanaman kayu apu dengan berat basah tanaman 150 gram, 63% pada reaktor dengan tanaman kayu apu dengan berat basah tanaman 100 gram, 58% pada reaktor dengan tanaman eceng gondok dengan berat basah tanaman 150 gram, dan 52% pada reaktor dengan tanaman eceng gondok dengan berat basah tanaman 100 gram. Hari ke-28 juga menunjukkan bahwa kenaikan nilai penyisihan BOD sangat rendah bahkan ada yang stagnan, yaitu 72% pada reaktor dengan tanaman kayu apu dengan berat basah tanaman 150 gram, 69% pada reaktor dengan tanaman kayu apu dengan berat basah tanaman 100 gram, 58% pada reaktor dengan tanaman eceng gondok dengan berat basah tanaman 150 gram, dan 53% pada reaktor dengan tanaman eceng gondok dengan berat basah tanaman 100 gram.

Data tersebut menunjukkan bahwa efektivitas penyisihan BOD pada tanaman kayu apu lebih baik dibandingkan dengan tanaman eceng gondok. Hal ini dapat terjadi karena lebih tingginya penyerapan kandungan bahan organik oleh kayu apu dibandingkan dengan eceng gondok yang diduga disebabkan oleh lebih banyaknya jejaring bulu akar kayu apu sehingga dapat mereduksi lebih tinggi kandungan bahan organik (Audyanti dkk, 2019).

Penyisihan BOD yang terjadi karena proses fitoremediasi ini melibatkan proses rhizodegradasi yaitu keberadaan bakteri rhizosfer di akar yang mampu mengurai zat-zat kontaminan yang terkandung dalam air. Selain itu juga melibatkan proses fitovolatilisasi, yaitu adanya proses penarikan dan transpirasi zat kontaminan oleh tumbuhan dalam bentuk yang telah menjadi larutan terurai sebagai bahan yang tidak berbahaya lagi dan selanjutnya diupayakan ke atmosfer.

4.5.3 Analisis Parameter TSS

Total Suspended Solid adalah padatan tersuspensi yang terdapat pada limbah dengan ukuran kurang dari 0,45 mikron (Mulia, 2005). Material tersuspensi dampak mengakibatkan kekeruhan yang dapat menghalangi cahaya matahari yang masuk ke dalam tanaman air (Purnawati, 2015). Hasil analisis TSS yang diuji pada hari ke 7, 14, 21, dan 28 dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut.



Gambar 4.13 Hasil Penyisihan TSS

Data tersebut menunjukkan bahwa penyisihan TSS pada hari ke-7 tinggi, yaitu mencapai 34% pada reaktor dengan tanaman kayu apu dengan berat basah tanaman 150 gram, 28% pada reaktor dengan tanaman kayu apu dengan berat basah tanaman 100 gram, 31% pada reaktor dengan tanaman eceng gondok dengan berat basah tanaman 150 gram, dan 25% pada reaktor dengan tanaman eceng gondok dengan berat basah tanaman 100 gram. Data hari ke-14 menunjukkan bahwa kenaikan angka penyisihan TSS juga tinggi, yaitu 53% pada reaktor dengan tanaman kayu apu dengan berat basah tanaman 150 gram, 48% pada reaktor dengan tanaman kayu apu dengan berat basah tanaman 100 gram, 46% pada reaktor dengan tanaman eceng gondok dengan berat basah tanaman 150 gram, dan 37% pada reaktor dengan tanaman eceng gondok dengan berat basah tanaman 100 gram. Data hari ke-21 menunjukkan bahwa kenaikan angka penyisihan TSS sangat sedikit bahkan ada yang mengalami penurunan, yaitu 65% pada reaktor dengan tanaman kayu apu dengan berat basah tanaman 150 gram, 61% pada reaktor dengan tanaman kayu apu dengan berat basah tanaman 100 gram, 45% pada reaktor

dengan tanaman eceng gondok dengan berat basah tanaman 150 gram, dan 39% pada reaktor dengan tanaman eceng gondok dengan berat basah tanaman 100 gram. Penurunan angka penyisihan ini disebabkan karena adanya beberapa daun yang mati sehingga tenggelam ke dalam air dan membuat air dalam reaktor menjadi kotor. Data hari ke 28 menunjukkan bahwa terjadi kenaikan angka penyisihan TSS walaupun sangat sedikit, yaitu 66% pada reaktor dengan tanaman kayu apu dengan berat basah tanaman 150 gram, 63% pada reaktor dengan tanaman kayu apu dengan berat basah tanaman 100 gram, 46% pada reaktor dengan tanaman eceng gondok dengan berat basah tanaman 150 gram, dan 40% pada reaktor dengan tanaman eceng gondok dengan berat basah tanaman 100 gram.

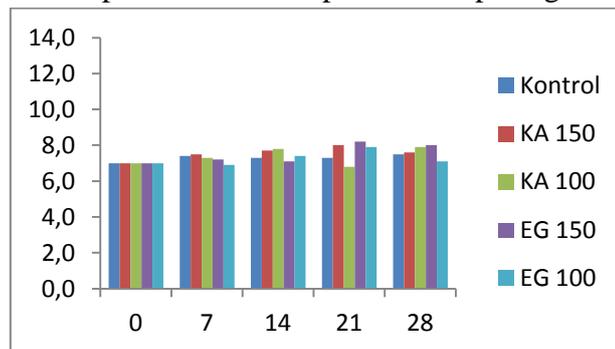
Data tersebut menunjukkan bahwa pada reaktor dengan tanaman uji eceng gondok mengalami kenaikan nilai TSS pada hari ke-21. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya daun dari eceng gondok yang layu dan mengalami pembusukan pada batangnya, sehingga dapat meningkatkan kadar TSS pada air dalam reaktor. Tanaman eceng gondok yang membusuk dapat dilihat pada gambar 4.14. Pengurangan nilai TSS disebabkan karena partikel dengan massa cukup berat yang terdapat dalam limbah akan mengendap pada bagian reaktor, sedangkan yang cukup ringan dan melayang akan menempel pada bagian akar (Fachrurrozi dkk, 2010). Proses fitoremediasi pada air sungai juga dapat terjadi karena proses rhizodegradasi, yaitu penguraian zat kontaminan oleh bakteri rhizosfer pada akar tanaman (Rahadian dkk, 2017).



Gambar 4.14 Pembusukan Tanaman Eceng Gondok

4.5.4 Analisis pH

Analisis terhadap pH dilakukan sebagai parameter pendukung dalam penelitian ini. Pengamatan terhadap pH dilakukan untuk mengetahui derajat keasaman air sungai pada tiap reaktor. Salah satu parameter yang mempengaruhi kualitas air yaitu pH. Pengujian pH pada penelitian ini menggunakan pH meter. Analisis pH dilakukan setiap pengambilan sampel yaitu pada hari ke-0, hari ke-7, hari ke-14, hari ke-21, dan hari ke-28. Hasil pengamatan pH pada tiap reaktor dapat dilihat pada tabel di lampiran b dan pada gambar berikut.

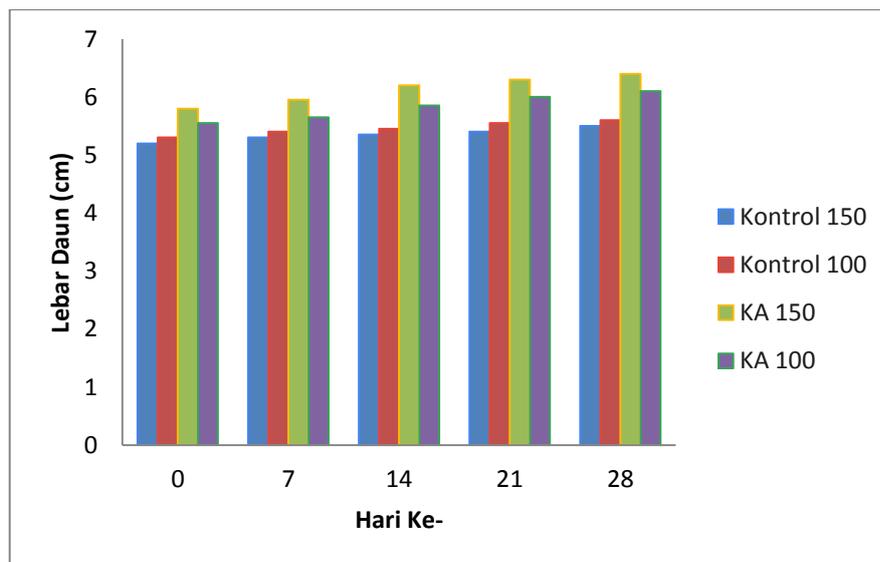


Gambar 4.15 Analisis pH

Berdasarkan hasil pengamatan dapat diketahui bahwa pH pada tiap-tiap reaktor berfluktuasi pada kisaran 6,9 – 8,2. Hal ini menunjukkan bahwa pada proses pengolahan air dapat mempengaruhi nilai pH air tersebut. Perubahan nilai pH dapat disebabkan karena adanya aktivitas penyerapan nutrisi oleh tumbuhan. Ketika akar tumbuhan menyerap ion positif, tumbuhan juga akan mengeluarkan ekskret berupa ion positif (H^+) ke lingkungan. Begitu juga ketika yang diserap berupa ion negatif, tumbuhan akan mengeluarkan ekskret berupa ion negatif (OH^-). Penyerapan nutrisi oleh tumbuhan berlangsung secara terus menerus, sehingga ketika ion positif yang diserap lebih banyak maka nilai pH akan meningkat, begitu juga sebaliknya (Krikke, 2008). Selain itu perubahan nilai pH juga dapat disebabkan karena adanya aktivitas mikroorganisme. Naiknya kadar pH dalam limbah dikarenakan adanya mikroorganisme yang membantu proses dekomposisi bahan organik pada limbah cair tahu (Jenny dan Guido, 2015).

4.5.5 Analisis Morfologi Tumbuhan

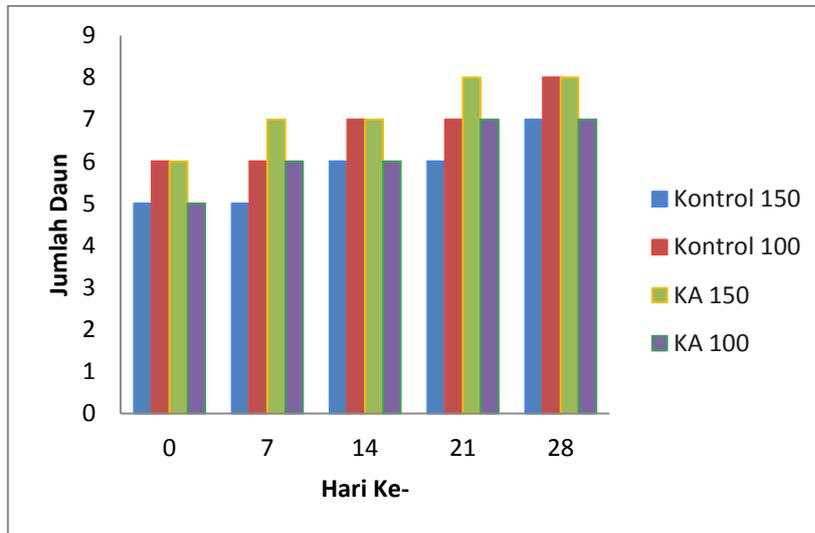
Data analisis morfologi tumbuhan diperoleh dengan cara mengamati karakteristik fisik tumbuhan, yaitu lebar daun dan jumlah daun pada tanaman kayu apu serta lebar daun dan tinggi tanaman pada tanaman eceng gondok. Hasil pengamatan karakteristik fisik pada tanaman kayu apu dan eceng gondok dapat dilihat pada tabel di lampiran b dan pada gambar berikut.



Gambar 4.16 Hasil Pengamatan Lebar Daun Tanaman Kayu Apu

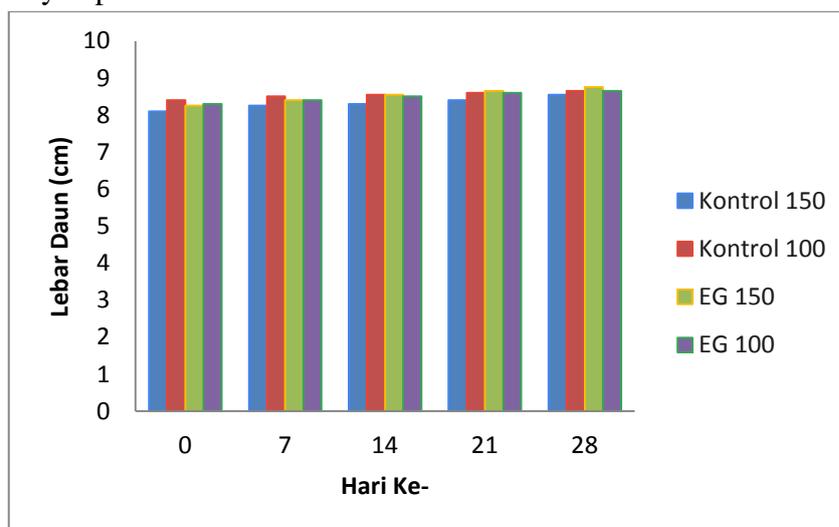
Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa lebar daun tanaman kayu apu pada setiap reaktor tetap mengalami pertambahan, sehingga membuktikan bahwa tanaman kayu apu dapat tetap tumbuh meskipun terkontaminasi air sungai. Pertambahan lebar daun kayu apu pada reaktor yang berisi air sungai juga cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan reaktor kontrol dengan selisih rata-rata 0,06 cm – 0,07 cm. Hal ini dapat terjadi karena adanya proses fitodegradasi pada saat uji fitoremediasi. Kontaminan diserap dan kemudian dimanfaatkan untuk proses metabolisme tumbuhan Kayu apu. Hasil metabolisme ini berupa sel-sel baru yang menyebabkan pertambahan lebar daun tanaman kayu apu. tumbuhan akan

menyerap bahan pencemar yang kemudian akan digunakan dalam produksi sel-sel pertumbuhan (Raissa,2017).



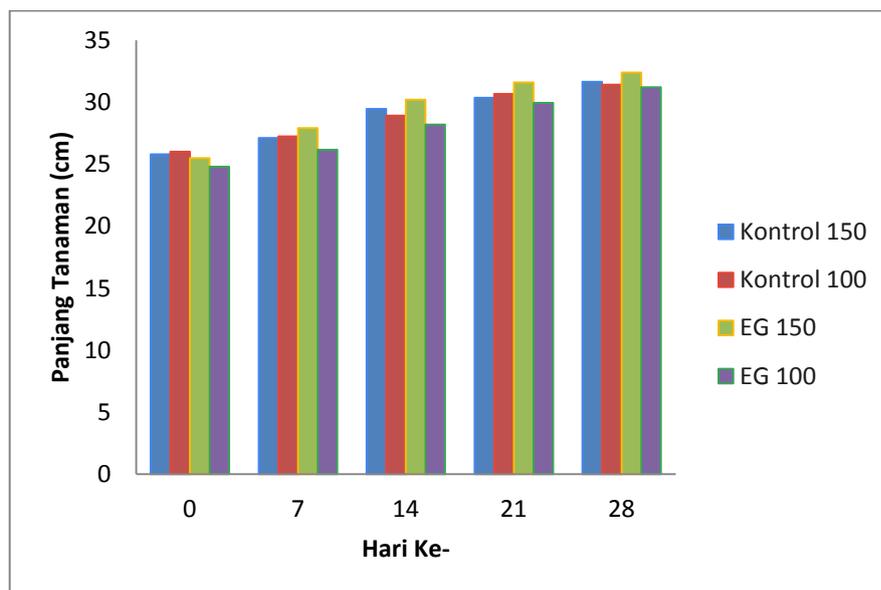
Gambar 4.17 Hasil Pengamatan Jumlah Daun Tanaman Kayu Apu

Berdasarkan data tersebut dapat dilihat bahwa jumlah daun tanaman kayu apu pada setiap reaktor cenderung mengalami pertambahan secara konstan. Adanya pertambahan ini menunjukkan bahwa tanaman kayu apu dapat tetap tumbuh meskipun terkontaminasi air sungai. Pertambahan jumlah daun yang terjadi secara konstan dapat terjadi karena pertambahan daun membutuhkan waktu yang relatif lama yaitu sekitar 1-2 minggu. Pada reaktor kontrol awal mula pertambahan jumlah daun kayu apu lebih lambat dibandingkan reaktor dengan air sungai. Hal ini dapat terjadi karena adanya kontaminan yang diserap pada reaktor dengan air sungai dan kemudian dimanfaatkan untuk proses metabolisme tumbuhan kayu apu. Hasil metabolisme ini berupa sel-sel baru yang menyebabkan pertambahan jumlah daun tanaman kayu apu.



Gambar 4.18 Hasil Pengamatan Lebar Daun Tanaman Eceng Gondok

Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa lebar daun tanaman eceng gondok pada setiap reaktor tetap mengalami pertambahan, sehingga juga membuktikan bahwa tanaman eceng gondok dapat tetap tumbuh meskipun terkontaminasi air sungai. Pertambahan lebar daun eceng gondok pada reaktor yang berisi air sungai pun cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan reaktor kontrol dengan selisih rata-rata 0,01 cm – 0,02 cm. Hal ini dapat terjadi karena adanya proses fitodegradasi pada saat uji fitoremediasi. Kontaminan diserap dan kemudian dimanfaatkan untuk proses metabolisme tumbuhan eceng gondok. Hasil metabolisme ini berupa sel-sel baru yang menyebabkan pertambahan lebar daun eceng gondok. Tumbuhan akan menyerap bahan pencemar yang kemudian akan digunakan dalam produksi sel-sel pertumbuhan (Raissa,2017).



Gambar 4.19 Hasil Pengamatan Panjang Tanaman Eceng Gondok

Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa panjang tanaman eceng gondok pada setiap reaktor juga mengalami pertambahan, hal ini pun membuktikan bahwa tanaman eceng gondok dapat tetap tumbuh meskipun terkontaminasi air sungai. Pertambahan tinggi tanaman eceng gondok pada reaktor yang berisi air sungai pun cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan reaktor kontrol dengan selisih rata-rata 0,02 cm – 0,03 cm.

Hasil pengamatan pada morfologi tumbuhan juga menunjukkan bahwa ada perubahan pada kondisi daun kayu apu dan eceng gondok. Beberapa bagian daun tanaman kayu apu ada yang berubah warnanya menjadi kuning dan beberapa daun eceng gondok menjadi layu dan batangnya membusuk. Tetapi pada kedua tanaman tersebut tetap tumbuh tunas baru sehingga tidak mengalami kematian. Menurut Audiyanti dkk (2019) perubahan pada bagian tumbuhan dan beberapa tumbuhan muncul tunas baru diduga disebabkan oleh berkurangnya unsur hara yang terkandung dalam air dan adanya zat toksik dalam air tersebut. Perubahan warna pada daun menjadi kekuningan dapat disebabkan oleh pencemaran bahan organik, sedangkan tumbuhnya akar tunas yang baru diduga sebagai cara tumbuhan untuk bertahan hidup (Hermawati dan Solichatun, 2005).

4.5.6 Uji Statistik

Uji statistik bertujuan untuk mengetahui pengaruh antar masing-masing variabel dalam penelitian ini. Uji signifikansi dalam penelitian ini menggunakan Anova dengan software Minitab 19. Hasil uji statistik Anova akan menunjukkan variabel manakah yang berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi penyisihan BOD, COD dan TSS pada air sungai.

Uji statistik ini menggunakan uji anova dengan tingkat kepercayaan sebesar 95%. Pengaruh yang signifikan dalam uji statistik ditunjukkan dengan P-value yang lebih kecil dari 5% (P-value <0,05). Apabila hasil uji pada penelitian ini menunjukkan nilai P-value <0.05 maka variabel tersebut berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi penyisihan BOD, COD, dan TSS pada air sungai. Sebaliknya apabila hasil uji pada penelitian ini menunjukkan nilai P-value >0.05 maka variabel tersebut tidak berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi penyisihan BOD, COD, dan TSS pada air sungai. Hasil uji Anova untuk parameter COD, BOD dan TSS dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.6 Hasil Uji Anova Terhadap Efisiensi Penyisihan COD, BOD, TSS

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Jenis Tanaman	1	602,083	602,083	17,33	0,002
Berat Basah	1	70,083	70,083	2,02	0,189
Error	9	312,750	34,750		
Total	11	984,917			

Berdasarkan hasil uji statistik tersebut dapat diketahui bahwa pengaruh jenis tanaman memiliki nilai P-value <5% pada setiap hasil uji, yang berarti variabel ini berpengaruh secara signifikan terhadap penyisihan BOD, COD, dan TSS. Sedangkan untuk berat basah tanaman memiliki nilai P-value >5% yang berarti tidak berpengaruh secara signifikan terhadap penyisihan BOD, COD, dan TSS.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Tanaman kayu apu dan eceng gondok memiliki efektivitas yang baik dalam melakukan proses fitoremediasi air sungai yang tercemar limbah industri tahu. Hal ini dapat dibuktikan bahwa tanaman kayu apu mampu melakukan penyisihan pada COD yaitu hingga 62%, BOD hingga 72%, dan TSS hingga 66%. Sementara tanaman eceng gondok mampu melakukan penyisihan pada COD yaitu hingga 56%, BOD hingga 58%, dan TSS hingga 46%. Hasil Uji statistik juga menunjukkan bahwa pada variasi jenis tanaman P-value <5%, sehingga jenis tanaman yang digunakan berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi penyisihan BOD, COD, dan TSS. Maka dari itu dapat diketahui bahwa tanaman kayu apu lebih baik dalam melakukan proses fitoremediasi dibandingkan dengan tanaman eceng gondok.
2. Berat basah tanaman yang digunakan berpengaruh terhadap kemampuan penyisihan polutan dalam air, walaupun pada uji statistik berat basah tanaman tidak berpengaruh secara signifikan. Pada tanaman kayu apu dengan berat basah 150 gram mampu melakukan penyisihan COD hingga 62%, BOD hingga 72%, dan TSS hingga 66%. Sementara tanaman kayu apu dengan berat basah 100 gram hanya mampu melakukan penyisihan COD sebesar 56%, BOD sebesar 69%, dan TSS sebesar 63%. Begitu pula pada tanaman eceng gondok, pada berat basah 150 gram tanaman eceng gondok mampu melakukan penyisihan pada COD yaitu hingga 56%, BOD hingga 58%, dan TSS hingga 46%. Sementara tanaman eceng gondok dengan berat basah 100 gram hanya mampu melakukan penyisihan COD sebesar 50%, BOD sebesar 53%, dan TSS sebesar 40%.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan pengujian terhadap bakteri yang terdapat dalam air.
2. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan dengan menggunakan jenis tanaman yang lain guna dapat dijadikan perbandingan efektivitas penyisihannya.
3. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan dengan variasi berat basah tanaman dengan selisih yang lebih besar daripada 50 gram. karena pada penelitian ini, dengan menggunakan variasi berat basah dengan selisih 50 gram menunjukkan perbedaan hasil penyisihan yang tidak terlalu besar.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



DAFTAR PUSTAKA



DAFTAR PUSTAKA

- Adack, Jessy. 2013. Dampak Pencemaran Limbah Pabrik Tahu Terhadap Lingkungan Hidup. *Lex Administratum*. 1(3): 78-87
- Audiyanti, Septy. Zahidah Hasan. Herman Hamdani. Heti Herawati. 2019. Efektivitas Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Kayu Apu (*Pistia Stratiotes*) sebagai Agen Fitoremediasi Limbah Sungai Citarum. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*. 10(1): 111-116
- Diara, I Wayan. 2017. Pertumbuhan Kayu Apu (*Pistia stratiotes L.*) dan Hasil Padi pada Sistem Pertanian Organik dan Konvensional. *Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Udayana Denpasar*.
- Djo, Y.H.W., D.A. Suastuti., I.E. Suprihatin dan W.D. Sulihingtyas. 2017. Fitoremediasi Menggunakan Tumbuhan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Untuk Menurunkan COD dan Kandungan Cu dan Cr Limbah Cair Laboratorium Analitik Universitas Udayana. *Cakra Kimia*. 5(2): 137-144
- Disyamto, Dwi Azrul, dkk. 2014. Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Tanaman *Thypha Latifolia* dengan Proses Fitoremediasi. *JOM FTEKNIK*. 1(2): 1-11
- Fachrurozi, M., Utami, L.B., dan Suryani, D. 2010. Pengaruh Variasi Biomassa *Pistia stratiotes L.* Terhadap Penurunan Kadar BOD, COD, dan TSS Limbah Cair Tahu di Dusun Klero Sleman Yogyakarta. *Kesmas*. 4(1): 12-13
- Fitriyah, Aidatul. 2020. Analisis Penentuan Status Mutu Air Dengan Metode Indeks Pencemar Di Sungai Jabung, Kecamatan Paiton, Kabupaten Probolinggo. Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains Dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya
- Fleming, K. 2004. Aquatic Life Toxicity Testing Methods Manual. Washington DC: Bureau of Watershed Management.
- Gunawan Pasaribu. 2007. Pengolahan Eceng Gondok Sebagai Bahan Baku Kertas Seni. Balai Litbang Kehutanan Sumatera. Gondok Padang.
- Hanafiah, Marlia M., Nan Hamiza Syazira Megat Mohamad. Nur Izzah Hamna Abd. Aziz. 2018. *Salvinia molesta* dan *Pistia stratiotes* sebagai Agen Fitoremediasi dalam Rawatan Air Sisa Kumbahan. *Sains Malaysiana*. 47(8): 1625–1634.
- Hermawati, E, Wiryanto dan Solichatun. 2005. Fitoremediasi Limbah Detergen Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes L.*) dan Genjer (*Limnocharis flava L.*). *Jurnal BioSMART*. 7(2): 115-124
- Hidayati, Nuril. 2005. Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Hiperakumulator. *Journal IPB*. 12(1): 35-40.
- Irhamni. 2017. Kajian Akumulator Beberapa Tumbuhan Air Dalam Menyerap Logam Berat Secara Fitoremediasi. *Jurnal Serambi Engineering*. 1(2): 75-84.
- Jenny C dan Guido. 2015. Fitoremediasi logam timbal Pb menggunakan tanaman melati air (*Echinodorus palaefolius*) pada limbah industri peleburan tembaga dan kuningan. *Teknik Lingkungan*. 3: 733-744
- Kesuma, Darajatin Diwani. M,Widyastuti. 2013. Pengaruh Limbah Industri Tahu terhadap Kualitas Air Sungai di Kabupaten Klaten. *Jurnal Bumi Indonesia*. 2(1): 115-124.
- Krikke J, 2008. Recycling e-waste: The Sky is the limit. *IT Professional*. 10(1): 51-55.
- Kurniawidjaja, L Meily. Lestari, Fatma. Tejamaya, Mila. Ramdhan, Doni Hikmat. 2021. Konsep Dasar Toksikologi Industri. Depok: Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia.
- Mulia, M.R. 2005. Kesehatan Lingkungan. Jakarta: Graha Ilmu.

- Ningsih, A, D. 2017. Uji Penurunan Kandungan BOD,COD, dan Warna Pada Limbah Cair Pewarnaan Batik menggunakan Scirpus grossus dan Iris pseudacorus dengan Sistem Pemaparan Intermittent. Teknik Lingkungan ITS, Surabaya
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Purnamawati. 2015. Penurunan Kadar Rhodamin B Dalam Air Limbah Dengan Biofiltrasi Sistem Tanaman. Bali: Pascasarjana Universitas Udayana.
- Rahadian, Rahan. Endro Sutrisno. Sri Sumiyati. 2017. Efisiensi Penurunan COD dan TSS dengan Fitoremediasi menggunakan Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes L.*) Studi Kasus: Limbah Laundry. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 6(3): 1-8
- Raissa, Dea Ghiovani. 2017. Fitoremediasi Air yang Tercemar Limbah Laundry dengan Menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*). Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Raza, Ali. Madiha Habib. Shiva Najafi Kakavand. Zainab Zahid. Noreen Zahra. Rahat Sharif. Mirza Hasanuzzaman. 2020. Phytoremediation of Cadmium: Physiological, Biochemical, and Molecular Mechanisms. *Biology*. 9(177): 1-46.
- Sayow, Febrian. Bobby Vian Jhon Polii. Wenny Tilaar. Kojoh Deanne Augustine. 2020. Analisis Kandungan Limbah Industri Tahu dan Tempe Rahayu di Kelurahan Uner Kecamatan Kawangkoan Kabupaten Minahasa. *Jurnal Nasional Sinta 5*. 16(2):245-252
- Sungkowo, Toto Heri. Shinta Elystia. Ivnaini Andesgur. 2015. Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu menggunakan Tanaman Typha Latifolia dan Eceng Gondok dengan Metode Fitoremediasi. *JOM FTEKNIK*. 2(2): 1-8.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2012. *Ecological Effects Test Guidelines: Background and Special Considerations-Tests with Terrestrial and Aquatic Plants, Cyanobacteria, and Terrestrial Soil-Core Microcosms*. Office of Chemical Safety and Pollution Prevention, Washington, DC. EPA 712-C-013
- U.S. Environmental Protection Agency. 2012. *Ecological Effects Test Guidelines: Aquatic Plant Toxicity Test Using Lemna spp*. Office of Chemical Safety and Pollution Prevention, Washington, DC. EPA 712-C-008
- Wardhana, Wisnu Arya. 2001. Dampak Pencemaran Lingkungan. Yogyakarta
- Widya, Charisma. Badrus Zaman. Syafrudin. 2015. Pengaruh Waktu Tinggal dan Jumlah Kayu Apu (*Pistia stratiotes L.*) terhadap Penurunan Konsentrasi BOD, COD dan Warna. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 4(2): 1-8.

LAMPIRAN A

PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM

1. Prosedur Analisis COD (Refluks Tertutup dengan Titrimetri)

A) Peralatan:

1. COD reaktor
2. Oven
3. *Digestion vessel*
4. Labu ukur
5. Erlenmeyer COD
6. Pipet volumetrik
7. *Beaker glass*
8. Timbangan analitik ketelitian 0,1 mg.
9. *Magnetic stirrer*

B) Bahan:

1. Aquades
2. Digestion solution (kisaran konsentrasi tinggi)
Tambahkan 10,216 gram $K_2Cr_2O_7$ yang telah dikeringkan pada suhu $150^\circ C$ selama 2 jam ke dalam 500 ml aquadest. Tambahkan 167 ml H_2SO_4 pekat dan 33,3 gram $HgSO_4$. Larutkan, dan dinginkan pada suhu ruang dan encerkan 1000 ml.
3. Larutan pereaksi asam sulfat
Larutkan 10,12 gram serbuk atau kristal Ag_2SO_4 ke dalam 1000 ml H_2SO_4 pekat. Aduk hingga larut.
Catatan: proses pelarutan Ag_2SO_4 dalam asam sulfat dibutuhkan waktu pengadukan selama 2 hari, sehingga digunakan magnetic stirrer untuk mempercepat melarutnya pereaksi.
4. Larutan indikator ferroin
Larutkan 1,485 g 1,10- phenanthrolin monohidrat dan 0,695 g $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ dalam air bebas organik dan diencerkan sampai 100 mL, kemudian homogenkan. Larutan indikator ini dapat menggunakan larutan siap pakai.
5. Larutan baku Ferro Ammonium Sulfat (FAS) 0,05 N
Timbang 19,6 g $Fe(NH_4)_2 \cdot 6H_2O$ kemudian larutkan ke dalam labu ukur 1000 mL yang berisi 300 mL aquades, tambahkan 20 mL H_2SO_4 pekat sambil didinginkan dan tepatkan sampai tanda tera, kemudian homogenkan

C) Persiapan Sampel Uji

1. Homogenkan sampel
2. Cuci *digestion vessel* dan tutupnya dengan H₂SO₄ 20% sebelum digunakan

D) Persiapan pengujian

Lakukan standarisasi larutan FAS dengan *digestion solution* setiap melakukan pengujian dengan cara sebagai berikut:

1. Pipet 0,5 mL *digestion solution* ke dalam erlenmeyer, tambahkan 10 mL aquades dan dinginkan pada suhu ruang
2. Tambahkan 1-2 tetes indikator ferroin dan titrasi dengan larutan FAS
3. Hitung normalitas larutan dengan rumus berikut,

$$NFAS = (V_k \times N_k) / VFAS$$

Keterangan:

NFAS adalah normalitas larutan FAS (N)

V_k adalah volume *digestion solution* (mL)

N_k adalah normalitas *digestion solution* (N)

VFAS adalah volume larutan FAS (mL)

E) Proses

1. Pipet volume sampel uji atau larutan kerja, tambahkan *digestion solution* dan tambahkan larutan pereaksi asam sulfat yang memadai ke dalam tabung atau ampul, dengan pembagian volume sebagai berikut.

Digestion Vessel	Contoh uji (ml)	Digestion solution (ml)	Larutan pereaksi asam sulfat (ml)	Total volume (ml)
Tabung kultur 16 x 100 mm	2,5 ml	1,5 ml	3,5 ml	7,5 ml
Standar Ampul 10 ml	2,5 ml	1,5 ml	3,5 ml	7,5 ml

2. Tutup tabung dan kocok perlahan secara homogen
3. Letakkan tabung pada pemanas yang telah dipanaskan pada suhu 150°C, lakukan refluks selama 2 jam
4. Dinginkan contoh uji dan larutan kerja yang sudah di refluks sampai suhu ruang.
5. Pindahkan secara kuantitatif contoh uji ke dalam Erlenmeyer untuk titrasi
6. Tambahkan indikator ferroin 1-2 tetes dan dititrasi dengan larutan baku FAS sampai terjadi perubahan warna yang jelas dari hijau-biru menjadi coklat-kemerahan, catat larutan baku FAS yang digunakan
7. Langkah 1-6 dilakukan juga pada aquades sebagai blanko

8. Lakukan perhitungan dengan rumus:

$$\text{COD (mg O}_2\text{/L)} = [(V_b - V_c) \times \text{NFAS} \times 8000 / V_s]$$

Dimana:

V_b = volume larutan FAS yang dibutuhkan untuk blanko (mL)

V_c = volume larutan FAS yang dibutuhkan untuk contoh uji (mL)

V_s = volume contoh uji (mL)

NFAS = normalitas larutan FAS (N)

8000 adalah berat mili ekuivalen oksigen x 1000

PEMBUATAN REAGEN UNTUK COD

I. Digest Solution (konsentrasi tinggi) → 50 ml

Bahan:

- 0,5108 gram $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
- 8,35 ml H_2SO_4 pekat
- 1,665 gram HgSO_4

Alat:

- Beaker glass 50 ml (3 buah)
- Beaker glass 100 ml
- Labu ukur 100 ml

Langkah kerja:

- Ditimbang 0,5108 gram $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, dikeringkan dalam oven pada suhu 150°C selama 2 jam
- Ditambahkan 25 ml aquadest
- Ditambahkan 8,35 ml H_2SO_4 pekat dan 1,665 gram HgSO_4
- Dilarutkan dan didinginkan pada suhu ruang, diencerkan sampai 50 ml

II. Larutan Pereaksi Asam Sulfat → 100 ml

Bahan:

- 1,12 gram serbuk/kristal Ag_2SO_4
- 100 ml H_2SO_4 pekat

Alat:

- Gelas beaker

- b) Gelas ukur
- c) Magnetic stirrer

Langkah kerja:

- a) Ditimbang 2,53 gram Ag_2SO_4
- b) Dilarutkan dalam 250 ml H_2SO_4
- c) Diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 1 jam

III. Larutan indikator ferroin 5 mL

Bahan:

- a) Phenanthrolin monohidrat 0,07 gram
- b) $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,03 gram
- c) Aquadest 5 mL

Alat:

- a) Labu ukur 5 ml
- b) Timbangan analitik
- c) Magnetic stirrer

Langkah kerja:

- a) Larutkan phenanthrolin monohidrat dan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dalam aquades dan diencerkan sampai 5 mL. Kemudian homogenkan

IV. Larutan baku FAS 0,05 N 500 mL

Bahan:

- a) FAS 9,8 gram
- b) H_2SO_4 pekat 10 mL
- c) Aquadest 500 mL

Alat:

- a) Labu ukur 500 mL
- b) Timbangan analitik
- c) Magnetic stirrer

Langkah kerja:

- a) Timbang FAS
- b) Larutkan ke dalam 150 mL aquades pada labu ukur 1000 mL

- c) Tambahkan H₂SO₄ pekat sambil didinginkan
- d) Tepatkan sampai tanda tera kemudian dihomogenkan

2. Prosedur Analisis BOD (Iodometri)

A) Peralatan:

1. Botol winkler 150 mL
2. Corong
3. Erlenmeyer
4. Labu ukur
5. Gelas beaker
6. Gelas ukur
7. Buret
8. Inkubator BOD

B) Bahan:

1. Sampel air
2. Mangan sulfat
3. Aquades
4. Amilum/kanji
5. Alkali iodida-azida
6. H₂SO₄ pekat
7. Natrium Tiosulfat

C) Persiapan Sampel:

1. Tentukan derajat pengenceran, sesuai tabel yang ada.
2. Lakukan pengenceran sampel dengan aquades menggunakan labu ukur sesuai dengan derajat pengenceran. Kemudian homogenkan.
3. Masukkan sampel ke dalam 2 botol winkler hingga meluap. 1 botol untuk pengukuran DO₀ dan botol lainnya untuk DO₅. Tutup rapat botol dan jangan sampai ada gelembung di dalam botol
4. Masukkan aquades ke dalam 2 botol winkler hingga meluap seperti prosedur kerja nomor (5). Larutan ini digunakan sebagai blanko.
5. Larutan yang digunakan untuk pengukuran DO₅ disimpan dalam inkubator selama 5 hari dalam suhu 20°C dan kondisi gelap.

D) Prosedur Kerja:

1. Siapkan larutan yang akan dianalisis baik sampel maupun blanko. Sesuaikan suhu dengan suhu ruang.
2. Tambahkan mangan sulfat 1 mL.
3. Tambahkan alkali iodida-azida 1 mL
4. Tutup botol winkler, kemudian kocok dan homogenkan perlahan.
5. Larutan diendapkan selama 5-10 menit.
6. Isi buret menggunakan larutan thio sulfat. Bilas buret dengan aquades terlebih dahulu. Kemudian bilas menggunakan larutan thiosulfat sebanyak 2-3 kali. Jangan sampai ada udara pada ujung buret.
7. Mengurangi volume larutan pada botol winkler..
8. Tambahkan 1 mL H₂SO₄ pekat. Kemudian kocok hingga homogen.
9. Tuang larutan ke dalam erlenmeyer, campurkan dengan larutan yang dikurangi pada prosedur nomor 7.
10. Titrasi larutan menggunakan natrium thiosulfat hingga terjadi perubahan warna menjadi lebih terang.
11. Tambahkan 1 mL amilum sebagai indikator warna.
12. Titrasi kembali hingga warna berubah menjadi bening.
13. Hitung nilai BOD sampel dengan rumus berikut:

$$BOD_5^{20} = \frac{(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)(1 - P)}{P}$$

Dimana:

BOD_5^{20} = sebagai mg O₂/L

X_0 = DO sampel pada saat t = 0 hari (mg O₂/L)

X_5 = DO sampel pada saat t = 5 hari (mg O₂/L)

B_0 = DO blanko pada saat t = 0 hari (mg O₂/L)

B_5 = DO blanko pada saat t = 5 hari (mg O₂/L)

3. Prosedur Analisis TSS (Gravimetri)

A) Peralatan:

1. Desikator
2. Oven dengan suhu 103°C - 105°C
3. Timbangan analitik dengan keterbacaan 0,1 mg
4. Pipet volumetrik atau gelas ukur
5. Cawan petri

6. Sistem vakum

7. Pinset

B) Bahan:

1. Sampel air

2. Kertas saring dengan ukuran porositas 0,7 – 1,5 µm

3. Aquades

C) Prosedur Kerja:

1. Lakukan penyaringan dengan peralatan penyaring. Basahi kertas saring dengan sedikit aquades

2. Aduk sampel hingga homogen, kemudian ambil secara kuantitatif dengan volume tertentu dan masukkan ke dalam media penyaring. Nyalakan sistem vakum. Jika proses penyaringan membutuhkan waktu lebih dari 10 menit, maka kurangi volume contoh uji. Volume contoh uji yang diambil harus menghasilkan berat residu kering antara 2,5 mg sampai 200 mg.

3. Bilas kertas saring 3 kali dengan masing-masing 10 ml air bebas mineral, lanjutkan penyaringan dengan sistem vakum hingga tiris. Contoh uji dengan padatan terlarut yang tinggi memerlukan pencucian tambahan.

4. Pindahkan kertas saring secara hati-hati dari peralatan penyaring ke media penimbang (cawan petri). Jika menggunakan cawan Gooch, pindahkan cawan dari rangkaian alatnya. Gunakan penjepit (pinset) untuk memindahkan media penyaring dari peralatan.

5. Keringkan media penimbang atau cawan Gooch yang berisi kertas saring dalam oven minimal selama 1 jam pada kisaran suhu 103 °C sampai dengan 105 °C, dinginkan dalam desikator, dan timbang. Selama pengerjaan pengeringan, oven tidak boleh dibuka tutup.

6. Ulangi langkah (5) sampai diperoleh berat (W) tetap.

7. Hitung TSS sampel dengan rumus berikut:

$$TSS \left(\frac{mg}{l} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V}$$

Dimana:

W0 = berat awal (mg)

W1 = berat akhir (mg)

V = volume sampel (L)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN B
DATA HASIL PENELITIAN

Tabel LB. 1 Hasil Penyisihan COD

Sampel	COD Awal (mg/L)	Hari			
		7		14	
		COD (mg/L)	Penyisihan (%)	COD (mg/L)	Penyisihan (%)
Kontrol	127	120	5%	112	12%
KA 150		72	43%	64	50%
KA 100		80	37%	72	43%
EG 150		80	37%	64	50%
EG 100		88	31%	72	43%

Sampel	COD Awal (mg/L)	Hari			
		21		28	
		COD (mg/L)	Penyisihan (%)	COD (mg/L)	Penyisihan (%)
Kontrol	127	104	18%	104	18%
KA 150		56	56%	48	62%
KA 100		64	50%	56	56%
EG 150		56	56%	56	56%
EG 100		72	43%	64	50%

Tabel LB. 2 Hasil Penyisihan BOD

Sampel	BOD Awal (mg/L)	Hari			
		7		14	
		BOD (mg/L)	Penyisihan (%)	BOD (mg/L)	Penyisihan (%)
Kontrol	74	68,3	8%	64,2	13%
KA 150		38,6	48%	26,8	64%
KA 100		42,2	43%	29,8	60%
EG 150		40,0	46%	33,5	55%
EG 100		46,5	37%	38,0	49%

Sampel	BOD Awal (mg/L)	Hari			
		21		28	
		BOD (mg/L)	Penyisihan (%)	BOD (mg/L)	Penyisihan (%)
Kontrol	74	63,0	15%	62,3	16%
KA 150		23,1	69%	20,8	72%
KA 100		27,5	63%	23,0	69%
EG 150		31,0	58%	31,0	58%
EG 100		35,8	52%	35,0	53%

Tabel LB. 3 Hasil Penyisihan TSS

Sampel	TSS Awal (mg/L)	Hari			
		7		14	
		TSS (mg/L)	Penyisihan (%)	TSS (mg/L)	Penyisihan (%)
Kontrol	434	410,00	6	385,00	11
KA 150		287,00	34	205,50	53
KA 100		312,33	28	225,00	48
EG 150		300,67	31	232,83	46
EG 100		324,00	25	273,33	37

Sampel	TSS Awal (mg/L)	Hari			
		21		28	
		TSS (mg/L)	Penyisihan (%)	TSS (mg/L)	Penyisihan (%)
Kontrol	434	376,67	13	364,00	16
KA 150		152,17	65	148,83	66
KA 100		167,50	61	159,83	63
EG 150		238,00	45	235,50	46
EG 100		264,00	39	259,67	40

Tabel LB. 4 Analisis pH

Sampel	Hari				
	0	7	14	21	28
Kontrol	7,0	7,4	7,3	7,3	7,5
KA 150	7,0	7,5	7,7	8,0	7,6
KA 100	7,0	7,3	7,8	6,8	7,9
EG 150	7,0	7,2	7,1	8,2	8,0
EG 100	7,0	6,9	7,4	7,9	7,1

Tabel LB. 5 Hasil Pengamatan Lebar Daun Tanaman Kayu Apu

Sampel	Hari				
	0	7	14	21	28
Kontrol 150	5,2	5,3	5,35	5,4	5,5
Kontrol 100	5,3	5,4	5,45	5,55	5,6
KA 150	5,8	5,95	6,2	6,3	6,4
KA 100	5,55	5,65	5,85	6	6,1

Tabel LB. 6 Hasil Pengamatan Jumlah Daun Tanaman Kayu Apu

Sampel	Hari				
	0	7	14	21	28
Kontrol 150	5	5	6	6	7
Kontrol 100	6	6	7	7	8
KA 150	6	7	7	8	8
KA 100	5	6	6	7	7

Tabel LB. 7 Hasil Pengamatan Lebar Daun Tanaman Eceng Gondok

Sampel	Hari				
	0	7	14	21	28
Kontrol 150	8,1	8,25	8,3	8,4	8,55
Kontrol 100	8,4	8,5	8,55	8,6	8,65
EG 150	8,25	8,4	8,55	8,65	8,75
EG 100	8,3	8,4	8,5	8,6	8,65

Tabel LB. 8 Hasil Pengamatan Panjang Tanaman Eceng Gondok

Sampel	Hari				
	0	7	14	21	28
Kontrol 150	25,8	27,1	29,45	30,35	31,65
Kontrol 100	26	27,25	28,9	30,65	31,4
EG 150	25,5	27,9	30,2	31,6	32,4
EG 100	24,8	26,15	28,2	29,95	31,2

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN C
DOKUMENTASI PENELITIAN



Uji Parameter COD



Uji Parameter BOD



Uji Parameter TSS



Uji pH dan Morfologi Tumbuhan



Reaktor Fitoremediasi



Sampling di Sungai Jabung



Fitoremediasi Hari ke-7





Fitoremediasi Hari ke-14



Fitoremediasi Hari ke-21



Fitoremediasi Hari ke-28

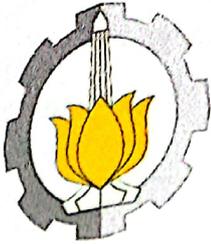
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Aida Faiqotun Najah dilahirkan di Kabupaten Probolinggo Jawa Timur, pada tanggal 19 Januari 1999. Penulis pernah menempuh Pendidikan formal di TK Al-Irsyad Al-Islamiyyah, SD AL-Irsyad AL-Islamiyyah, SMP Bhakti Pertiwi, dan SMA Tunas Luhur. Kemudian pada tahun 2018 penulis melanjutkan Pendidikan tinggi di Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Selama menempuh Pendidikan di ITS, penulis pernah aktif sebagai pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) pada tahun 2019-2020, sebagai staff Bidang Seni Divisi Seni dan Olahraga. Di periode tahun sebelumnya yaitu 2018-2019, penulis juga aktif sebagai pengurus Ikatan Mahasiswa Teknik Lingkungan Indonesia (IMTLI) sebagai bendahara Divisi Pengabdian Masyarakat. Penulis pernah mengikuti beberapa pelatihan dan seminar di tingkat jurusan, institut, maupun nasional. Selama menempuh Pendidikan tinggi penulis juga beberapa kali mengikuti kepanitiaan, beberapa diantaranya yaitu sebagai staff keamanan dan perizinan pada *environation* 2019, staff dekorasi pada acara pasar malam minggu ITS 2019, *organizing committee* pada sambut kenal akrab mahasiswa baru 2019, staff kesekretariatan pada LKMM-TD 2020, dan staff ahli keamanan dan perizinan *environation* 2020. Pada tahun 2021 penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT Paiton Operation and Maintenance Indonesia (POMI) pada departemen Health Safety Environment & Compliance. Bagi pembaca yang memiliki kritik dan saran maka dapat menghubungi penulis melalui e-mail faiqotunajah@gmail.com.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



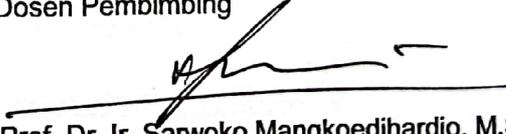
KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama
NRP
Judul

: Aida Faiqotun Najah
: 03211840000046
: *Fitoremediasi oleh Tanaman Kayu Apu (Pistia stratiotes) dan Eceng Gondok (Eichhornia crassipes) pada Air Sungai Tercemar Limbah Cair IndustriTahu*

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1	17/01/2022	Konsultasi mengenai jenis tanaman dan variabel yang akan digunakan.	
2	18/01/2022	Konsultasi mengenai jenis tanaman dan variabel yang akan digunakan.	
3	22/01/2022	Asistensi proposal tugas akhir.	
4	18/02/2022	Konsultasi penambahan jenis tanaman atas saran dosen pengarah.	
5	19/02/2022	Asistensi revisi proposal tugas akhir.	
6	28/02/2022	Konsultasi penggantian variasi berat basah.	
7	14/04/2022	Konsultasi mengenai jumlah tanaman pada RFT.	
8	09/05/2022	Konsultasi mengenai rentang waktu uji fitoremediasi.	
9	14/05/2022	Asistensi seminar kemajuan tugas akhir.	
10	18/05/2022	Konsultasi pengulangan RFT atas saran dosen pengarah.	
11	01/06/2022	Konsultasi pengubahan berat basah tanaman yang digunakan.	
12	26/06/2022	Asistensi laporan tugas akhir.	

Surabaya, 21 Juli 2021
Dosen Pembimbing


Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M.Sc.Es



UTA-S1-TL-02 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Ujian Tugas Akhir

Nilai TOEFL 483

Hari, tanggal : Selasa, 12 Juli 2022

Pukul : 10.30 - 11.45 WIB

Lokasi : TL-105

Judul : Fitoremediasi Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) dan Eceng gondok (*Eichornia crassipes*) pada Air Sungai Tercemar Limbah Cair Industri Tahu

Nama : Aida Faiqotun Najah

Tanda Tangan

NRP. : 03211840000046

Topik : Penelitian

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir
	

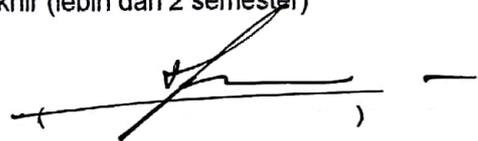
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Lulus Ujian Tugas Akhir
2. harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M.Sc.Es.





UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
Formullir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Selasa, 12 Juli 2022
Pukul : 10.30 - 11.45 WIB
Lokasi : TL-105
Judul : Fitoremediasi Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) dan Eceng gondok (*Elchornia crassipes*) pada Air Sungai Tercemar Limbah Cair Industri Tahu
Nama : Aida Faiqotun Najah
NRP. : 0321184000046
Topik : Penelitian

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
31	What catatan dlm. draft laporan TA Gbr. 4.15 → tren tidak sama → penyebabnya apa? Perbaiki penyusunan tdk 2 koma dlm penulisan angka
35	Sama yg dibenarkan harus berdasarakan pada hasil penelitian yg perlu disesuaikan # Gampang lagi pertumbuhannya harus diberi contoh per- bandingan dan diberi penjelasan

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji : Bieby Voijant Tangahu, ST, MT, Ph.D.

Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M.Sc.Ed.

(*[Signature]*)
[Signature]



UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Selasa, 12 Juli 2022
Pukul : 10.30 - 11.45 WIB
Lokasi : TL-105
Judul : Fitoremediasi Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) dan Eceng gondok (*Eichornia crassipes*) pada Air Sungai Tercemar Limbah Cair Industri Tahu
Nama : Aida Faiqotun Najah
NRP. : 0321184000046
Topik : Penelitian

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1.	Judul direvisi - ✓
2.	Biodata belum ada.
3.	Salah ketik masih ada.
4.	Revisi penulisan → lihat di buku Laporan TA.
5.	Data → dimasukkan ke Lampiran
6.	Lampiran belum diringkas dalam bab.
7.	Anova → semua parameter.
8.	Kata removed diganti bls ludaneringa.
9.	F _{0.05} - f _{0.05} saat penelitian.
10.	Harus pembaharan secara menyeluruh.

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana

Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji

Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji Harmin Sulistiyaning Titah, ST, MT, Ph.D.

Dosen Pembimbing Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M.Sc.Es.



UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Selasa, 12 Juli 2022
Pukul : 10.30 - 11.45 WIB
Lokasi : TL-105
Judul : Fitoremediasi Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) dan Eceng gondok (*Eichornia crassipes*) pada Air Sungai Tercemar Limbah Cair Industri Tahu
Nama : Aida Faiqotun Najah
NRP. : 03211840000046
Topik : Penelitian

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
	

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji

Dr. Ir. Irwan Bagyo S, MT.

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Sarweko Mangkoedihardjo, M.Sc.Es.

