



**EFISIENSI PENANGANAN AIR LIMBAH LABORATORIUM
ANALITIK MENGGUNAKAN TANAMAN AIR (STUDI
KASUS DI FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS JEMBER)**

SKRIPSI

Oleh

**Dwi Andriana Na'imatul Jannah
NIM 161710201001**

**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS JEMBER
2020**



**EFISIENSI PENANGANAN AIR LIMBAH LABORATORIUM ANALITIK
MENGUNAKAN TANAMAN AIR (STUDI KASUS DI FAKULTAS
TEKNOLOGI PERTANIAN UNIVERSITAS JEMBER)**

SKRIPSI

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

Oleh

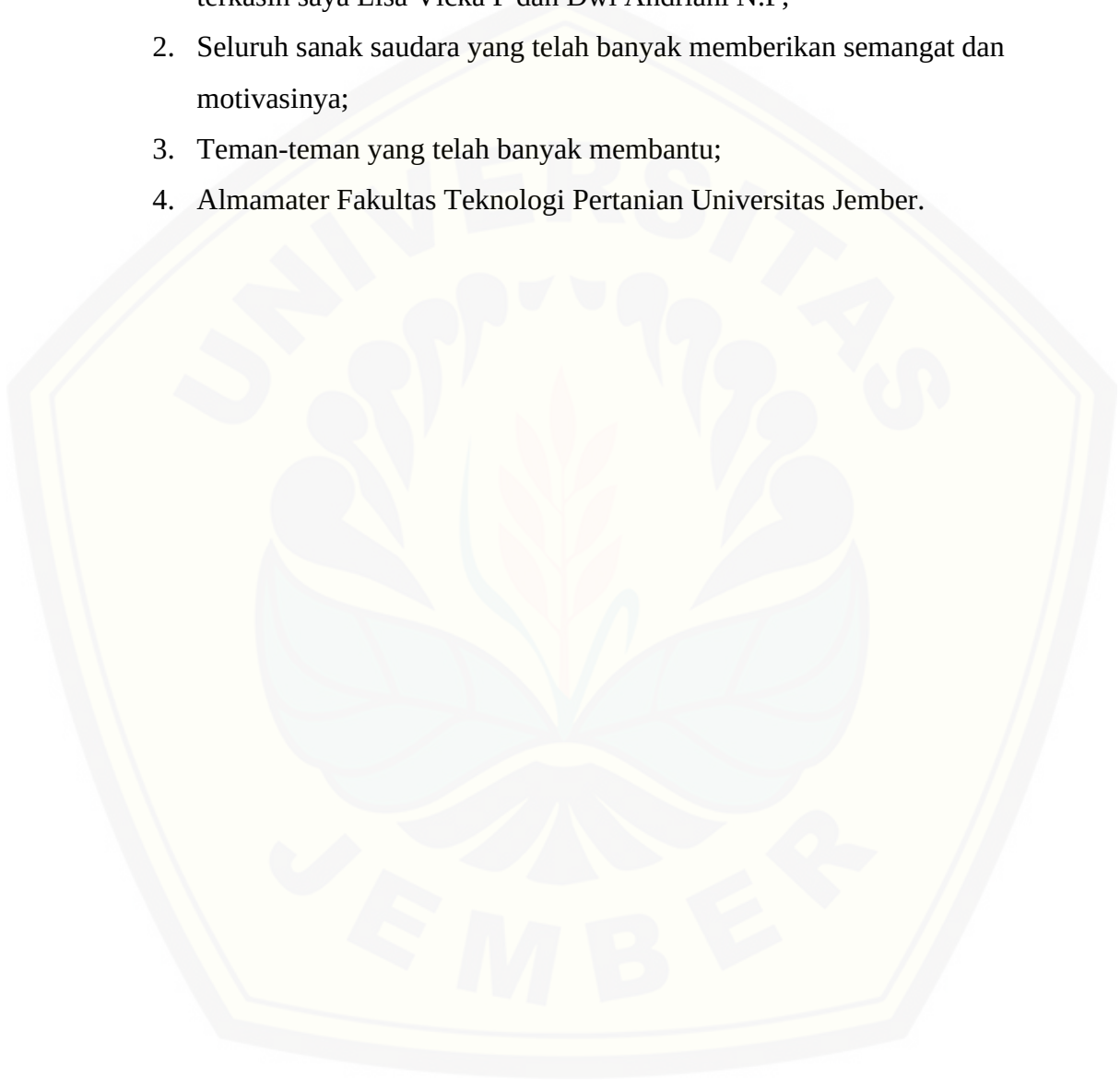
**Dwi Andriana Na'imatul Jannah
NIM 161710201001**

**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS JEMBER
2020**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan sebagai rasa terima kasih saya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta Alm. Sami'an dan ibunda Warsini, serta saudara terkasih saya Lisa Vicka P dan Dwi Andriani N.F;
2. Seluruh sanak saudara yang telah banyak memberikan semangat dan motivasinya;
3. Teman-teman yang telah banyak membantu;
4. Almamater Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.



MOTTO

Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai kesanggupannya. *)
(terjemahan surat Al-Baqarah ayat 286)

Waktu bagaikan pedang. Jika engkau tidak memanfaatkannya dengan baik (untuk memotong), maka ia akan memanfaatkanmu (dipotong) (HR.Muslim).



*) Departemen Agama Republik Indonesia. 2015. *Al Qur'an dan Terjemahannya*. Bandung: CV. Darus Sunnah

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dwi Andriana Na'imatul Jannah

NIM : 161710201001

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis ilmiah yang berjudul "*Efisiensi Penanganan Air Limbah Laboratorium Analitik Menggunakan Tanaman Air (Studi Kasus di Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember)*" adalah benar - benar karya sendiri, dan tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara - cara yang tidak sesuai etika keilmuan yang berlaku. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 19 Juni 2020

Yang menyatakan,

Dwi Andriana N.J
NIM 161710201001

SKRIPSI

**EFISIENSI PENANGANAN AIR LIMBAH LABORATORIUM ANALITIK
MENGUNAKAN TANAMAN AIR (STUDI KASUS DI FAKULTAS
TEKNOLOGI PERTANIAN UNIVERSITAS JEMBER)**

Oleh

**Dwi Andriana N.J
NIM 161710201001**

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama
Dosen Pembimbing Anggota

:Dr. Elida Novita, S.TP., M.T.
:Dr. Sri Wahyuningsih, S.P., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Efisiensi Penanganan Air Limbah Laboratorium Analitik Menggunakan Tanaman Air (Studi Kasus di Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember)” telah diuji dan disahkan pada:

Hari : Selasa

Tanggal : 23 Juni 2020

Tempat : Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember

Dosen Pembimbing Utama

Dr. Elida Novita, S.TP., M.T.
NIP. 197311301999032001

Dosen Pembimbing Anggota

Dr. Sri Wahyuningsih, S.P., M.T.
NIP. 197211301999032001

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota,

Prof. Dr. Indarto, S.TP., DEA.
NIP. 19700101199512001

Dr. Idah Andriyani, S.TP., M.T.
NIP. 197603212002122001

Mengesahkan

Dekan,

Dr. Siswoyo Soekarno, S.TP., M.Eng.
NIP. 196809231994031009

8RINGKASAN

Efisiensi Penanganan Air Limbah Laboratorium Analitik Menggunakan Tanaman Air (Studi Kasus di Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember; Dwi Andriana N.J, 161710201001; 2020; 59 halaman; Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember.

Limbah laboratorium adalah limbah yang berasal dari aktivitas penelitian maupun aktivitas praktikum selama di laboratorium. Laboratorium yang terdapat di Fakultas Teknologi Universitas Jember (FTP UNEJ) berjumlah tujuh laboratorium dan sampai saat ini semua laboratorium belum memiliki penanganan limbah secara khusus. Air limbah laboratorium tidak ditampung melainkan langsung dialirkan ke saluran drainase. Jenis laboratorium di FTP yang beragam, mengakibatkan karakteristik air limbah yang dihasilkan berbeda - beda sesuai dengan bahan kimia yang digunakan. Hal ini mengakibatkan sebagian besar air limbah laboratorium mengandung logam berat dan bahan organik seperti *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD). Jika limbah tersebut langsung dibuang ke lingkungan, akan berdampak buruk pada kerusakan lingkungan. Salah satu upaya penanganan air limbah yang ramah lingkungan, murah, dan memiliki nilai estetika yaitu dengan cara fitoremediasi. Fitoremediasi adalah pengurangan kadar polutan yang terdapat dalam air limbah melalui cara penyerapan dan degradasi logam berat serta senyawa organik oleh tanaman air. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi tanaman yang terbaik dalam menurunkan kandungan polutan air limbah dan logam berat. Parameter yang digunakan yaitu, BOD, COD, *Total Suspended Solid* (TSS), kekeruhan, dan Krom total (Cr) serta mengetahui bagaimana karakteristik tanaman air yang digunakan pada fitoremediasi air limbah laboratorium FTP UNEJ. Tanaman air yang digunakan adalah Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Lembang (*Typha angustifolia*). Penelitian ini dilakukan berdasarkan skala laboratorium, menggunakan akuarium dengan ukuran P x L x T yaitu 40 cm x 15 cm x 24 cm. Penelitian ini dibagi tiga perlakuan, yaitu perlakuan menggunakan Eceng gondok (E), perlakuan menggunakan Lembang (T), dan perlakuan kontrol (K). Setiap perlakuan menggunakan air limbah 10 liter dan berat tanaman 400 gram. Dari hasil penelitian yang didapat dari masing - masing penurunan dianalisis nilai efisiensinya menggunakan analisis deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman Lembang memiliki kemampuan penurunan parameter kualitas air yang paling efisien dengan nilai efisiensi pada masing-masing parameter yaitu kekeruhan 92,18%, TSS 84%, COD 64%, BOD 74%, dan Cr 49%. Untuk karakteristik pada masing - masing tanaman menunjukkan bahwa Lembang mampu bertahan lebih lama pada air limbah laboratorium dibandingkan dengan Eceng gondok yang sudah mati pada hari ke 14.

SUMMARY

Handling Efficiency of Analytical Laboratory Waste water Using Water Plants (Case Study at The Faculty of Agricultural Technology Jember University); Dwi Andriana N.J, 161710201001; 2020; 59 pages; Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, University of Jember.

Laboratory waste is originate from research and practice activity while in the laboratory. There are seven laboratories in the Faculty of Agricultural Technology the University of Jember (FTP UNEJ) and till now all laboratories do not have specific waste treatment, so laboratory wastewater not collected but directly flowed into the drainage channel. The types of laboratories at FTP UNEJ are diverse, the effect of characteristic of waste water produced are different based on the chemical used. If the waste is discharged directly into the environment it will have a negative impact on the environmental damage. One effort to treat wastewater that is environmentally friendly, cheap, and has aesthetic value is by phytoremediation. Phytoremediation is the reduction of the pollutants level that contained in waste water by absorption and degradation of heavy metals and organic compounds by aquatic plants. This study aims to determine the best plant efficiency in reducing the variable content of water quality and heavy metals such as BOD, COD, TSS, turbidity, and Cr, and to find out how the characteristics of aquatic plants used in the phytoremediation process in the FTP UNEJ laboratory wastewater. Aquatic plants used are water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and *Typha angustifolia*. This research was conducted based on a laboratory scale, using an aquarium with a PxLxT size of 40 cm x 15 cm x 24 cm. this study has three treatments, namely treatment using water hyacinth (E), treatment using *Typha angustifolia* (T), and control treatment (K). each treatment uses 10 liters of waste water and 400 grams of plant weight. From the results of the study obtained from each reduction were analyzed the value of efficiency using descriptive analysis. The results showed that *Typha angustifolia* has the most efficient ability to decrease water quality parameters with efficiency values for each parameter, those are 92,18% of turbidity, 84% of TSS, 64% of COD, 74% of BOD, and 49% of Cr. The characteristics of each plant showed that *Typha angustifolia* was able to last longer in laboratory waste water compared to water hyacinth that had died on the 14th day.

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Yang Maha Esa, karena telah melimpahkan rahmat-Nya berupa kesempatan dan pengetahuan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Efisiensi Penanganan Air Limbah Laboratorium Analitik Menggunakan Tanaman Air (Studi Kasus di Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember)” dengan baik. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) pada Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini banyak mendapat bantuan, bimbingan, dukungan, dan saran dari berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini saya akan menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Dr. Elida Novita, S.TP., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama (DPU) yang telah memberikan ilmu, waktu, dan membimbing penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan baik;
2. Dr. Sri Wahyuningsih, S.P., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota (DPA) sekaligus Ketua Jurusan Teknik Pertanian yang telah memberikan ilmu, waktu, dan membimbing penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan baik;
3. Prof. Dr. Indarto, S.TP., DEA., selaku dosen penguji pertama yang selalu memberikan masukan selama masa studi;
4. Dr. Idah Andriyani, S.TP., M.T., selaku dosen penguji kedua yang selalu memberikan masukan selama masa studi;
5. Dr. Ir. Bambang Marheananto, M.Eng. sebagai Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
6. Rufiani Nadzirah, S.TP., M.Sc, selaku dosen dan Komisi Bimbingan Jurusan Teknik Pertanian;
7. Seluruh dosen pengampu mata kuliah, terima kasih atas ilmu dan pengalaman yang diberikan serta bimbingan selama studi di Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember;

8. Kedua orang tua saya tercinta, Alm Bapak Sami“an dan Ibu Warsini yang telah menjadi motivator utama saya;
9. Kakak - kakak tercinta Lisa Vicka Permata S. dan Dwi Andriani atas segala doa, semangat dan motivasi dalam kehidupan penulis;
10. Semua sanak saudara yang telah memberikan semangat dan motivasi kepada penulis;
11. Teman - teman seperjuangan satu tim penelitian yaitu Egi, Rega, dan Hendra yang telah memberi dukungan serta kerjasama yang baik, sehingga menjadi tim yang solid dan telah memberikan bantuan selama penelitian berlangsung;
12. Mas Agus selaku teknisi Lab. Alsintan Jurusan Teknik Pertanian FTP UNEJ yang telah meluangkan waktu, tenaga dalam membantu selama penelitian berlangsung;
13. Pihak IsDB sebagai pemberi dana penelitian ini, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan;
14. Teman-teman TEP-A dan teman seangkatan 2016 yang telah memberikan dukungan, semangat, bantuan, dan doa kepada penulis;
15. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan banyak bantuan berupa tenaga maupun pikiran pada penelitian dan penyusunan skripsi ini.

Semoga Allah SWT senantiasa memberikan perlindungan kepada mereka semua. Penyusunan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan baik dalam teknis penulisan maupun materi, mengingat kemampuan yang penulis miliki. Sehingga kritik dan saran sangat diharapkan untuk membangun penelitian yang lebih baik lagi. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua.

Jember, 19 Juni 2020
Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING.....	v
PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
PRAKATA	ix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Air Limbah Laboratorium	7
2.2 Penanganan Air Limbah Menggunakan Proses Fisika	7
2.2.1 Filtrasi	8
2.2.2 Pasir silika	9
2.2.3 Adsorpsi	9
2.2.4 Karbon Aktif	9
2.2.5 Zeolit	10
2.3 Penanganan Air Limbah Menggunakan Fitoremediasi.....	10
2.4 Eceng Gondok	13
2.5 Tanaman Lembang.....	14
2.6 Penanganan Air Limbah Menggunakan Proses Biologi	16
2.7 Parameter Kualitas Air	16
2.8 Baku Mutu Air limbah Industri.....	17
BAB 3. METODOLOGI	19
3.1 Waktu dan Tempat	19
3.2 Alat dan Bahan	19
3.3 Metode Pengumpulan Data	20
3.3.1 Data Primer	20
3.3.2 Data Sekunder	20
3.4 Diagram Alir Penelitian	21
3.5 Tahapan Penelitian	23
3.5.1 Studi Literatur	23
3.5.2 Penelitian Pendahuluan	26
3.5.3 Penelitian utama	27
3.5.4 Pengukuran Parameter	28

3.6 Metode Analisis Data	30
3.6.1 Pengukuran Efisiensi	30
3.6.2 Uji Anova	30
3.6.3 Uji Tukey	31
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Karakteristik Air Limbah Laboratorium FTP UNEJ	33
4.2 Penanganan Fitoremediasi terhadap Air Limbah Laboratorium FTP UNEJ	35
4.3 Penggunaan Eceng Gondok dan Lembang terhadap Penurunan Bahan Pencemar Air Limbah Laboratorium FTP UNEJ	37
4.3.1 Pengukuran Variabel Fisika	37
4.3.2 Pengukuran Variabel Kimia	45
4.3.3 Analisis Nilai Akhir Variabel Kualitas Air Pada Tanaman Fitoremediasi	57
4.4 Perubahan Warna dan Jumlah Daun Tanaman Fitoremediasi	58
4.4.1 Eceng Gondok	58
4.4.2 Lembang	61
4.5 Rekomendasi	63
BAB 5. PENUTUP	64
5.1 Kesimpulan	64
5.2 Saran	64
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN	74

DAFTAR GAMBAR

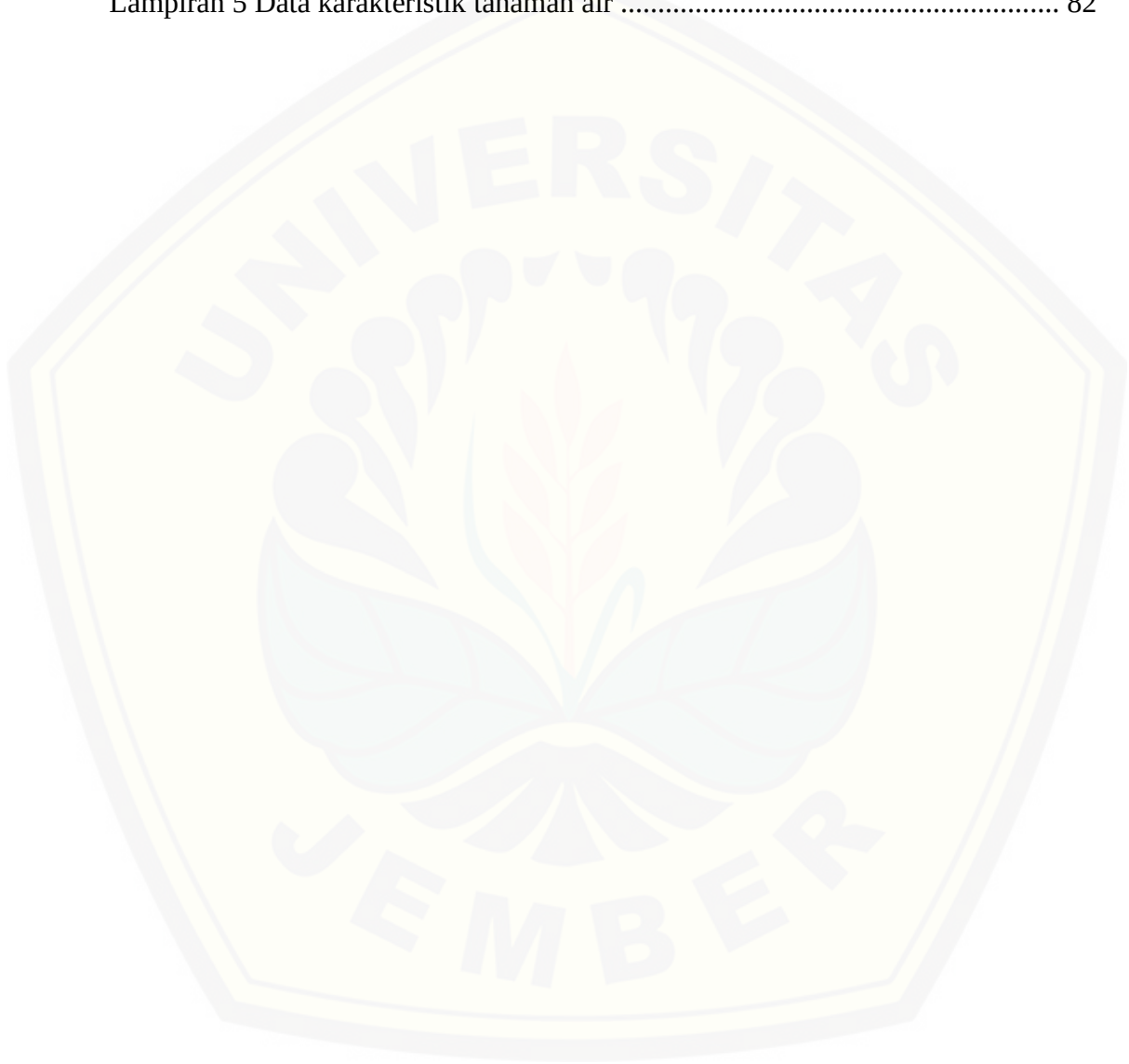
2. 1 Eceng gondok	14
2. 2 Lembang	15
3. 1 Diagram penelitian	21
3. 2 Diagram alir penelitian pendahuluan	22
3. 3 Diagram alir penelitian utama	23
3. 4 Rancangan reaktor <i>pretreatment</i>	24
3. 5 Reaktor <i>pretreatment</i>	24
3. 6 Rancangan reaktor fitoremediasi	25
4. 1 Grafik penurunan nilai kekeruhan	38
4. 2 Diagram efisiensi penurunan kekeruhan	39
4. 3 Grafik penurunan nilai TSS	41
4. 4 Diagram efisiensi penurunan TSS	42
4. 5 Grafik pengukuran nilai TDS	44
4. 6 Grafik perubahan nilai pH	46
4. 7 Diagram efisiensi kenaikan nilai pH	46
4. 8 Diagram efisiensi penurunan nilai COD	48
4. 9 Diagram efisiensi penurunan BOD	50
4. 10 Peningkatan nilai DO	53
4. 11 Diagram efisiensi penurunan nilai DO	53
4. 12 Diagram efisiensi penurunan nilai Cr	55
4. 13 Diagram kondisi warna dan rata-rata jumlah daun tanaman eceng gondok selama proses fitoremediasi	59
4. 14 Kondisi tanaman eceng gondok selama proses fitoremediasi	60
4. 15 Diagram kondisi warna dan rata-rata jumlah daun tanaman lebang selama proses fitoremediasi	61
4. 16 Kondisi tanaman lebang selama proses fitoremediasi	62

DAFTAR TABEL

2. 1 Baku Mutu Air Limbah	18
3. 1 Perlakuan rancangan reaktor berdasarkan metode filtrasi, adsorpsi, dan fitoremediasi	28
3. 2 Rumus manual perhitungan anova	31
4. 1 Karakteristik air limbah laboratorium FTP UNEJ	33
4. 2 Hasil analisis air limbah laboratorium FTP UNEJ setelah proses filtrasi dan adsorpsi	35
4. 3 Penurunan nilai kekeruhan	38
4. 4 Hasil analysis of varians terhadap penurunan nilai kekeruhan	40
4. 5 Penurunan nilai TSS	41
4. 6 Hasil analysis of varians terhadap penurunan nilai TSS	43
4. 7 Kenaikan nilai TDS	44
4. 8 Hasil analysis of varians terhadap perubahan nilai TDS	45
4. 9 Kenaikan nilai pH	46
4. 10 Hasil analysis of varians terhadap perubahan nilai pH	47
4. 11 Perubahan nilai COD	48
4. 12 Hasil analysis of varians terhadap penurunan nilai COD	50
4. 13 Perubahan nilai BOD	51
4. 14 Hasil analysis of varians terhadap penurunan nilai BOD	52
4. 15 Kenaikan nilai DO.....	53
4. 16 Hasil analysis of varians terhadap penurunan nilai DO	54
4. 17 Perubahan nilai Cr	55
4. 18 Hasil analysis of varians terhadap penurunan nilai Cr	57
4. 19 Hasil akhir air limbah Laboratorium FTP UNEJ setelah proses fitoremediasi	57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi penelitian	74
Lampiran 2 Data pengukuran 2 harian	77
Lampiran 3 Data pengukuran Awal dan Akhir	80
Lampiran 4 Data karakteristik tanaman air	81
Lampiran 5 Data karakteristik tanaman air	82



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Limbah laboratorium adalah limbah yang berasal dari aktivitas penelitian maupun aktivitas praktikum selama di laboratorium. Laboratorium analitik merupakan tempat yang melakukan kegiatan pengukuran, analisis ilmiah, dan eksperimen yang dilakukan secara terkendali (BPPSMK, 2017:15). Menurut Herman *et al.*, (2017: 137), air limbah laboratorium analitik Universitas Udayana memiliki nilai COD, Cu, dan Cr sebesar 47,04 mg/L; 0,375 mg/L, dan 2,58 mg/L. Berdasarkan data tersebut perlu adanya penanganan terkait pengolahan air limbah laboratorium.

Laboratorium analitik yang terdapat di Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember (FTP UNEJ) berjumlah enam laboratorium dan sampai saat ini semua laboratorium tersebut belum memiliki penanganan limbah secara khusus. Air limbah laboratorium tidak ditampung melainkan langsung dialirkan ke saluran drainase. Keenam laboratorium FTP UNEJ adalah Lab. Mikrobiologi yang secara umum kegiatan yang dilakukan berupa analisis atau eksperimen yang berhubungan dengan mikrobiologi, Lab. Rekayasa Pangan Hasil Pertanian yang melakukan analisis dan eksperimen terkait pengolahan pangan nabati dan hewani, Lab. Kimia dan Biokimia Hasil Pertanian yang melakukan analisis terkait dengan pengujian meliputi analisis kadar air, kadar abu, lemak, dan protein yang terkandung pada hasil pertanian, Lab. Analisis Terpadu yang melakukan kegiatan analisis terkait kadar air, kadar abu, dan lemak pada bahan pangan, Lab. Kualitas Air merupakan laboratorium yang melakukan kegiatan berupa pengukuran kualitas air baik itu air minum, air sungai/sumur, serta air limbah, dan Lab. Enjiniring Hasil Pertanian yang melakukan analisis terkait teknik pengolahan dan karakteristik hasil pertanian.

Jenis laboratorium di FTP UNEJ yang berbeda, mengakibatkan karakteristik air limbah yang dihasilkan berbeda - beda sesuai dengan bahan kimia yang digunakan. Jenis bahan kimia utama yang sering digunakan di Lab. FTP antara lain Asam Sulfat (H_2SO_4), Natrium Hidroksida (NaOH), Asam Nitrat

(HNO₃), Mangan Sulfat (MnSO₄), Alkali Iodida Azida (NaOH-KI), HCL, Asam Galat (C₇H₆O₅), Kalium Iodida (KI), dan Alkohol. Selain itu jenis bahan kimia pendukung lainnya yang sering digunakan berupa deterjen untuk pencucian pada alat di laboratorium.

Berdasarkan pengukuran di PT Mitralab Buana Surabaya (2019), karakteristik limbah Lab. FTP UNEJ Jurusan Teknologi Hasil Pertanian (THP) yang dihasilkan bersifat toksik karena banyaknya bahan kimia yang digunakan. Nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Total Suspended Solid* (TSS), *Total Dissolved Solid* (TDS), Timbal (Pb), dan Krom (Cr) yang dihasilkan juga tinggi pada Lab. FTP UNEJ jurusan THP, karena melebihi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah. Nilai parameter tersebut berturut – turut sebesar 4.413,8 mg/L, 1.119 mg/L, 324 mg/L, 212 mg/L, 0,15 mg/L, dan 0,23 mg/L. Selain adanya penggunaan bahan kimia, laboratorium mikrobiologi yang terdapat di FTP UNEJ juga berpotensi menghasilkan mikroorganisme yang dapat mencemari lingkungan. Bakteri *Escherichia coli* dan *Coliform* yang digunakan termasuk kategori bakteri pathogen. Hal ini sejalan dengan pengukuran yang telah dilakukan oleh Jayashree *et al*, (2014), sebelum penanganan Lab. Mikrobiologi dapat menghasilkan nilai TDS, TSS, COD, BOD secara berurutan sebesar 846 mg/L, 424 mg/L, 183 mg/L, dan 150 mg/L.

Karakteristik air limbah Laboratorium FTP UNEJ telah melebihi baku mutu limbah yang telah ditentukan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No.5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha atau Kegiatan yang belum Memiliki Baku Mutu Air Limbah yang Ditetapkan. Selain itu adanya kandungan logam berat seperti Cr. Krom dapat menyebabkan kanker paru – paru, kerusakan hati, dan ginjal. Kontak fisik antara krom dengan kulit dapat menyebabkan iritasi dan jika tertelan dapat menyebabkan sakit perut dan muntah (Natalina dan Firdaus, 2017). Mengingat bahaya logam berat Cr, maka perlu dilakukan penanganan air limbah laboratorium guna mencegah penurunan kualitas air dan pencemaran lingkungan.

Salah satu upaya penanganan air limbah yang ramah lingkungan, murah, dan memiliki nilai estetika yaitu dengan cara fitoremediasi (Imron *et al.*, 2019:52). Salah satu fungsi dari fitoremediasi adalah pengurangan kadar polutan, zat - zat berbahaya yang terdapat dalam air limbah dengan cara penyerapan dan pendegradasian logam berat serta senyawa organik oleh tanaman air dan penguraian oleh mikroorganisme (Mangkoediharjo *et al.*, 2010:55). Dalam proses tersebut mikroorganisme aerob membutuhkan suplai oksigen untuk menguraikan senyawa organik di dalam air limbah. Fitoremediasi merupakan upaya penggunaan tanaman air untuk dekontaminasi limbah.

Tanaman air memiliki kemampuan untuk menghilangkan nutrisi organik dan anorganik dari air limbah secara alami (Bais *et al.*, 2016). Tanaman dapat menyerap dan mengakumulasi logam berat dalam biomasnya. Tanaman yang mampu mengakumulasi logam dalam konsentrasi tinggi disebut sebagai hiperakumulator (Safarrida *et al.*, 2015: 56). Syarat tanaman air dapat digunakan pada penanganan fitoremediasi adalah mampu tumbuh dengan cepat pada kondisi lingkungan yang toksik, mampu mengkonsumsi air pada jumlah banyak diwaktu yang singkat, mampu mendekontaminasi atau meremediasi lebih dari satu polutan dan memiliki tingkat resistensi yang tinggi terhadap polutan (Zulkoni *et al.*, 2017:18).

Beberapa tanaman yang memenuhi syarat tersebut dan mampu menguraikan zat pencemar yang terdapat dalam air limbah adalah eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan lembang (*Typha angustifolia*). Bagian dari eceng gondok dan lembang yang berfungsi sebagai penyerapan logam dan bahan organik serta penyaluran unsur hara adalah akarnya. Menurut Herman *et al.*, (2017: 138), eceng gondok termasuk tumbuhan air yang memiliki toleransi tinggi terhadap logam berat. Menurut Novita *et al.*, (2019: 21-22), eceng gondok dengan berat 300 gram dapat menurunkan nilai COD dan BOD sebesar 59,11% dan 77,91%. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Elystia *et al.*, (2014: 88), tanaman Lembang dengan kerapatan 1 g/cm² dapat menurunkan nilai COD 80 mg/L selama 9 hari.

Penambahan aerasi pada proses fitoremediasi sangat diperlukan untuk meningkatkan kadar oksigen pada air limbah, sehingga kebutuhan oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme dapat tercukupi. Adanya penambahan aerasi dapat memenuhi kebutuhan oksigen oleh mikroorganisme pengurai dan untuk oksidasi bahan organik maupun anorganik dalam air limbah, sehingga dapat meningkatkan kualitas air limbah (Utami *et al.*, 2017:38).

Penanganan limbah dengan cara fitoremediasi diambil dari sistem *wetlands*. Sistem *wetlands* adalah sistem yang memanfaatkan proses alamiah yang melibatkan tumbuhan, tanah, atau media lain dimana terjadi aktivitas pengolahan sedimentasi, filtrasi, transfer gas, dan adsorpsi (Khatuddin, 2003). Pemilihan penanganan limbah tersebut didesain khusus untuk memurnikan air tercemar dengan mengoptimalkan proses - proses fisika, kimia, dan biologis seperti yang biasa terjadi pada sistem *wetlands* alami (Masfiah, 2016:2). Pada penelitian ini sistem *wetland* menggunakan sistem *constructed wetlands* (lahan basah buatan). Menurut Suswati dan Wibisono (2013), klasifikasi *constructed wetlands* dibagi menjadi 2 kelompok berdasarkan jenis tanaman. Sistem *constructed wetlands* menggunakan tanaman air mengambang (*floating aquatic plant system*), pada penelitian ini tanaman air mengambang menggunakan eceng gondok. Sedangkan sistem dengan menggunakan tanaman air yang akarnya tenggelam dalam tanah atau disebut dengan *surface flow wetlands*. Tanaman air yang digunakan pada penelitian ini sesuai dengan sistem *surface flow wetlands* adalah tanaman lembang.

Agar penanganan air limbah tersebut sesuai dengan sistem *wetlands* alami maka perlu dilakukan pengolahan *pretreatment* terlebih dahulu. Merujuk pada penelitian Masfiah (2016:2), pada air limbah pengolahan kopi menggunakan sistem *constructed wetland* menggunakan eceng gondok dengan tambahan pasir silika dan batu kerikil agar sesuai dengan sistem *wetland* alami. Penanganan *pretreatment* yang dilakukan pada penelitian ini dengan cara filtrasi menggunakan pasir silika dan adsorpsi menggunakan karbon aktif dan zeolit.

Filtrasi adalah pengurangan partikel tersuspensi dan partikel koloid. Media filtrasi yang sering digunakan adalah pasir silika, sedangkan penanganan limbah

dengan cara adsorpsi dengan adsorben menggunakan karbon aktif dan zeolit. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Artiyani *et al.*, 2016) penurunan kadar fosfat dan deterjen pada limbah domestik menggunakan pasir silika, zeolit, dan karbon aktif dengan nilai persentase deterjen sebesar 62,78% dan persentase fosfat sebesar 67,71%. Dengan demikian penanganan air limbah dengan cara fitoremediasi dapat menurunkan bahan pencemar pada air limbah laboratorium. Selain itu bahan yang digunakan pada penanganan limbah dengan cara fisika dan biologi mudah ditemukan dimana saja dan murah.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana karakteristik air limbah yang dihasilkan dari laboratorium FTP UNEJ?
2. Bagaimana perbandingan efisiensi tanaman fitoremediasi (eceng gondok dan lembang) dalam menurunkan bahan pencemar air limbah laboratorium FTP UNEJ?
3. Bagaimana karakteristik tanaman eceng gondok dan lembang yang digunakan pada proses fitoremediasi air limbah laboratorium FTP UNEJ?

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini ruang lingkup permasalahan dibatasi pada pengukuran logam krom (Cr) serta pengukuran parameter air limbah meliputi, pH, kekeruhan, *Total Dissolved Solid (TDS)*, *Total Suspended Solid (TSS)*, *Chemical Oxygen Demand (COD)*, *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*, dan oksigen terlarut dengan media filtrasi menggunakan pasir silika serta media adsorpsi menggunakan karbon aktif, dan zeolit. Untuk pengamatan tanaman eceng gondok dan lembang dilakukan selama 14 hari.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk.

1. Menganalisis karakteristik air limbah yang dihasilkan dari laboratorium FTP UNEJ.
2. Membandingkan efisiensi tanaman fitoremediasi (eceng gondok dan lembang) dalam menurunkan bahan pencemar air limbah laboratorium FTP UNEJ.
3. Menganalisis karakteristik tanaman eceng gondok dan lembang yang digunakan pada proses fitoremediasi air limbah laboratorium FTP UNEJ.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain.

1. Bagi kepentingan IPTEK, dapat dijadikan sebagai referensi untuk pengembangan penelitian terkait pengolahan air limbah yang lebih baik.
2. Bagi pemerintah adalah memberikan informasi terkait pemanfaatan tanaman eceng gondok dan lembang sebagai alternatif dalam pengolahan air limbah laboratorium.
3. Bagi masyarakat di sekitar FTP UNEJ yang memiliki laboratorium adalah memberikan informasi terkait dalam pengolahan air limbah laboratorium agar tidak mencemari lingkungan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah Laboratorium

Air limbah laboratorium merupakan limbah yang dihasilkan dari air cucian alat - alat yang digunakan selama kegiatan di laboratorium, air sisa sampel, dan air sisa - sisa bahan kimia ataupun air bekas cucian peralatan. Selama kegiatan di laboratorium membutuhkan bahan kimia utama dan bahan pendukung. Jenis bahan kimia utama yaitu bahan kimia yang bersifat asam (asam klorida, asam sulfat, asam nitrat, dan asam fosfat), basa (natrium hidroksida dan kalium hidroksida), dan bahan kimia organik (alkohol, aldehid, aseton dan amida), serta anorganik (natrium klorida, magnesium klorida, kalium klorida, dan sebagainya). Bahan kimia pendukung yang sering digunakan yaitu deterjen untuk pembersih (Raimon, 2011: 18-19). Berdasarkan bahan kimia yang sering digunakan air limbah laboratorium memiliki karakteristik limbah laboratorium dengan derajat keasaman (pH) tergolong rendah (1,4) dan kadar logam berat terlarut sangat tinggi (Hg: 77,6 - 392 mg/L) (Suprihatin dan Indrasti, 2010). Selain logam berat terdapat zat padat terlarut, amoniak dan kandungan Nitrat yang cukup tinggi. Maka dari itu air limbah laboratorium tergolong limbah bahan berbahaya dan beracun (B3).

Kandungan bahan kimia dan biologis yang ada di dalam air limbah dapat merugikan lingkungan. Kandungan bahan organik yang terdapat pada air limbah mengandung 40% - 60% protein, 25% - 50% berupa karbohidrat serta 10% berupa lemak atau minyak (Sugiharto, 1987: 25). Jika bahan organik langsung dibuang ke lingkungan tanpa adanya pengolahan, maka bakteri akan menggunakan oksigen terlarut untuk proses pembusukannya. Semakin sedikit jumlah oksigen terlarut pada air, mengindikasikan air tersebut memiliki kualitas yang rendah.

2.2 Penanganan Air Limbah Menggunakan Proses Fisika

Penanganan limbah menggunakan proses fisika merupakan metode penanganan air limbah dengan cara menghilangkan polutan secara fisika, seperti sedimentasi, filtrasi, adsorpsi, *screening*, dan lain - lain. Prinsip utama dari penanganan limbah secara fisika adalah untuk menghilangkan padatan yang

tersuspensi pada air (Fildzah dan Adany, 2017: 2). Selain itu penanganan secara fisika juga dapat mengurangi logam berat seperti krom. Penanganan air limbah dengan cara adsorpsi menggunakan adsorben kitosan dapat menyerap logam berat krom sebesar 71,782% (Natalina dan Firdaus, 2017). Efisiensi karbon aktif ampas tebu yang telah diaktivasi dengan NaCl 10% selama 12 jam dapat menyerap Cr 8% pada air limbah Laboratorium Teknik Lingkungan UNIPA Surabaya (Nurhayati *et al.*, 2018).

2.2.1 Filtrasi

Filtrasi digunakan untuk pemisahan senyawa kimia padat dan cair dimana cairan melewati media porous untuk memindahkan padatan tersuspensi halus. Proses filtrasi pada air limbah dapat digunakan untuk menghilangkan logam berat seperti Pb, Cd, Cu, dan Cr. Menurut Said (2010: 148), penurunan Pb dan Cr dengan cara filtrasi menggunakan karbon aktif masing – masing sebesar 42,2% dan 33,7%. Selain itu penanganan filtrasi menggunakan pasir silika, karbon aktif, dan ijuk dapat menurunkan Cu dan Cr masing – masing sebesar 0,52 mg/L dan 0,013 mg/L (Daulay *et al.*, 2019:94). Bahan-bahan yang biasa digunakan sebagai media filtrasi yaitu, batu kali, pasir silika, karbon aktif, dan batu gamping (Suharto, 2010: 328). Menurut Widyastuti dan Sari (2011: 43), faktor yang memengaruhi efisiensi penyaringan ada empat yaitu:

1. Kualitas air baku, semakin baik kualitas air baku yang diolah maka akan baik pula hasil penyaringan yang diperoleh;
2. Suhu, suhu yang baik yaitu antara 20 - 30 °C, temperatur akan mempengaruhi kecepatan reaksi - reaksi kimia;
3. Kecepatan penyaringan, pemisahan bahan-bahan tersuspensi dengan penyaringan tidak dipengaruhi oleh kecepatan penyaringan;
4. Diameter butiran, jika diameter butiran yang digunakan kecil maka yang terbentuk juga kecil. Hal ini akan meningkatkan efisiensi penyaringan.

2.2.2 Pasir silika

Media yang sering digunakan pada proses filtrasi adalah pasir silika. Pasir silika atau *Silicon dioxide* terdiri atas SiO_2 dengan struktur tetrahedral dengan 4 atom oksigen yang mengelilingi Si. Silika digunakan untuk filtrasi air yang mengandung padatan tersuspensi (Suharto, 2011: 393). Ukuran pasir silika paling optimum sebagai media penyaringan adalah $\leq 0,5 - 2$ mm (Maryani *et al.*, 2014:76). Filtrasi menggunakan pasir silika dengan tinggi 10 cm dapat menyisihkan deterjen sebesar 62,78% dan fosfat 67,71% (Artiyani dan Firmisyahan, 2016:14).

2.2.3 Adsorpsi

Adsorpsi adalah peristiwa penyerapan pada permukaan suatu adsorben (Yuliasuti dan Cahyono, 2017: 78). Zat yang teradsorpsi disebut sebagai adsorbat dan zat pengadsorpsi disebut adsorben. Macam - macam adsorben yang umum digunakan antara lain karbon aktif, zeolit, dan lain - lain. Sifat yang harus dipenuhi oleh zat penyerap yaitu; mempunyai luas permukaan yang besar, berpori - pori, aktif dan murni, serta tidak bereaksi dengan zat yang akan diserap. Semakin luas permukaan adsorben, semakin banyak adsorbat yang dapat diserap sehingga proses adsorpsi semakin efektif (Widyastuti dan Sari, 2011: 44).

2.2.4 Karbon Aktif

Karbon aktif adalah bentuk karbon yang telah diaktivasi agar memiliki sifat *porous* serta memiliki luas permukaan yang besar, sehingga dapat diaplikasikan untuk filtrasi dan adsorpsi. Setiap karbon aktif memiliki bentuk dan luas permukaan yang beragam (Adli, 2012: 16). Karbon aktif ada yang berbentuk granula dan bubuk. Karbon aktif yang berbentuk bubuk banyak digunakan pada proses *batch*, pengendapan, dan lain - lain. Kemampuan menyerap hanya pada permukaan yang terbasahi, sedangkan karbon aktif granular cocok digunakan dalam kolom filtrasi dimana cairan yang akan dimurnikan mengalir melalui bed melewati karbon (Suliasuti *et al.*, 2017: 2). Ukuran pori pada karbon aktif menentukan dapat masuk atau tidaknya suatu molekul terhadap pori tersebut. Penggunaan karbon aktif dengan tinggi 13,5 cm dapat meningkatkan pH air dari

6,27 menjadi 7,7 dan dapat menurunkan kandungan sisa klor dengan kandungan awal 0,47 mg/L menjadi 0 mg/L (Kendarto *et al.*, 2017: 58).

2.2.5 Zeolit

Zeolit merupakan batuan endapan yang mempunyai rongga tiga dimensi yang berguna untuk mengikat ion - ion unsur yang tidak diperlukan dan sangat membantu pada proses pertukaran ion misal penukaran kation, adsorpsi logam berat seperti Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, dan Cu (Sulastuti *et al.*, 2017: 2). Zeolit memiliki kemampuan menyerap yang baik, karena zeolit dapat memisahkan molekul - molekul berdasarkan ukuran dan konfigurasi dari molekul. Berdasarkan penelitian Kendarto *et al* (2017: 58), menggunakan zeolit 20 cm dapat menurunkan kandungan sisa klor dalam air dengan kandungan awal 0,47 mg/L menjadi 0 mg/L. Zeolit memiliki beberapa sifat unik diantaranya (Ari, 2001 dalam Ginting *et al.*, 2012: 72-73).

1. Sebagai penyaring molekul, zeolit memiliki kemampuan untuk menerima molekul-molekul dengan ukuran tertentu untuk diadsorpsi, sementara menolak molekul-molekul yang ukurannya lebih besar;
2. Mudah dimodifikasi;
3. Dapat dipergunakan kembali;
4. Tidak beracun sehingga aman untuk proses penyaringan air.

2.3 Penanganan Air Limbah Menggunakan Fitoremediasi

Menurut Zulfa *et al.*, (2016), fitoremediasi adalah kombinasi dari dua kata yaitu „*phyto*’ (tumbuhan) dan „*remedium*’ (memperbaiki atau menghilangkan sesuatu). Fitoremediasi merupakan teknik pemulihan lahan tercemar dengan menggunakan tumbuhan untuk menyerap, mendegradasi, dan mentransformasi bahan pencemar, baik itu logam berat maupun senyawa organik (Hartanti *et al.*, 2013: 32). Tanaman yang tergolong ke dalam tanaman fitoremediasi adalah mampu tumbuh dengan cepat pada kondisi lingkungan yang toksik, mampu mengkonsumsi air pada jumlah yang banyak diwaktu yang singkat, mampu mendekontaminasi atau meremediasi lebih dari satu polutan dan memiliki tingkat

resistensi yang tinggi terhadap polutan (Zulkoni *et al.*, 2017:18). Fitoremediasi biasanya diterapkan pada sistem *wetland* atau lahan basah. Air limbah dialirkan ke bak pengoahan yang ditanami tumbuhan air dan substrat lainnya. Substrat yang umum digunakan adalah kerikil, pasir, tanah lempung atau lumpur. Sistem *wetland* pada pengolahan fitoremediasi menggunakan aliran air dalam ataupun aliran air permukaan. Hasil *efluen* di alirkan ke sistem secara aliran air dalam agar terjadi kontak yang maksimal antara limbah dengan substrat dan akar tanaman, sehingga didapat hasil pengolahan limbah yang maksimal (Hidayati, 2005).

Mekanisme kerja fitoremediasi mencakup proses fitoekstraksi, rhizofiltrasi, fitostabilisasi, rhizodegradasi, fitodegradasi, dan fitovolatilisasi. Fitoekstraksi merupakan suatu proses tumbuhan menarik zat kontaminan dari media yang tercemar sehingga terakumulasi di sekitar akar tumbuhan atau tersalurkan ke bagian lain pada tumbuhan (daun dan batang). Beberapa tumbuhan disebut sebagai *hyperaccumulators*, yaitu tanaman yang dapat menyerap kandungan logam berat lebih banyak daripada tanaman lain pada umumnya. Proses fitoekstraksi sangat baik digunakan untuk menangani media yang tercemar oleh limbah yang mengandung unsur Mn, Hg, Cu, Cr, Ni, Pb, dan Zn.

Rhizofiltrasi merupakan suatu proses adsorpsi dan penyerapan zat kontaminan oleh akar untuk menempel pada akar tersebut sehingga membentuk suatu lapisan tipis atau film pada permukaannya. Mekanisme rhizofiltrasi mirip dengan mekanisme fitoekstraksi, namun perbedaannya pada mekanisme rhizofiltrasi media yang tercemar adalah badan perairan. Aplikasi rhizofiltrasi dapat dilakukan langsung dengan cara menanam tanaman fitoremediasi di atas permukaan badan air tercemar, atau dengan cara air yang tercemar disalurkan ke sebuah media rumah kaca dimana tanaman fitoremediasi dapat tumbuh dengan optimal.

Fitostabilisasi merupakan suatu proses yang dilakukan oleh tanaman untuk mentransformasi polutan di dalam tanah menjadi senyawa yang non toxic tanpa menyerap terlebih dahulu polutan tersebut ke dalam tubuh tanaman. Hasil transformasi dari polutan tersebut tetap berada di dalam tanah atau menempel

pada akar tanaman. Zat - zat kontaminan akan menempel erat pada akar sehingga tidak akan terbawa oleh aliran air dalam media tercemar.

Rhizodegradasi merupakan suatu proses penguraian zat-zat kontaminan di sekitar akar tanaman oleh aktivitas mikroba yang bersimbiosis pada akar tanaman tersebut. Proses rhizodegradasi bekerja lebih lambat daripada proses fitodegradasi karena dipengaruhi oleh kinerja dari mikroba yang bersimbiosis. Adapun mikroba (ragi, jamur, dan bakteri) yang bersimbiosis ini akan mengkonsumsi dan mengurangi bahan organik. Simbiosis ini bersifat mutualisme (saling menguntungkan) karena tanaman pada umumnya mengeluarkan zat seperti gula, alkohol atau asam yang mengandung karbon organik yang mana zat - zat tersebut merupakan sumber energy mikroba untuk tumbuh dan berkembang.

Fitodegradasi merupakan suatu proses yang dilakukan tanaman untuk menguraikan zat kontaminan yang mempunyai rantai molekul yang kompleks menjadi bahan yang tidak berbahaya dengan bantuan enzim. Hasil rombakan zat kontaminan tersebut tersusun atas molekul yang lebih sederhana dan dapat berguna bagi pertumbuhan tanaman itu sendiri. Enzim yang bekerja pada proses ini diantaranya *nitrodictase*, *laccase*, *dehalogenase*, dan *nitrilase*. Proses ini dapat berlangsung di seluruh bagian tanaman baik pada akar, batang, dan daun. Fitovolatilisasi merupakan suatu proses yang bekerja di bagian atas dari tumbuhan (daun) melalui proses transpirasi. Pada mekanisme fitoremediasi lainnya, menyebutkan bahwa zat tercemar yang terserap oleh tanaman fitoremediasi akan dirombak oleh tanaman tersebut dan menghasilkan zat lain yang tidak berbahaya. Hasil rombakan tersebut akan tertranspirasi kemudian menguap ke atmosfer (Zulkoni *et al.*, 2017: 18).

Fitoremediasi termasuk teknik pengolahan limbah yang ramah lingkungan, tidak memerlukan tempat pembuangan yang luas, mudah diterima masyarakat, biaya relatif murah, dapat mengurangi beban energi dan transportasi. Penggunaan fitoremediasi cukup luas yaitu; dapat dimanfaatkan untuk membersihkan kontaminan atau polutan organik maupun anorganik di lingkungan terutama logam berat baik pada air, sedimen maupun tanah. Penerapan fitoremediasi sudah banyak dilakukan di Indonesia. Contohnya pada penerapan fitoremediasi tanah

tercemar pelumas bekas menggunakan akar wangi (*Vetiveria Zizanioides*) (Winata dan Tangahu, 2018). Selain itu juga ada penerapan fitoremediasi pada limbah domestik menggunakan tanaman kiambang dalam menyisihkan BOD dan fosfat (Rahmawati *et al.*, 2016) dan fitoremediasi fosfat air limbah laundry menggunakan tanaman melati air dan bambu air (Siswandari *et al.*, 2016).

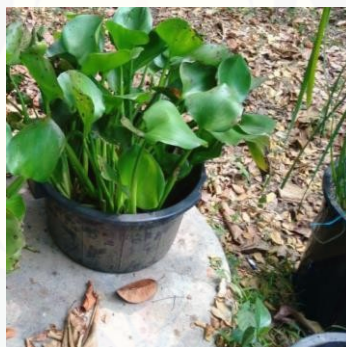
2.4 Eceng Gondok

Eceng gondok (*Eichornia crassipes*) merupakan tanaman yang memiliki kecepatan tumbuh yang tinggi, sehingga tumbuhan ini dianggap sebagai gulma yang dapat merusak perairan. Meskipun dianggap sebagai tanaman yang sering merusak lingkungan perairan, tetapi tanaman ini mampu menyerap polutan seperti logam berat dan parameter pencemar kualitas limbah (Irhamni *et al.*, 2017: 347). Tanaman ini mampu beradaptasi terhadap perubahan lingkungan dan berkembang biak dengan sangat cepat, baik secara vegetatif maupun generatif (Putera, 2012: 6).

Menurut Ratnani *et al.*, (2010: 18), akar tanaman eceng gondok mampu menetralkan air yang tercemar limbah sehingga sering dimanfaatkan untuk penanganan limbah industri. Eceng gondok memiliki keunggulan dalam kegiatan fotosintesis, penyediaan oksigen dan penyerapan sinar matahari. Bagian dinding permukaan akar, batang, dan daun memiliki lapisan yang sangat peka sehingga pada ke dalam yang ekstrim sampai 8 meter di bawah permukaan air masih mampu menyerap sinar matahari serta zat-zat yang terlarut di bawah permukaan air (Ratnani *et al.*, 2010: 19). Menurut Putera (2012: 7), keunggulan lain dari tanaman ini adalah akar tanaman eceng gondok yang rimpang mampu menyerap nitrogen, fosfat, dan zat organik. Bahkan bisa menyerap uranium dan merkuri. Pada akar eceng gondok terdapat empat jenis bakteri hidrokarbon yaitu *Pseudomonas*, *Strepto bacillus*, *Bacillus megaterium*, dan *Arthobacter* (Budisantoso dan Tangahu, 2007). Eceng gondok merupakan tumbuhan yang sangat toleransi terhadap kadar unsur hara yang rendah dalam air, tetapi respon terhadap kadar unsur hara yang tinggi juga sangat besar. Pertumbuhan eceng gondok dipengaruhi oleh pH. Pada pH sekitar 7,0 - 7,5 eceng gondok mempunyai

pertumbuhan yang baik, pada pH di bawah 4,2 dapat meracuni pertumbuhan eceng gondok sehingga tanaman eceng gondok akan mati (Ratnani *et al.*, 2010: 21).

Pengaplikasian tanaman eceng gondok sudah banyak diterapkan oleh sebagian masyarakat seperti pemanfaatan tanaman eceng gondok dalam mereduksi logam berat Zn dari Perairan Danau Tempe Kabupaten Wajo yaitu penurunan logam berat Zn dengan konsentrasi awal sebesar 10 ppm pada hari ke 9 menjadi 1,8886 ppm (Hasyim, 2016: 53). Selain itu pemanfaatan tanaman eceng gondok pada proses fitoremediasi untuk menurunkan COD dan kandungan CU serta Cr pada air limbah laboratorium analitik Universitas Udayana selama 14 hari dapat menurunkan nilai COD sebesar 20,7 mg/L, logam Cu dan Cr masing-masing sebesar 0,264 mg/L dan 0,86 mg/L (Herman *et al.*, 2017: 143).



Gambar 2. 1 Eceng gondok

2.5 Tanaman Lembang

Tanaman *Typha angustifolia* atau biasa disebut lembang adalah tanaman dari suku *Typhaceae* dan bangsa *Typhales* yang mempunyai rizoma, dapat tumbuh di tempat yang basah, batang tegak, dan daun membentuk dua garis. Tempat hidup tanaman lembang ini adalah lingkungan yang mempunyai pH 4 - 10 dan suhu 10-30°C. Tanaman lembang dapat ditemukan daerah berawa atau *wetland*. Tumbuhan ini banyak di jumpai di daerah tropis dan biasanya tumbuh secara berkelompok pada daerah yang tergenang air. Tumbuhan ini memiliki daya tahan yang tinggi terhadap perubahan cuaca dan kondisi lingkungan lainnya. Tanaman ini memiliki akar serabut yang lebat, daun yang berbentuk tirus panjang dan agak

lebar. Tumbuhan ini memerlukan jumlah air yang banyak untuk kelangsungan hidupnya, sehingga sering disebut tumbuhan semi - akuatik (Muhajir, 2013: 14).

Menurut (Irhamni *et al.*, 2017: 81), tumbuhan lebang (*Typha angustifolia*) digolongkan pada jenis tumbuhan hiperakumulator, karena kemampuan tanaman lebang dalam menyerap logam berat yang baik menjadikan tanaman ini sebagai alternatif dalam menyerap limbah yang mengandung logam. Tanaman lebang mampu menyisihkan logam berat Pb dengan konsentrasi awal 10 mg/L dengan efisiensi sebesar 87,40%, untuk konsentrasi Pb awal 30 mg/L didapatkan nilai efisiensi sebesar 72,45%, dan untuk konsentrasi Pb awal 60 mg/L didapat efisiensi sebesar 54,46% (Arasy *et al.*, 2016: 6).

Penggunaan tanaman lebang sudah banyak diterapkan oleh sebagian masyarakat contohnya seperti penurunan ammonium pada limbah laundry dengan tanaman lebang dapat menurunkan ammonium pada limbah deterjen dengan nilai efisiensi sebesar 97,98% (A'yun, 2015: 57). Selain itu adapun pemanfaatan tanaman lebang dalam sistem *subsurface flow constructed wetland* untuk pengolahan air limbah industri kerupuk menunjukkan efisiensi penurunan konsentrasi pada waktu 5, 10, dan 15 hari untuk TSS 73,78%; 77,18%; 84,71%; BOD 85,83%; 90,33%; 94,17; COD 86,94%; 90,65%; 94,87%; Amoniak 76,07%; 84,25%; 87,52%; Sulfida 94,56%; 99,18%; 99,81% (Abdulgani *et al.*, 2014).



Gambar 2. 2 Lebang

2.6 Penanganan Air Limbah Menggunakan Proses Biologi

Aerasi merupakan pengolahan air dengan cara mengontakkan air ke udara. Alat yang biasa digunakan disebut aerator. Aerator adalah peralatan mekanis yang dapat meningkatkan pemasukan oksigen ke dalam air (Kordi dan Tancung, 2007: 101). Aerasi digunakan untuk pengolahan air yang mempunyai kandungan bahan organik tinggi. Pada fitoremediasi bakteri aerob membutuhkan oksigen terlarut untuk menguraikan senyawa - senyawa kimia yang terkandung dalam air limbah. Maka dari itu perlu dilakukan proses aerasi pada fitoremediasi untuk meningkatkan jumlah oksigen terlarut yang ada pada air limbah, sehingga kebutuhan oksigen oleh mikroorganisme terpenuhi (Manasika, 2015).

2.7 Parameter Kualitas Air

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

1. *Total Suspended Solid (TSS)*

Total Suspended Solid (TSS) adalah padatan yang menyebabkan kekeruhan air, tidak terlarut dan tidak dapat langsung mengendap, terdiri dari partikel - partikel yang ukuran maupun beratnya lebih kecil dari sedimen, misalnya tanah liat, bahan-bahan organik tertentu, sel - sel mikroorganisme, dan sebagainya (Kristanto, 2004: 82).

2. *Total Dissolved Solid (TDS)*

Total Dissolved Solid (TDS) adalah padatan - padatan yang mempunyai ukuran lebih kecil dibandingkan padatan tersuspensi. Padatan ini terdiri dari senyawa-senyawa organik dan anorganik yang larut dalam air, mineral, dan garam-garamnya (Kristanto, 2004: 82).

3. Kekeruhan

Menurut *International Organization for Standardization* (1999) dalam Faisal *et al.*, (2016:10) kekeruhan adalah suatu keadaan dimana transparansi suatu zat cair berkurang akibat kehadiran zat - zat lainnya. Arah dari berkas cahaya yang

dipancarkan akan berubah ketika cahaya berbenturan dengan partikel di dalam air. Jika *level* kekeruhan rendah maka sedikit cahaya yang akan dihamburkan dan dibiarkan dari arah asalnya. Tingkat kekeruhan air (*turbidity*) dapat diketahui dengan menggunakan turbidimeter dan dinyatakan dalam satuan NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*).

4. *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengonversi senyawa organik dalam air limbah melalui reaksi kimia (Suharto, 2010: 324).

5. *Biochemical Oxygen Demand* (BOD)

Biochemical Oxygen Demand (BOD) jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk konversi mikroba atau mengoksidasi senyawa organik dalam air limbah. Oksidasi biologi diperlukan untuk mengurangi senyawa kimia organik dalam air limbah. (Suharto, 2010: 321).

6. pH

Puissance negative de H (pH) yaitu logaritma dari kepekatan ion-ion H yang terlepas dari suatu larutan. Nilai pH = 7 menunjukkan pH air bersifat netral, pH < 7 bersifat asam dan pH > 7 bersifat alkalis (basa). Nilai pH pada perairan alami berkisar antara 4-9 (Kordi dan Tancung, 2007:46-47).

7. *Dissolved Oxygen* (DO)

Menurut Standar Nasional Indonesia Nomor 06-6989.14 (2004:1) oksigen terlarut DO merupakan jumlah mg oksigen yang terlarut dalam air atau air limbah yang dinyatakan dengan mgO₂/L.

8. Kromium (Cr)

Total Cr diukur dengan menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) yang merujuk pada metode APHA 3111 B – 2005. Satuan yang dipakai pada hasil pengukuran Cr adalah mg/L.

2.8 Baku Mutu Air limbah Industri

Berikut ini merupakan baku mutu limbah laboratorium menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang

Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau kegiatan yang belum Memiliki Baku Mutu Air Limbah yang ditetapkan disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Baku mutu air limbah bagi usaha atau kegiatan yang belum memiliki baku mutu air limbah yang ditetapkan

Parameter	Gol. I	Gol. II	Satuan
<i>Physical</i>			
Temperature	38	40	°C
Total Suspended Solids (TSS)	200	400	mg/L
Total Dissolved Solids (TDS)	2000	4000	mg/L
<i>Chemical</i>			
pH	6-9	6-9	-
BOD	50	150	mg/L
COD	100	300	mg/L
Total Cr*	0,5	1	mg/L

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No.5 Tahun 2014

BAB 3. METODOLOGI

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan (TPKL) Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember dan Perum Jasa Tirta Malang. Kegiatan penelitian ini dilaksanakan pada 12 September – 11 Oktober 2019.

3.2 Alat dan Bahan

Berikut ini merupakan alat dan bahan yang digunakan untuk penelitian.

Bahan:	Alat:
1. Air limbah Lab. FTP	1. Bak plastic
2. Tanaman eceng gondok dan lebang	2. Tempat filtrasi dan adsorpsi berbahan kaca
3. Pasir silika, karbon aktif, dan zeolit	3. 6 akuarium, 3 timba plastik, pipa PVC, dan kran
a. Analisis BOD ₅ :	a. Analisis BOD ₅ :
1. Aquadest dan sampel limbah	1. Buret dan Penyangga
2. Alkali Iodida Azida	2. Pipet Ukur
3. Mangan Sulfat 50%	3. Erlenmeyer
4. Asam Sulfat Pekat (20 N)	4. Pipet Volumetrik dan DO meter
5. Natrium Tiosulfat (0,025 N)	5. Botol winkler
6. Indikator Amilum (5%)	
b. Analisis COD:	b. Analisis COD:
1. Aquadest dan sampel limbah	1. Labu takar 500 ml
2. Reagen COD (MR/HR)	2. COD Reaktor
	3. Spektrofotometer HI 83099
c. Analisis TSS:	c. Analisis TSS:
1. Aquadest dan sampel limbah	1. Cawan aluminium
2. Kertas saring 45µm	2. Timbangan
	3. Oven
	4. Penjepit besi
	5. Desikator
d. Analisis TDS:	d. Analisis TDS:
1. Aquadest dan sampel limbah	1. Cawan aluminium
2. Kertas saring 45µm	2. Timbangan

	3. Oven
	4. Penjepit besi
	5. Desikator
e. Analisis pH:	e. Analisis pH:
1. Aquadest dan sampel limbah	1. pH Portable
	2. Beaker Glass 500 MI
f. Analisis Kekeruhan:	f. Analisis Kekeruhan:
1. Sampel limbah	1. Turbidimeter
g. Analisis Krom (Cr):	g. Analisis Krom (Cr):
1. Aquadest dan sampel limbah	1. Spektrofotometri UV-VIS
2. H ₂ SO ₄ 2 ml	2. Labu ukur 100 ml
3. HNO ₃	3. Pipet
4. Diphenil Carbazid 1 ml	4. Gelas ukur
	5. Hotplate

3.3 Metode Pengumpulan Data

3.3.1 Data Primer

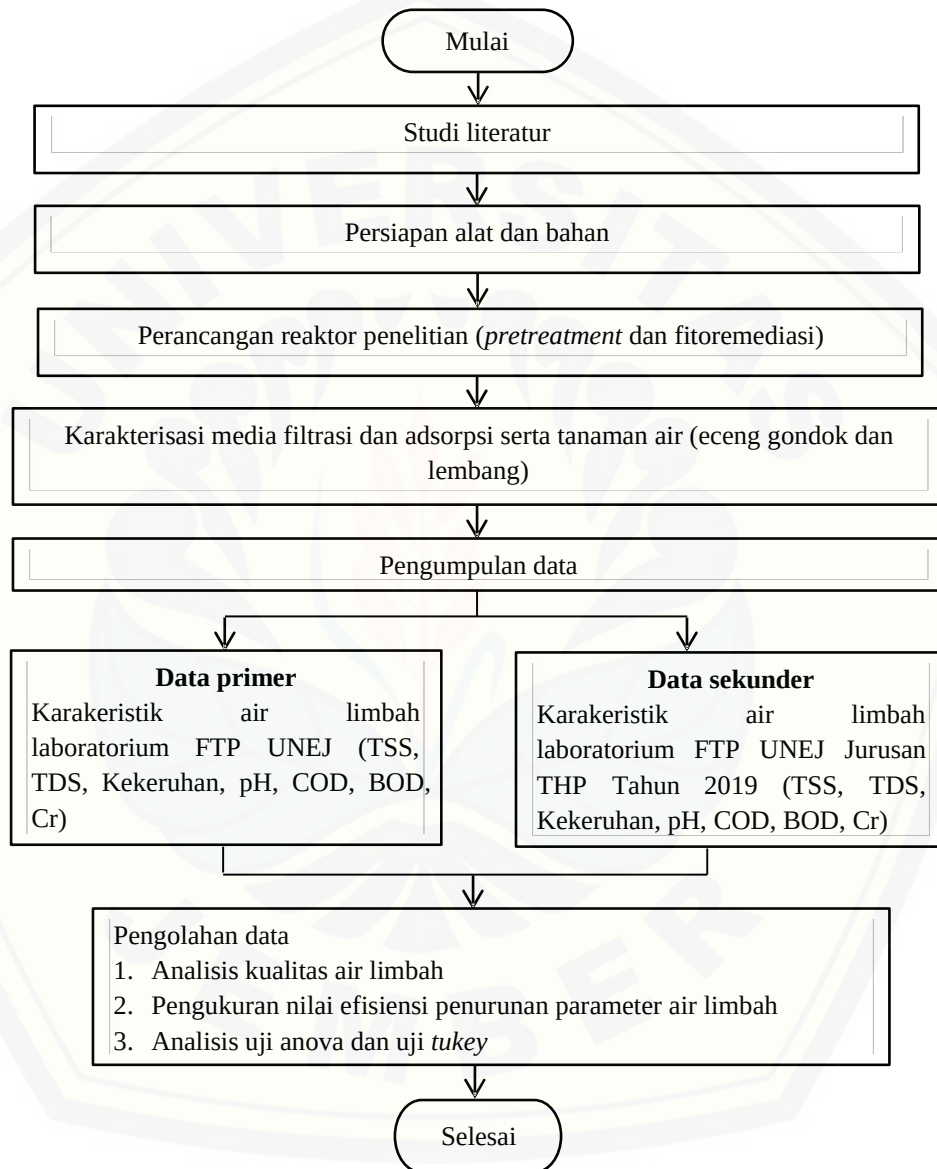
Data primer didapatkan dari hasil tinjauan lapang berupa pengambilan sampel air limbah laboratorium dengan cara penampungan limbah pada Lab. Mikrobiologi, Lab. Rekayasa Pangan Hasil Pertanian, Lab. Biokimia, Lab. Kualitas Air, dan Lab. Enjiniring Hasil Pertanian pada bak sesuai dengan kebutuhan. Setelah itu limbah ditampung pada skema rancangan alat penelitian dan sebagian diambil untuk dilakukan pengukuran kualitas air limbah awal (TSS, TDS, pH, kekeruhan, BOD, dan COD) dan mengukur kadar Cr. Limbah yang sudah mengalami perlakuan diukur juga kadar Cr dan parameter kualitas air limbah.

3.3.2 Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari pengukuran limbah lab. FTP - THP berupa parameter TSS, TDS, pH, COD, BOD, dan total Cr oleh PT Mitralab Buana Surabaya pada tahun 2019.

3.4 Diagram Alir Penelitian

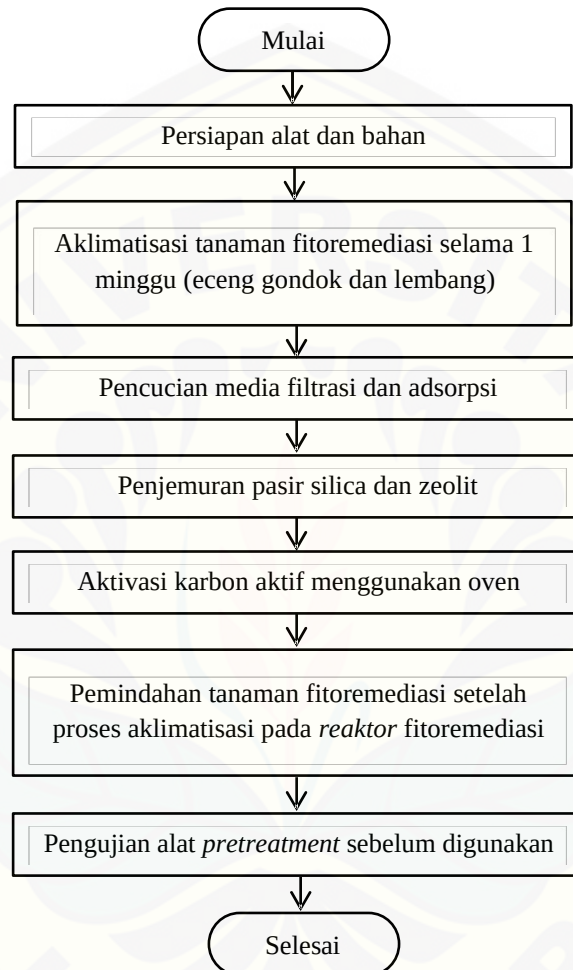
Tahapan penelitian meliputi studi literatur, pengumpulan data, pembuatan rancangan alat penelitian, pengukuran parameter pencemar limbah laboratorium, dan analisis data. Berikut diagram alir penelitian disajikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram penelitian

3.4.1 Penelitian Pendahuluan

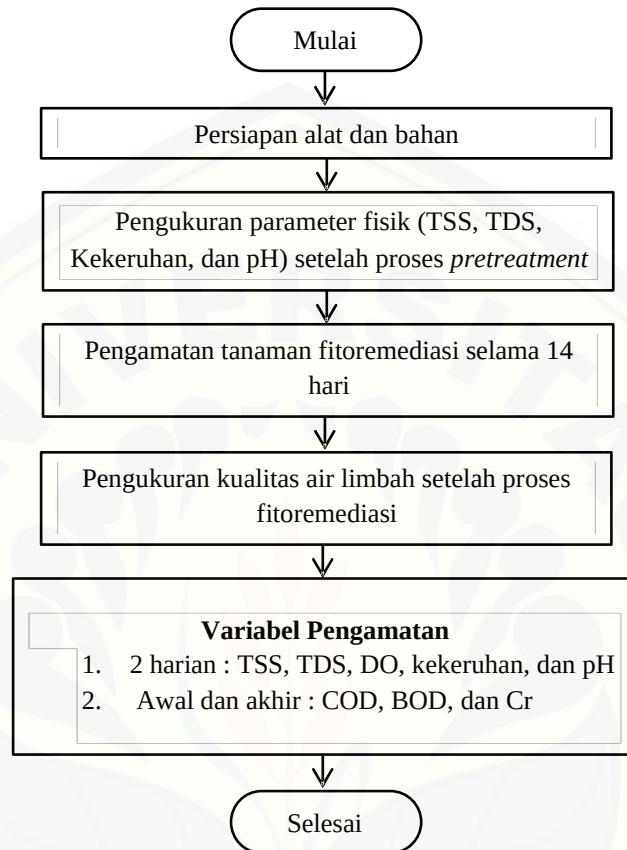
Berikut ini adalah diagram alir untuk penelitian pendahuluan sebelum dilakukan penanganan fitoremediasi.



Gambar 3. 2 Diagram alir penelitian pendahuluan

3.4.2 Penelitian Utama

Berikut ini adalah diagram alir penelitian utama penanganan fitoremediasi pada air limbah laboratorium FTP UNEJ.



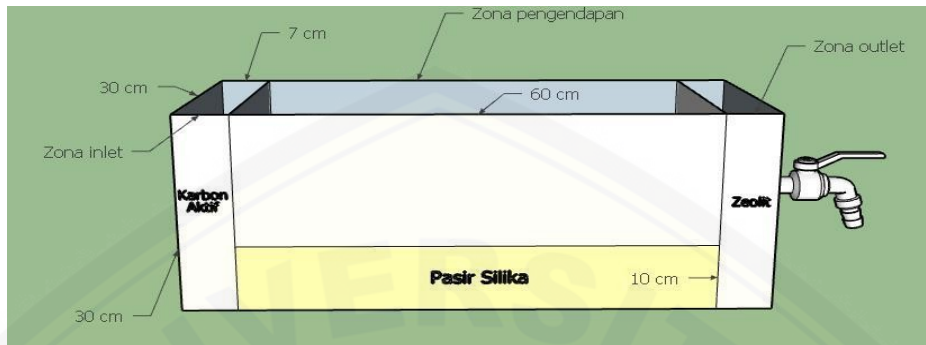
Gambar 3. 3 Diagram alir penelitian utama

3.5 Tahapan Penelitian

3.5.1 Studi Literatur

Dalam penelitian ini tahap pertama untuk persiapan penelitian adalah studi literatur terlebih dahulu dengan mencari referensi terkait dengan penelitian ini, lalu penentuan air limbah yang akan diuji. Tahap kedua persiapan tempat penelitian dilakukan di *greenhouse* yang terdapat di Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember. Tahap terakhir yaitu persiapan alat dan bahan meliputi perancangan reaktor *pretreatment* yang digunakan untuk tempat penyaringan air limbah. Berikut merupakan gambar rancangan reaktor *pre*

treatment yang digunakan dalam penelitian disajikan pada Gambar 3.2 (Masfiah, 2016).



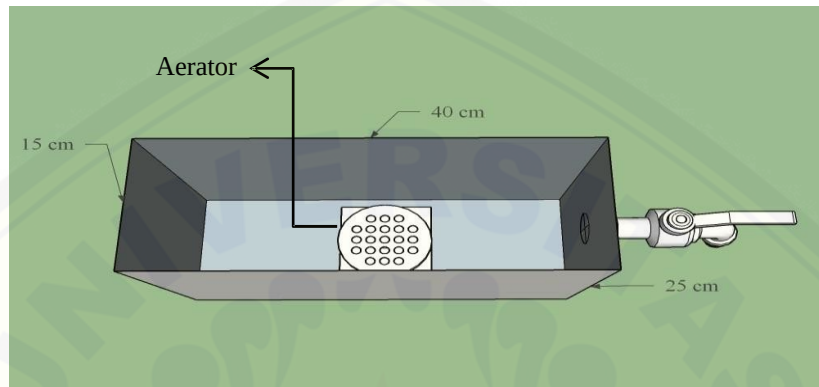
Gambar 3. 4 Rancangan reaktor *pretreatment*



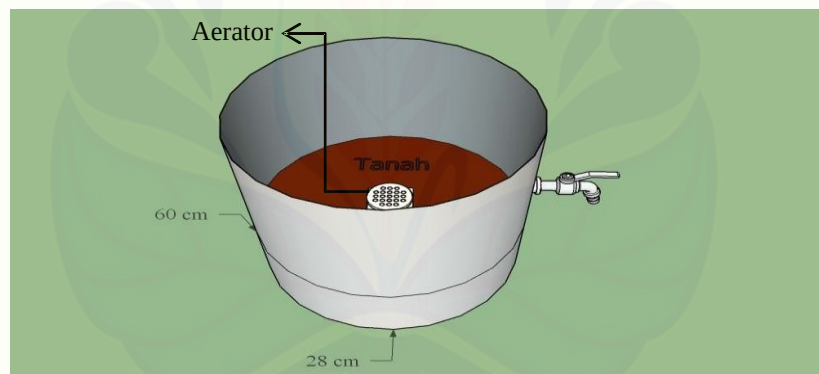
Gambar 3. 5 Reaktor *pretreatment*

Reaktor yang digunakan pada penelitian ini terbuat dari kaca yang terdiri dari 3 zona, yaitu zona *inlet*, zona pengendapan, dan zona *outlet*. Sekat antar zona dilengkapi lubang yang berjumlah 6 buah dengan posisi lajur horizontal. Panjang dimensi reaktor filtrasi adalah 74 cm, yang terdiri atas panjang zona pengendapan 60 cm dan masing - masing panjang zona *inlet* dan zona *outlet* 7 cm, lebar 30 cm, dan tinggi 30 cm. Media karbon aktif diberikan pada zona *inlet* (diameter 2,8 mm) dengan lebar 7 cm dan ketinggian 25 cm, zona pengendapan diberi media pasir silika (diameter 0,5 - 1 mm) dengan lebar 60 cm dan ketinggian 10 cm, serta zona *outlet* diberi media zeolit (diameter 4,75 mm) dengan lebar 7 cm dan ketinggian 25 cm. Reaktor fitoremediasi terbuat dari bahan kaca yang digunakan sebagai tempat fitoremediasi air limbah laboratorium setelah mengalami proses

filtrasi yang berjumlah 3 reaktor. Dimensi reaktor fitoremediasi adalah 45 cm x 15 cm x 25 cm. Berikut merupakan gambar rancangan dan reaktor fitoremediasi yang digunakan dalam penelitian disajikan pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4.



(a)



(b)

(a) Reaktor fitoremediasi eceng gondok, (b) Reaktor fitoremediasi lempang

Gambar 3. 6 Rancangan reaktor fitoremediasi



(a)

(b)

(a) Reaktor fitoremediasi eceng gondok, (b) Reaktor fitoremediasi lembang

Gambar 3. 7 Reaktor fitoremediasi

3.5.2 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan bertujuan untuk menentukan karakteristik awal air limbah laboratorium. Pada penelitian pendahuluan juga dilakukan aklimatisasi tanaman eceng gondok dan lembang yang bertujuan untuk mengatur kondisi tanaman agar dapat beradaptasi dengan kondisi air limbah yang akan diolah. Aklimatisasi tanaman dilakukan dengan memasukkan eceng gondok dan lembang ke dalam bak yang berisi air bersih selama 1 minggu sebelum dipindahkan ke bak pengolahan. Setelah 1 minggu barulah eceng gondok dan lembang dipindahkan ke bak pengolahan yang sudah berisi air limbah laboratorium. Tanaman eceng gondok yang digunakan diperoleh dari Desa Gumuk Mas, Jember. Panjang akar eceng gondok sekitar 30 cm dengan jenis umur yang seragam. Tanaman lembang diperoleh di daerah kampus.

Media filtrasi dan adsorpsi yaitu pasir silika, zeolit dan karbon aktif sebelum digunakan dilakukan pengolahan awal terlebih dahulu. Pasir silika dan zeolit sebelum digunakan dilakukan pencucian menggunakan aquades, kemudian dijemur agar kandungan air dalam pasir silika dan zeolit dapat berkurang. Pada karbon aktif sendiri juga dilakukan pencucian menggunakan aquades sampai bersih selanjutnya dilakukan proses aktivasi dengan cara dipanaskan pada oven dengan suhu 105°C selama 24 jam. Tujuan dilakukannya aktivasi pada karbon aktif agar air yang terikat di celah - celah molekul dapat teruapkan, sehingga pori -

pori pada karbon aktif semakin meningkat atau besar (Udyani dan Wulandari, 2014: 515).

Pada reaktor *pretreatment* dilakukan pengujian alat yaitu waktu yang dibutuhkan untuk proses filtrasi dan adsorpsi. Pengujian dilakukan dengan cara pemberian air pada reaktor, kemudian diukur waktu yang dibutuhkan air tersebut sampai keluar dari pipa. Waktu yang sudah terukur dijadikan acuan dalam proses pengolahan fisika.

3.5.3 Penelitian utama

Penelitian utama bertujuan untuk menganalisis pengaruh media filter dan adsorben serta pengaruh tanaman air (eceng gondok dan lembang) dalam menurunkan kandungan logam berat (Cr) dan bahan pencemar air limbah laboratorium FTP UNEJ. Pada penelitian ini tinggi pasir silika adalah 10 cm, tinggi karbon aktif dan zeolit adalah 24 cm. Penentuan tinggi media filtrasi dan adsorben berdasarkan penelitian (Artiyani dan Firmansyah, 2016: 14) dengan ketinggian pasir silika 10 cm, karbon aktif 15 cm, serta zeolit 15 cm mampu menyisihkan deterjen sebesar 62,78% dan fosfat 67,71%. Panjang akar eceng gondok yang digunakan 30 cm.

Penanaman eceng gondok pada reaktor fitoremediasi dengan cara menanamkan tanaman eceng gondok di atas permukaan air limbah laboratorium FTP UNEJ. Penentuan panjang akar 30 cm berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Safrizal (2016), bahwa perlakuan panjang akar 30 cm dengan berat eceng gondok yang sama memiliki keseluruhan nilai persentase penurunan tertinggi terhadap reduksi bahan organik. Sedangkan untuk lembang memiliki daun yang tingginya 100 - 150 cm (Elystia *et al.*, 2014). Berat masing - masing tanaman air adalah 400 gram. Penanaman lembang pada reaktor fitoremediasi dengan cara tanaman lembang ditanam menggunakan tanah dengan tinggi tanah dari dasar reaktor 15 cm, selanjutnya air limbah laboratorium dialirkan pada reaktor fitoremediasi. Pengolahan fitoremediasi pada penelitian ini menggunakan sistem *batch*, dimana tidak ada masukan (*input*) dan keluaran (*output*) selama proses berlangsung (Angraini *et al.*, 2014:2). Metode sistem *batch* pada penelitian ini

menggunakan sistem *batch* aerob, dimana pada pengolahan tersebut adanya proses aerasi menggunakan aerator. Hal ini sesuai dengan penelitian Utami (2017:38), dimana penanganan air limbah minyak bumi menggunakan sistem *batch* biologi aerob dengan proses aerasi menggunakan aerator. Berikut adalah tabel perlakuan dari kombinasi filtrasi, adsorpsi, dan fitoremediasi seperti yang disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Perlakuan rancangan reaktor berdasarkan metode filtrasi, adsorpsi, dan fitoremediasi

Perlakuan	Ulangan		
	1	2	3
KFA	KFA 1	KFA 2	KFA 3
EFA	EFA 1	EFA 2	EFA 3
TFA	TFA 1	TFA 2	TFA 3

Keterangan :

KFA : Kontrol + filtrasi dan adsorpsi

EFA : Eceng gondok + filtrasi dan adsorpsi

TFA : Lembang (*Typha angustifolia*) + filtrasi dan adsorpsi

3.5.4 Pengukuran Parameter

1. pH

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

2. *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan kebutuhan oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan senyawa kimia. Alat yang digunakan untuk mengukur COD adalah Spektrofotometer.

3. *Biochemical Oxygen Demand* (BOD)

Biochemical Oxygen Demand (BOD) merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme untuk hidup. Berikut merupakan persamaan perhitungan BOD₅.

$$\text{.....(3.1)}$$

Keterangan:

DO = Oksigen terlarut (mg O₂/L)

- a = Volume titran $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (mL)
 N = Normalitas $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (ek/L)
 V = Volume botol Winkler (mL)

$$\text{BOD}_5 = \frac{X_0 - X_5}{1 - e^{-k_1 t}} \dots\dots\dots(3.2).$$

Keterangan:

- BOD_5 = sebagai $\text{mg O}_2/\text{l}$
 X_0 = OT (oksigen terlarut) sampel pada saat $t = 0$ ($\text{mg O}_2/\text{L}$)
 X_5 = OT sampel pada saat $t = 5$ hari ($\text{mg O}_2/\text{L}$)
 B_0 = OT blanko pada saat $t = 0$ ($\text{mg O}_2/\text{L}$)
 B_5 = OT blanko pada saat $t = 5$ hari ($\text{mg O}_2/\text{L}$)
 P = Derajat pengenceran

4. Total Suspended Solid (TDS)

Total Suspended Solid (TDS) merupakan jumlah padatan terlarut yang terkandung dalam air. SNI 06-6989.27-2005 Berikut merupakan perhitungan TDS.

$$\text{TDS} = \frac{a - b}{c} \times 1000 \dots\dots\dots(3.3).$$

Keterangan:

- TSS = total padatan terlarut (mg/L)
 a = berat cawan + residu kering (mg)
 b = berat cawan (mg)
 c = sampel (mL)

5. Total Padatan Tersuspensi (TSS)

TSS merupakan residu dari padatan total yang terdapat dalam contoh uji air dan air limbah. Pengukuran TSS dilakukan berdasarkan acuan SNI 06-6989.3-2004. Berikut merupakan perhitungan TSS.

$$\text{TSS} = \frac{a - b}{c} \times 1000 \dots\dots\dots(3.4).$$

Keterangan:

- TSS = total padatan tersuspensi (mg/L)
 a = berat kertas saring + residu kering (mg)
 b = berat kertas saring (mg)
 c = sampel (mL)

6. Kromi (Cr)

Kromi (Cr) merupakan logam berat yang terkandung pada limbah berwarna abu-abu, ditambang dalam bentuk bijih kromit, tidak berbau, dan mengkilat. Krom (Cr) bersifat paramagnetik (sedikit tertarik oleh magnet). Konsentrasi logam

kromium dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spectrometry (AAS)* dengan teknik destruksi asam.

3.6 Metode Analisis Data

3.6.1 Pengukuran Efisiensi

Pengukuran data terhadap variabel seperti pH, kekeruhan, BOD, COD, TSS, TDS, DO, dan krom akan dilakukan dengan *Microsoft excel* yang disajikan dalam bentuk tabel dan grafik hubungan antara waktu dan variabel yang diamati. Selanjutnya melakukan perhitungan efisiensi penyerapan limbah pada proses fitoremediasi menggunakan eceng gondok dan lembang terhadap air limbah laboratorium. Untuk mengetahui efisiensi penurunan kandungan limbah menggunakan perhitungan efisiensi. Perhitungan efisiensi didasarkan pada penurunan masing - masing parameter selama perlakuan. Berikut persamaan perhitungannya (Muljadi, 2009):

$$\frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \dots\dots\dots(3.8).$$

Keterangan:

E = Nilai efisiensi (%).

C₀ = Konsentrasi pencemar sebelum perlakuan.

C_i = Konsentrasi pencemar setelah perlakuan

3.6.2 Uji Anova

Uji Anova merupakan uji yang memberikan gambaran hasil yang hampir sama dengan uji T, dimana hasilnya memberikan gambaran hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat (Fathnur, 2018). Uji ANOVA atau uji F digunakan untuk menguji lebih dari dua perlakuan. Analisis varians satu arah digunakan untuk mengolah data yang hanya mengenal satu variabel pembanding, sehingga pada analisis *one way* ini menggunakan variabel tunggal yang akan diukur dengan sejumlah sampel untuk menguji hipotesa nol dari populasi yang diperkirakan memiliki rata-rata yang sama. Berikut disajikan rumus manual dalam perhitungan uji anova pada Tabel 3.2 dan Hipotesa yang digunakan dalam uji ini.

Tabel 3. 2 Rumus manual perhitungan anova

Sumber Kergaman	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas (db)	Kuadrat Tengah (KT)	F Hitung	F Tabel
Rata - rata Kolom	JKK	k-1	$S1 = JKK/(k-1)$	S1/S2	(α, db, dbg)
Galat	JKG	k(n-1)	$S2 = JKG/(k(n-1))$		
Total	JKT	nk-1			

Sumber: Sugiharto (2009:4)

Keterangan :

JKT	: $(\sum X^2) - (G^2/N)$
JKK	: $(\sum (T^2/n)) - (G^2/N)$
JKG	: JKT - JKK
KTK	: $JKK/(k-1)$
F hitung	: $JKT - JKK$
α	: 0,05
X	: Nilai masing – masing sampel pada semua kelompok dikuadratkan, kemudian hasil keseluruhan ditotal
T	: Total X masing – masing kelompok
G	: Semua nilai sampel dijumlah, kemudian hasilnya dikuadratkan
n	: Jumlah sampel masing – masing kelompok
N	: Jumlah sampel keseluruhan
k	: Banyaknya kelompok

Berikut adalah hipotesis yang digunakan pada uji anova satu arah

Metode perlakuan limbah : $\mu_1, \mu_2, \text{ dan } \mu_3$

H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

“Rata-rata penurunan nilai pada metode perlakuan limbah tidak berbeda nyata”

H_1 : $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

“Rata-rata penurunan nilai pada metode perlakuan limbah berbeda nyata

Kriteria penerimaan hipotesis:

1. H_0 diterima jika F hitung < F tabel
2. H_0 ditolak jika F hitung > F table

3.6.3 Uji Tukey

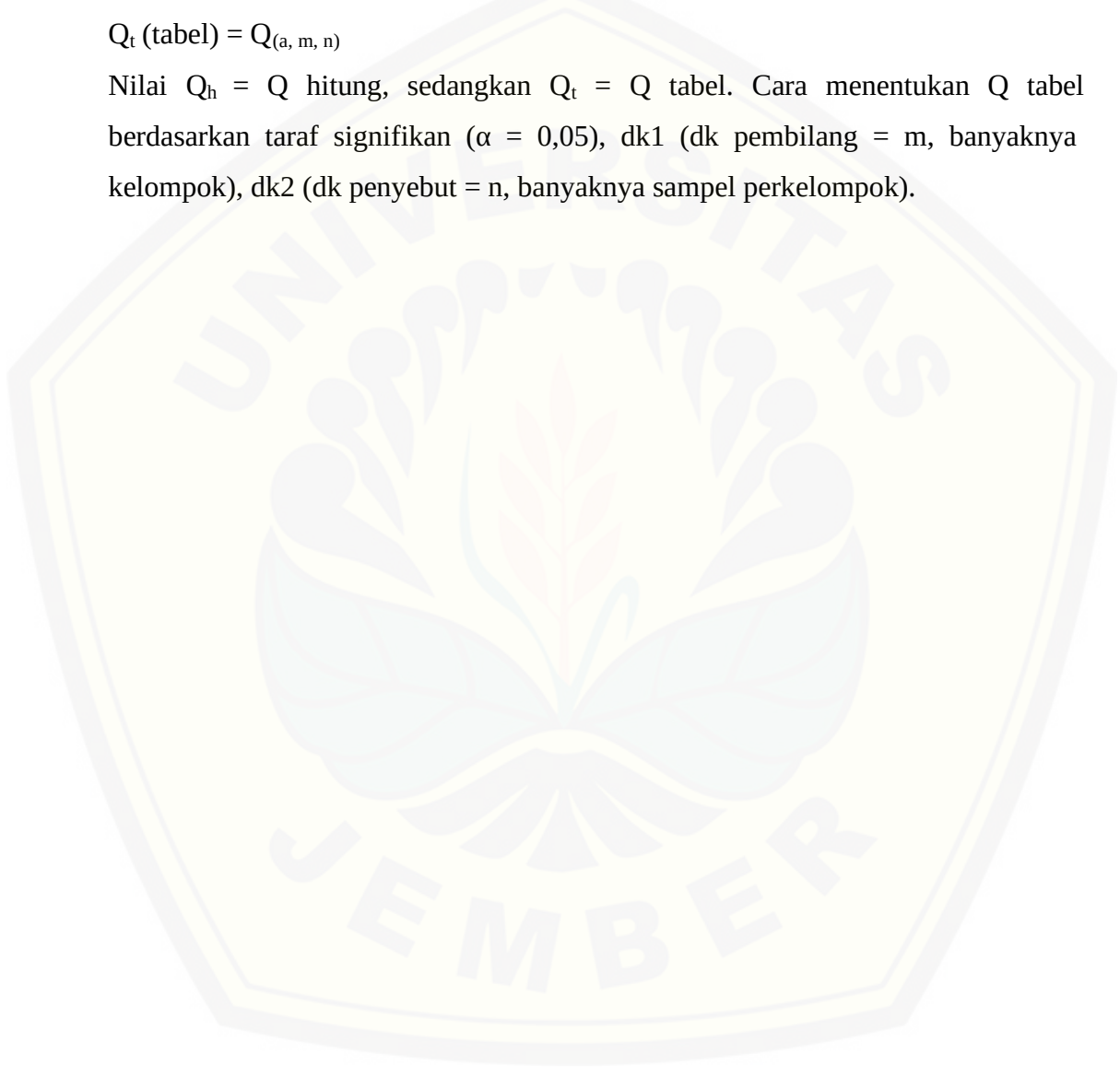
Menurut Firdaus *et al* (2013), uji *Tukey* (Uji Beda Nyata Jujur) merupakan uji yang dilakukan untuk mengetahui kelompok perlakuan yang memiliki pengaruh sama atau berbeda antara satu dengan yang lainnya. Uji *tukey*

memerlukan satu nilai tunggal untuk menentukan nyata atau tidaknya semua beda pasangan nilai tengah. Hipotesis yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Tolak H_0 (terima H_1) jika $Q_h > Q_t$
2. Terima H_0 (tolak H_1) jika $Q_h < Q_t$

$$Q_t (\text{tabel}) = Q_{(\alpha, m, n)}$$

Nilai $Q_h = Q$ hitung, sedangkan $Q_t = Q$ tabel. Cara menentukan Q tabel berdasarkan taraf signifikan ($\alpha = 0,05$), dk1 (dk pembilang = m , banyaknya kelompok), dk2 (dk penyebut = n , banyaknya sampel perkelompok).



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Karakteristik air limbah laboratorium di Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember melebihi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No.5 Tahun 2014 dengan kadar COD sebesar 251,6 mg/L, BOD 84,18 mg/L, TSS sebesar 235 mg/L, TDS sebesar 3.766 mg/L, pH sebesar 4,28.
2. Tanaman lembang lebih efisien dalam menurunkan bahan pencemar limbah dibandingkan dengan eceng gondok, dengan nilai efisiensi pada parameter TSS 84%, kekeruhan 92,18%, COD 64%, BOD 74%, dan Cr 49%. Sedangkan nilai efisiensi yang didapat pada Eceng Gondok untuk parameter TSS 82%, kekeruhan 55,12%, COD 54%, BOD 64%, dan Cr 31%.
3. Tanaman lembang mampu bertahan hidup lebih lama serta memiliki pertumbuhan yang lebih tinggi dibandingkan dengan eceng gondok pada air limbah Laboratorium Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

5.2 Saran

Saran yang diberikan pada penelitian selanjutnya yaitu.

1. Perlu dilakukan pengamatan tanaman lembang hingga tanaman mati untuk mengetahui daya hidup tanaman dalam air limbah laboratorium FTP UNEJ.
2. Perlu dilakukan pengukuran pH tanah, jenis tanah, kandungan bahan organik tanah yang digunakan untuk menanam tanaman lembang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulgani, H., dan Izzati, M. 2014. Kemampuan Tumbuhan *Typha Angustifolia* Dalam Sistem *Subsurface Flow Constructed Wetland* Untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Kerupuk (Studi Kasus Limbah Cair Sentra Industri Kerupuk Desa Kenanga Kecamatan Sindang Kabupaten Indramayu Jawa Barat). *Jurnal Bioma*. 16(1):1-10.
- Adli, H. 2012. Pengolahan Air limbah Laboratorium Dengan Metode Presipitasi dan Adsorpsi Untuk Penurunan Kadar Logam Berat. *Skripsi*. Depok: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Program Studi Kimia Universitas Indonesia.
- Amsah, A., Budijono, Hasbi, M. 2014. Reduction of TSS and Ammonia in the Tofu Liquid Waste by Combined Process Biofilter Mediated Plastic and Water Plants for Media of Fish Life. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Riau*. 1(2): 1-8.
- Angraini., Sutisna, M, dan Pratama, Y. 2014. Pengolahan Limbah Cair Tahu Secara Anaerob Menggunakan Sistem *Batch*. *Jurnal Institut Teknologi Nasional*.1(2):1-10.
- Arasy, S. A., Elystia, S, dan David, A. 2016. Peningkatan Konsentrasi Pb Menggunakan *Typha Latifolia* Dengan Metode *Sub Surface Flow Constructed Wetland*. *Jurnal FTeknik*. 3(1):1-7.
- Artiyani, A., dan Firmansyah, N. H. 2016. Kemampuan Filtrasi *Upflow* Pengolahan Filtrasi *Upflow* Dengan Media Pasir Zeolit Dan Arang Aktif Dalam Menurunkan Kadar Fosfat Dan Deterjen Air Limbah Domestik. *Jurnal Teknik Industri*. 6(1):8–15.
- Asmadi., Endro, S, dan Oktiawan, W. 2009. Pengurangan Chrom (Cr) dalam Limbah Cair Industri Kulit Pada Proses Tannery Menggunakan Senyawa Alkali Ca(OH)_2 , NaOH, dan NaHCO_3 (Studi Kasus PT.Trimulyo Kencana Mas Semarang). *Jurnal Air Indonesia*. 5(1):41-54.
- Atima, W. 2015. BOD dan COD Sebagai Parameter Pencemar Air dan Baku Mutu Air Limbah. *Biology Science dan Education*. 4(1):83-93.

- A'yun, D.Q. 2015. Penurunan Konsentrasi Ammonium (NH_4^+) Pada Limbah Laundry Dengan Tumbuhan Cattail (*Typha Angustifolia*) dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*). *Skripsi*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Badan Pengembangan Dan Pemberdayaan Sumber Daya Manusia Kesehatan. 2017. *Pengantar Laboratorium Medik*. Cetakan 1. Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Bais, S. S., Lawrence, K, dan Pandey, A. K. 2016. Phytoremediation Potential of *Eichhornia crassipes* (Mart) Solms. *International Journal of Environment Agriculture and Biotechnology*. 1(2).
- Budisantoso, R. dan Tangahu, B.V. 2007. *Pemanfaatan Tanaman Eceng Gondok Untuk Phytoremediasi Air Tercegar Oli Bekas*. <http://elib.pdii.lipi.go.id/katalog/index.php/searchkatalog/byld/51007>. [Diakses pada tanggal 29 Maret 2019].
- Christiany, A., Suprihatin, Indrasti, N.S. 2019. Potensi Teknis Ekonomis Daur Ulang Efluen Air Limbah Industri Tekstil Menggunakan Aplikasi Arang Aktif. *Jurnal Pengolahan Sumber Daya Alam dan Lingkungan*. 9(2):229-240.
- Elystia, S., Sasmita, A, dan Purwanti. 2014. Pengolahan Kandungan Cod Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Oleh *Typha Latifolia* Dengan Metode Fitoremediasi. *Jurnal Dampak*. 11(2):88-95.
- Faisal, M., Harmadi, dan D. Puryanti. 2016. Perancangan Sistem Monitoring Tingkat Kekeruhan Air Secara Realtime Menggunakan Sensor TSD-10. *Jurnal Ilmu Fisika*. 8(1):1-10.
- Fathnur, S. K. 2018. *Metodologi Penelitian Farmasi Komunitas dan Eksperimental*. Yogyakarta: CV Budi Utama.
- Fildzah., dan Adany. 2017. Proses Pengolahan Air Limbah Secara Fisika, Kimia, dan, Biologi. *Journal of Environmental Management*. 1-7.
- Firdaus, M. F. P., Madyawati, S. P., Widjaja, N. S., Lamid, M., Rachmawati, K,

- dan Warsito, S. H. 2013. Efektivitas Penambahan Kombinasi Tujuh Enzim Terhadap Estimasi Pertambahan Berat Badan Sapi Potong Peranakan Simental. *Jurnal Airlangga*. 2(1).
- Ginting, J. A. J., Budi, A. S, dan Budi, E. 2012. Penggunaan Membran Keramik Berbasis Zeolit dan Clay Dengan Karbon Aktif Sebagai Aditif Untuk Penurunan Kadar Fe Dan Mn Pada Air Tanah Daerah Bekasi. *Prosiding Seminar Nasional Fisika 2012*. 1. 9 Juni 2012:72–75.
- Hariyanti, F. 2016. Efektifitas *Subsurface Flow-Wetlands* Dengan Tanaman Eceng Gondok dan Kayu Apu Dalam Menurunkan Kadar COD dan TSS Pada Limbah Pabrik Saus. *Skripsi*. Semarang: Universitas Muhammadiyah Semarang.
- Hartanti, P. I., Tunggul, A., Haji, S, dan Wirosodarmo, R. 2013. Pengaruh Kerapatan Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) Terhadap Penurunan Logam Chromium Pada Limbah Cair Penyamakan Kulit. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 1(2):31–37.
- Hasyim, N. A. 2016. Potensi Fitoremediasi Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) Dalam Mereduksi Logam Berat Seng (Zn) dari Perairan Danau Tempe Kabupaten Wajo. *Skripsi*. Makasar: Universitas Islam Negeri Alauddin Makasar.
- Heriyani, O dan Mugisidi. 2016. Pengaruh Karbon Aktif Pada pH Hasil Filtrasi Air Banjir. *Jurnal Teknoka*. 1(2):199-202.
- Herman, Y., Djo, W., Suastuti, D. A, dan Suprihatin, I. E. 2017. Fitoremediasi Limbah Cair UPT Laboratorium Analitik Universitas Udayana Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Ditinjau dari Penurunan Nilai COD dan Kandungan Logam Berat Cu dan Cr. *Jurnal Media Sains*. 1(2):63–70.
- Hidayah, E.N., Djalalembah, A., Asmar, G.A, dan Cahyonugroho, O.H. 2018. Pengaruh Aerasi dalam *Constructed Wetland* Pada Pengolahan Air Limbah Domestik. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 6(2):155-161.

- Imron., Sriyani, N., Dermiyati., Suroso, E, dan Yuwono, S.B. 2019. Fitoremediasi Dengan Kombinasi Gulma Air Untuk Memperbaiki Kualitas Air Limbah Domestik. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 17(1):51-60.
- Irhamni., Pandia, S., Purba, E, dan Hasan, W. 2018. Analisis Limbah Tumbuhan Fitoremediasi (*Typha Latifolia*, Eceng Gondok, Kiambang) Dalam Menyerap Logam Berat. *Jurnal Serambi Engineering*. 3(1):344-351.
- Jayashree, V.H. 2014. Comparative Phytochemical Studies and Antimicrobial Potential of Fruit Extracts of *Feronia Limonia* Linn. *Journal of Pharmacy and Pharmaceutic*. 6(1):731-734.
- Kendarto, D.R., Purba, V., Bafdal, N, dan Dwiratna, S. 2017. Penggunaan Filter Zeolit dan Karbon Aktif Untuk Menurunkan Sisa Klor dan Peningkatan pH Air Hujan: Studi Kasus di Gedung Fakultas Teknik Industri Pertanian Universitas Negeri Sebelas Maret Surakarta. *Prosiding Seminar Nasional Fakultas Pertanian UNS*. 1(1). 19 September 2017:54-59.
- Khiatuddin, M. 2003. *Melestarikan Sumber Daya Air Dengan Teknologi Rawa Buatan*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Kordi, G. H. dan Tancung, A. 2007. *Pengolahan Kualitas Air dalam Budidaya Perairan*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Kristanto, P. 2004. *Ekologi Industri*. Yogyakarta: Andi.
- Manasika, A. P. 2015. Analisis Pengaruh Variasi Densitas Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes (Mart.) Solm*) Pada Fitoremedasi Air Limbah Kopi. Jember: Universitas Jember.
- Mangkoediahrdjo, S. 2005. Fitoteknologi dan Ekotoksikologi dalam Desain Operasi Pengomposan Sampah. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan-Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS Surabaya. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Lingkungan III ITS*. 1(1). 27 September 2005:1-10.
- Maryani, D., Masduqi, A, dan Moesriati, A. 2014. Pengaruh Ketebalan Media dan *Rate Filtrasi* Pada *Sand Filter* dalam Menurunkan Kekeruhan dan Total *Coliform*. *Jurnal Teknik Pomits*. 3(2):76-81.

- Masfiah. 2016. Kajian Sistem *Constructed Wetland* Aliran Bawah Permukaan (*Subsurface Flow*) Menggunakan Eceng Gondok pada Penanganan Limbah Cair Pengolahan Kopi. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Mitralab, B.S. 2019. Hasil Uji Laboratorium FTP-THP Universitas Jember. Surabaya.
- Muhajir, M.S. 2013. Penurunan Limbah Cair BOD dan COD Pada Industri Tahu Menggunakan Tanaman *Cattail (Typha Angustifolia)* Dengan Sistem *Constructed Wetland*. *Skripsi*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Mukaromah, U. 2019. Penanganan Limbah Cair Pegolahan Kedelai Edamame (*Glycinmax*) Menggunakan Fitoremediasi Eceng Gondok. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Muljadi. 2009. Efisiensi Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Batik Cetak dengan Metode Fisika-Kimia dan Biologi Terhadap Penurunan Parameter Pencemaran (BOD, COD, dan Logam Berat Krom (Cr)). *Jurnal Ekuilibrium*. 8(1):7-16.
- Nasrullah, S. R., Hayati, U, dan Kadaria, P. 2014. Pengolahan Limbah Karet Dengan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman *Typha Angustifolia*. *Jurnal Teknologi Lahan Basah*. 5(1):1-10.
- Natalia dan Firdaus. 2017. Penurunan Kadar Kromium Heksavalen (Cr^{6+}) dalam Limbah Batik Menggunakan Limbah Udang (Kitosan). *Jurnal Teknik*. 38(2):1-4.
- Novita, E., Hermawan, A. A, dan Wahyuningsih, S. 2019. Komparasi Proses Fitoremediasi Air Limbah Pembuatan Tempe Menggunakan Tiga Jenis Tanaman Air. *Jurnal Agroteknologi*. 13(1):16-24.
- Nurhayati, I., Sugito, dan Pertiwi, A. 2018. Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Dengan Adsorpsi dan Pretreatment Netralisasi dan Koagulasi. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*. 10(2):125-138.

- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014. *Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya*. 25 Oktober 2014. Jakarta
- Putera, R.D.H. 2012. Ekstraksi Serat Selulosa Dari Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) Dengan Variasi Pelarut. *Skripsi*. Depok: Universitas Indonesia.
- Rahmawati, A., Zaman, B, dan Purwono, P. 2016. Kemampuan Tanaman Kiambang (*Salvinia Molesta*) Dalam Menyisihkan BOD dan Fosfat Pada Limbah Domestik (*Grey Water*) Dengan Sistem Fitoremediasi Secara Kontinyu. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 5(4):1-10.
- Raimon. 2011. Pengolahan Air Limbah Laboratorium Terpadu Dengan Sistem Kontinyu. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*. 22(2):18-27.
- Ratnani, R.D., Hartati, I, dan Kurniasari, L. 2010. Pemanfaatan Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) Untuk Menurunkan Kandungan COD (*Chemical Oxygen Demand*), pH, Bau, dan Warna Pada Air Limbah Tahu. *Skripsi*. Semarang: Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- Rahayu, A., dan Yulianti, I. 2015. Pengaruh Perubahan Massa Zeolit Terhadap Kadar Ph Limbah Pabrik Gula Melalui Media Filtrasi. *Jurnal Fisika*. 5(2):1-5.
- Rondonuwu, S.B. 2014. Fitoremediasi Limbah Merkuri Menggunakan Tanaman dan Sistem Reaktor. *Jurnal Ilmiah Sains*. 14(1):52-59.
- Ruhmawati, T., Sukandar, D., Karmini, M, dan Roni, T. 2017. Penurunan Kadar *Total Suspended Solid* (TSS) Air Limbah Pabrik Tahu Dengan Metode Fitoremediasi. *Jurnal Permukiman*. 12(1):25-32.
- Safarrida, A, Ngadiman, dan Widada, J. 2015. Fitoremediasi Kandungan Kromium Pada Limbah Cair Menggunakan Tanaman Air. *Jurnal Bioteknologi dan Biosains Indonesia*. 2(2):55-59.

- Safrizal, R.M. 2016. Pengaruh Biomassa Eceng Gondok dan Aerasi Terhadap Penurunan Konsentrasi Air Limbah Pengolahan Kopi. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Said, N.I. 2010. Metoda Penghilangan Logam Berat (As, Cd, Cr, Ag, Cu, Pb, Ni, dan Zn) di dalam Air Limbah Industri. *Jurnal Teknik Kimia*. 6(2):136-148.
- Samudro, G., dan Mangkoedihardjo, S. 2014. Review on BOD, COD, and BOD/COD Ratio: A Triangle Zona For Toxic, Biodegradable and Stable Levels Review on BOD, COD, and BOD/COD Ratio: A Triangle Zone For Toxic, Biodegradable and Stable Levels. *International Journal Of Academic Research*. 2(4):235-239.
- Septiawan, M., Sedyawati, S.M.R, dan Mahatmanti, F.W. 2014. Penurunan Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Tanaman *Cattail* Dengan Sistem *Constructed Wetland*. 3(1):22-27.
- Shelef, O., Gross, A.S, dan Rachmilevitch, S. 2013 Role of Plants in A Constructed Wetland: Current and New Perspectives. *Jurnal Air*. 5(1):401-409.
- Siswandari, A. M., Hindun, I, dan Sukarsono. 2016. Fitoremediasi Phospat Limbah Cair Laundry Menggunakan Tanaman Melati Air (*Echinodorus paleaefolius*) dan Bambu Air (*Equisetum hyemale*) sebagai Sumber Belajar Biologi. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*. 2(3):222-230.
- Sriyana, H. Y. 2006. Kemampuan Eceng Gondok dalam Menurunkan Kadar Pb(II) dan Cr(IV) Pada Limbah dengan Sistem Air Mengalir dan Sistem Air Menggenang. *Tesis*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Standar Nasional Indonesia Nomor 06-6989.14 Tahun 2004. *Cara Uji Oksigen Terlarut Secara Yodometri (Modifikasi Azida)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Standar Nasional Indonesia. 2004. *Air dan air limbah - Bagian 14: Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (Total Suspended Solid (TSS)) secara gravimetri*. Jakarta: BSN.

Sugiharto. 1987. *Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.

Sugiharto, T. 2009. *Analisis Varians*. Semarang: Bumi Pustaka.

Suharto, Ign. 2011. *Limbah Kimia dalam Pencemaran Udara dan Air*. Yogyakarta: Andi.

Sulastuti, I., Anggraini, S. P. A, dan Iskandar, T. 2017. Pengaruh Perbandingan Jumlah Media Filter (Pasir Silika, Karbon Aktif, Zeloit) dalam Kolom Filtrasi Terhadap Kualitas Air Mineral. *Jurnal Penelitian Mahasiswa Teknik Sipil dan Teknik Kimia*. 1(1):1-5.

Suprihatin., dan Indrasti, N. S. 2010. Penyisihan Logam Berat dari Air limbah Laboratorium dengan Metode Presipitasi dan Absorpsi. *Jurnal Makna Sains*. 14(1):44-50.

Suswati, A. C. S. P., dan Wibisono, G. 2013. Pengolahan Limbah Domestik Dengan Teknologi Tanam Tanaman Air (*Constructed Wetlands*). *Jurnal Teknologi Indonesia Hijau*. 2(2):70-77.

Udyani, K, dan Wulandari, Y. 2014. Aktivasi Zeolit Alam Untuk Peningkatan Kemampuan Sebagai Adsorben Pada Pemurnian Biodiesel. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan II*. 1(7). 10 Oktober 2014. *Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya*:512-593.

Utami, L.I., Wihandhita, W., Marsela, S., Wahyusi, K.N. 2017. Pengolahan Limbah Cair Minyak Bumi Secara Biologi Aerob Proses *Batch*. *Jurnal Teknik Kimia*. 11(2):37-41.

Vera, V., Elvitriana, dan Afrianto. 2016. Biosorpsi BOD dan TSS Limbah Laundry oleh Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*). *Jurnal Engineering*. 1(1):50-53.

- Widyastuti, S., dan Sari, A. S. 2011. Kinerja Pengolahan Air Bersih Dengan Proses Filtrasi dalam Mereduksi Kesadahan. *Jurnal Teknik Waktu*. 9(1):42-53.
- Winata, A.Y. dan Tangahu, B.V. 2018. Fitoremediasi Tanah Tercemar Pelumas Bekas Menggunakan Akar Wangi (*Vetiveria Zizanioides*). *Jurnal Purifikasi*. 18(2):97-105.
- Wimbaningrum, R., Arianti, I, dan Sulistiyowati, H. 2020. Efektivitas Tanaman Lembang (*Typha angustifolia*) di Lahan Basah Buatan dalam Penurunan Kadar TSS, BOD, dan Fosfat Pada Air Limbah Industri Laundry. *Jurnal Berkala Sainstek*. 8(1):25-28.
- Yuliasuti, R., dan Cahyono, H. B. 2017. Efektifitas Pengolahan Limbah Ciar Industri Asbes Menggunakan Flokulan dan Adsorben. *Jurnal Teknologi dan Inovasi Industri*. 1(2):77-83.
- Zulfa, O., Budiyo, dan N.A.Y. Dewanti. 2016. Pengaruh Variasi Lama Kontak Fitoremediasi Tanaman Kiambang (*Salvinia Molesta*) terhadap Kadar Kadmium (Cd) pada Limbah Cair Home Industry Batik "X" Magelang. *Kesehatan Masyarakat*. 4(5):238-426.
- Zulkoni, A., Rahyuni, D, dan Nasirudin. 2017. Pengaruh Pemangkasan Akar Jati dan Inokulasi Jamur Mikoriza Arbuskula Terhadap Fitoremediasi Tanah Tercemar Merkuri di Kokap Kulonprogo Yogyakarta. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*. 24(1):17-22.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi penelitian



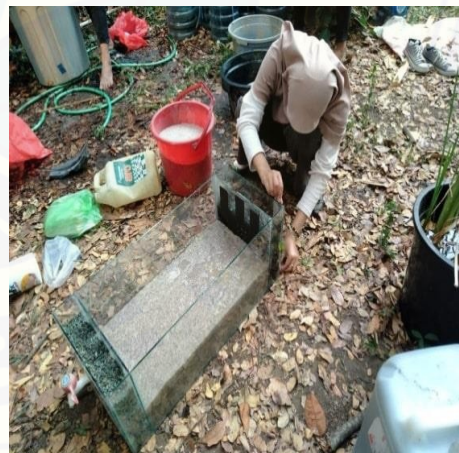
Pengambilan tanaman eceng gondok



Proses pembuatan reaktor fitoremediasi



Proses aklimatisasi



Proses pengisian reaktor filtrasi dan adsorpsi



Proses filtrasi dan adsorpsi



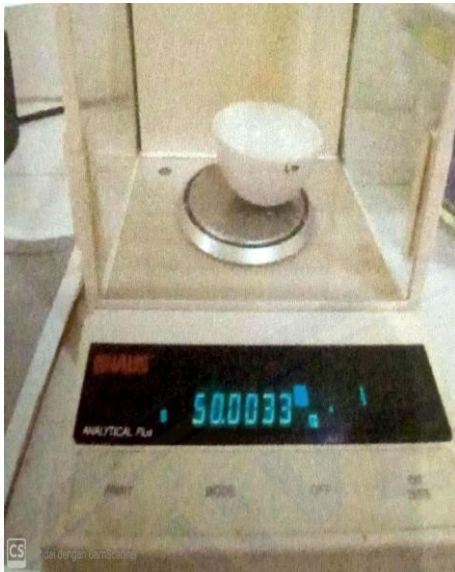
Proses penanganan air limbah menggunakan tanaman *typha angustifolia*



Proses pengukuran kekeruhan



Proses pengukuran TSS



Proses pengukuran TDS



Proses pengukuran pH



Proses pengukuran BOD menggunakan botol wrinkler



Proses pengukuran COD menggunakan Spektrofotometer

Lampiran 2 Data pengukuran 2 harian

Tabel 2.1 Pengukuran variable kekeruhan

Hari ke-	E				T				K	
	U1	U2	U3	Rerata	U1	U2	U3	Rerata	U1	U2
0	126,67	126,34	127,13	126,71	126,67	126,34	127,13	126,71	126,67	126,44
2	84,80	84,76	84,24	84,60	77,50	95,83	96,80	90,04	82,54	67,43
4	75,53	75,50	75,57	75,53	68,60	75,90	80,60	75,03	80,60	59,95
6	52,73	53,96	53,17	53,29	41,63	36,10	48,64	42,12	72,10	36,40
8	39,03	39,03	39,02	39,03	26,70	19,40	33,13	26,41	67,20	28,36
10	34,65	34,77	34,80	34,74	12,45	16,24	11,90	13,53	30,80	21,70
12	25,25	25,06	25,28	25,20	9,78	11,00	10,90	10,56	24,00	13,60
14	40,50	47,53	36,63	41,55	7,53	7,57	8,47	7,86	82,47	19,70

Tabel 2.2 Pengukuran pH

Hari ke-	Perlakuan										
	E			Rerata	T			Rerata	K		
	U1	U2	U3		U1	U2	U3		U1	U2	U3
0	4,60	4,80	4,70	4,70	4,60	4,80	4,70	4,70	4,60	4,80	4,70
2	5,90	5,00	6,00	5,63	6,10	6,10	6,10	6,10	6,50	5,30	6,10
4	6,00	6,40	6,60	6,33	6,30	6,60	6,40	6,43	6,10	6,60	6,43
6	6,90	6,50	7,00	6,80	6,30	7,00	7,10	6,80	6,90	6,60	7,10
8	7,00	6,60	7,60	7,07	7,30	7,40	7,30	7,33	7,00	7,30	7,30
10	7,00	7,10	7,90	7,33	7,20	7,60	7,30	7,37	7,50	7,60	7,50
12	8,40	8,00	8,10	8,17	8,20	8,70	7,30	8,07	7,70	7,80	7,70
14	8,50	8,00	8,10	8,20	8,30	8,60	8,60	8,50	7,50	7,40	7,50

Tabel 2.3 Pengukuran TSS

Hari ke-	Perlakuan										
	E			Rerata	T			Rerata	K		
	Hasil (mg/l)				Hasil (mg/l)				Hasil (mg/l)		
	U1	U2	U3		U1	U2	U3		U1	U2	U3
0	82,00	120,00	100,00	100,67	82,00	120,00	100,00	100,67	82,00	120,00	100,00
2	72,00	122,00	100,00	98,00	74,00	116,00	96,00	95,33	80,00	102,00	96,00
4	58,00	80,00	98,00	78,87	44,00	74,00	82,00	66,65	70,00	88,00	82,00
6	42,00	58,00	78,00	59,33	36,00	60,00	78,00	58,00	56,00	72,00	72,00
8	36,00	40,00	46,00	40,65	30,00	44,00	70,00	48,05	52,00	60,00	60,00
10	26,00	28,00	40,00	31,3	26,00	36,00	52,00	37,86	40,00	56,00	56,00
12	24,00	26,00	30,00	26,6	20,00	28,00	44,00	30,67	36,00	40,00	40,00
14	16,00	16,00	21,20	17,73	16,00	14,00	16,00	15,3	32,00	32,00	32,00

Tabel 2.4 Pengukuran TDS

Hari ke-	Perlakuan									
	E			Rerata	T			Rerata	K	
	U1	U2	U3		U1	U2	U3		U1	U2
0	2294,00	2316,00	2392,00	2334,00	2294,00	2316,00	2392,00	2334,00	2294,00	2316,00
2	2300,00	2952,00	2820,00	2690,7	2456,00	2698,00	2666,00	2606	2300,00	2698,00
4	2426,00	3156,00	3750,00	3110,	2502,00	2826,00	2924,00	2750,7	2636,00	2826,00
6	2454,00	3434,00	3392,00	3093	2584,00	3160,00	3106,00	2950,00	2868,00	3160,00
8	3014,00	4172,00	3860,00	3682,00	2772,00	3992,00	3192,00	3318	3056,00	3992,00
10	3490,00	4320,00	4784,00	4198,00	2916,00	4418,00	3684,00	3672	3480,00	4418,00
12	4466,00	4952,00	4926,00	4781,33	3184,00	4876,00	4018,00	4026,00	3916,00	4876,00
14	5068,00	7340,00	5318,00	5908,67	4454,00	5420,00	4948,00	4940	4324,00	5420,00

Tabel 2.5 Pengukuran DO

Hari ke-	Perlakuan									
	E			Rerata	T			Rerata	K	
	U1	U2	U3		U1	U2	U3		U1	U2
0	0,027	0,029	0,030	0,028	0,026	0,029	0,030	0,028	0,030	0,029
2	0,025	0,032	0,029	0,029	0,031	0,030	0,029	0,030	0,028	0,029
4	0,027	0,029	0,031	0,029	0,033	0,029	0,030	0,029	0,028	0,029
6	0,028	0,029	0,033	0,028	0,029	0,031	0,027	0,031	0,030	0,029
8	0,027	0,027	0,031	0,030	0,032	0,029	0,030	0,030	0,028	0,027
10	0,032	0,030	0,033	0,032	0,035	0,032	0,033	0,033	0,030	0,027
12	0,030	0,033	0,035	0,031	0,032	0,031	0,033	0,032	0,031	0,029
14	0,032	0,030	0,033	0,033	0,035	0,030	0,035	0,033	0,030	0,029

Lampiran 3 Data pengukuran Awal dan Akhir

Tabel 3.1 Pengukuran COD

Perlakuan	Nilai Awal (mg/l)	Nilai Akhir (mg/l)
E (eceng gondok)	251,6	115,00
T (typha)	251,6	90
K (kontrol)	251,6	148,67

Tabel 3.2 Pengukuran BOD

Perlakuan	Nilai Awal (mg/l)	Nilai Akhir (mg/l)
E (eceng gondok)	84,18	30,62
T (typha)	84,18	21,63
K (kontrol)	84,18	62,22

Tabel 3.3 Pengukuran Cr

Perlakuan	Nilai Awal (mg/L)	Nilai Akhir (mg/L)
Eceng Gondok (E)	<0,0168	0,0117
Typha (T)	<0,0168	0,0085
Kontrol (K)	<0,0168	0,0163

Lampiran 4 Data karakteristik tanaman air

Tabel 4.1 Data karakteristik tanaman eceng gondok

Hari ke-	E								
	U1			U2			U3		
	Hijau	Kuning	Coklat	Hijau	Kuning	Coklat	Hijau	Kuning	Coklat
1	14	0	0	13	0	0	12	0	0
2	14	0	0	12	1	0	10	0	0
3	11	3	0	9	4	0	9	3	0
4	9	5	0	8	5	0	8	4	0
5	6	3	2	6	4	3	6	4	2
6	5	4	5	4	6	3	5	5	2
7	3	6	5	3	5	5	3	6	3
8	1	7	6	2	3	8	2	7	3
9	0	9	5	0	5	8	0	8	4
10	0	7	7	0	4	9	0	6	6
11	0	5	9	0	3	10	0	5	7
12	0	4	10	0	2	11	0	3	9
13	0	2	12	0	1	12	0	2	10
14	0	1	13	0	0	13	0	0	12

Tabel 4.2 Data karakteristik tanaman *typha angustifolia*

Hari ke-	T								
	U1			U2			U3		
	Hijau	Kuning	Coklat	Hijau	Kuning	Coklat	Hijau	Kuning	Coklat
1	11	0	0	12	0	0	11	0	0
2	11	0	0	12	0	0	11	0	0
3	11	0	0	12	0	0	11	0	0
4	11	2	0	12	0	0	11	0	0
5	10	1	0	12	0	0	10	1	0
6	8	3	0	10	2	0	10	1	0
7	7	3	1	8	3	1	8	3	0
8	6	2	3	8	2	2	8	2	1
9	5	2	4	6	4	2	7	3	1
10	5	1	4	5	5	2	5	4	2
11	3	4	4	3	4	5	4	3	4
12	3	4	4	2	4	6	2	4	5
13	2	3	6	0	6	6	1	3	7
14	1	1	9	0	4	8	0	3	8

Lampiran 5 Data karakteristik tanaman air

Tabel 5.1 Data hasil uji *tukey*

	Kompirasi	COD	BOD	Cr
Beda Absolut	K dengan E	34	31,601	0,005
	K dengan T	59	40,585	0,008
	E dengan T	25	8,984	0,003
Nilai Kritis		8,84	26,661	0,0003

