



**PENANGANAN LIMBAH CAIR PERENDAMAN KEDELAI
PEMBUATAN TEMPE MENGGUNAKAN
FITOREMEDIASI ECENG GONDOK
(*Eichornia crassipes*)**

SKRIPSI

Oleh

**Adinda Putri Juwita Sari
NIM 131710201080**

**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS JEMBER
2019**



**PENANGANAN LIMBAH CAIR PERENDAMAN KEDELAI
PEMBUATAN TEMPE MENGGUNAKAN
FITOREMEDIASI ECENG GONDOK
(*Eichornia crassipes*)**

SKRIPSI

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

Oleh

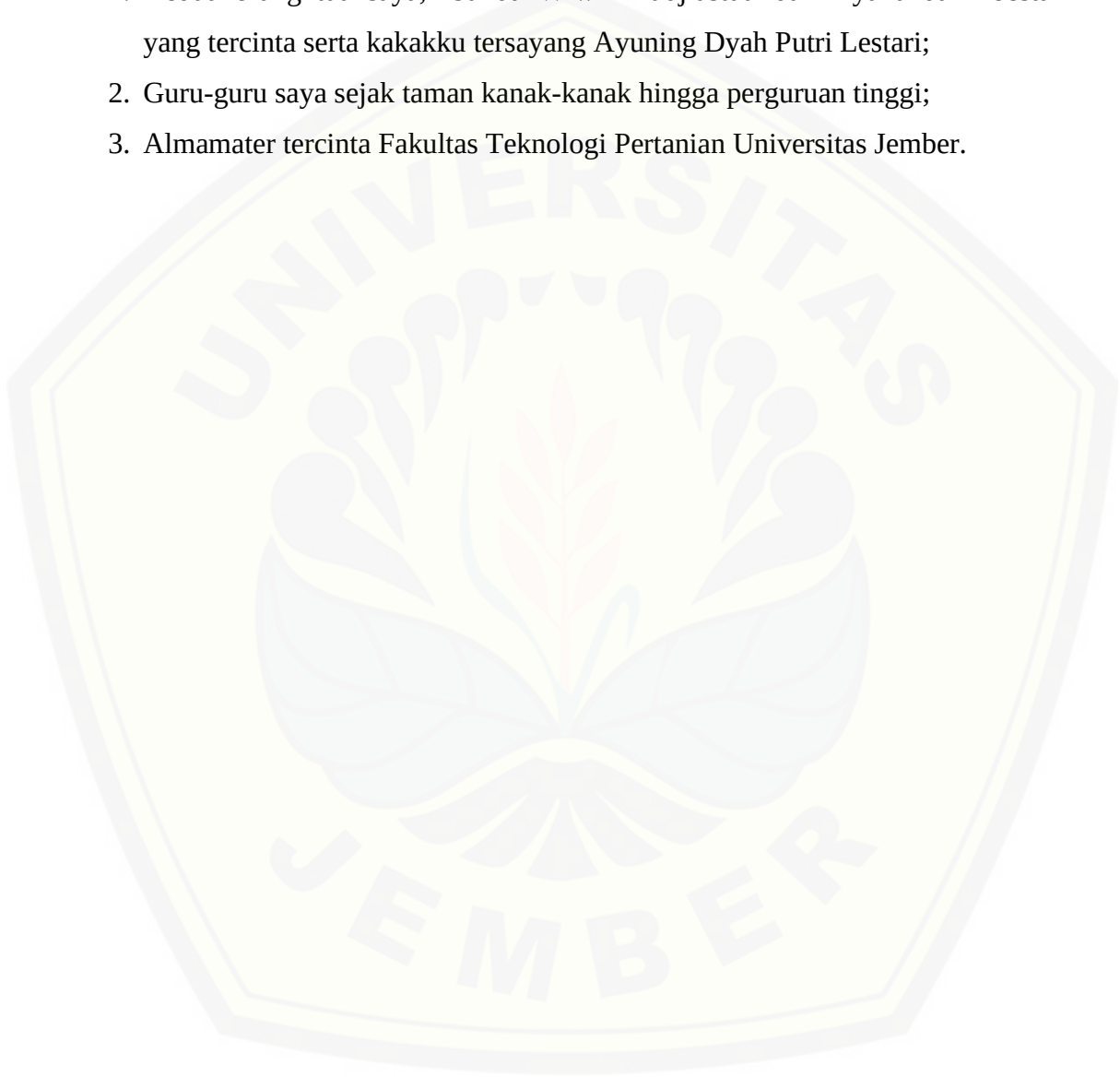
**Adinda Putri Juwita Sari
NIM 131710201080**

**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS JEMBER
2019**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan sebagai rasa terima kasih saya yang tidak terkira kepada:

1. Kedua orang tua saya, Ibunda Wiwik Pudjiastuti dan Ayahanda Moesta'in yang tercinta serta kakakku tersayang Ayuning Dyah Putri Lestari;
2. Guru-guru saya sejak taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi;
3. Almamater tercinta Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.



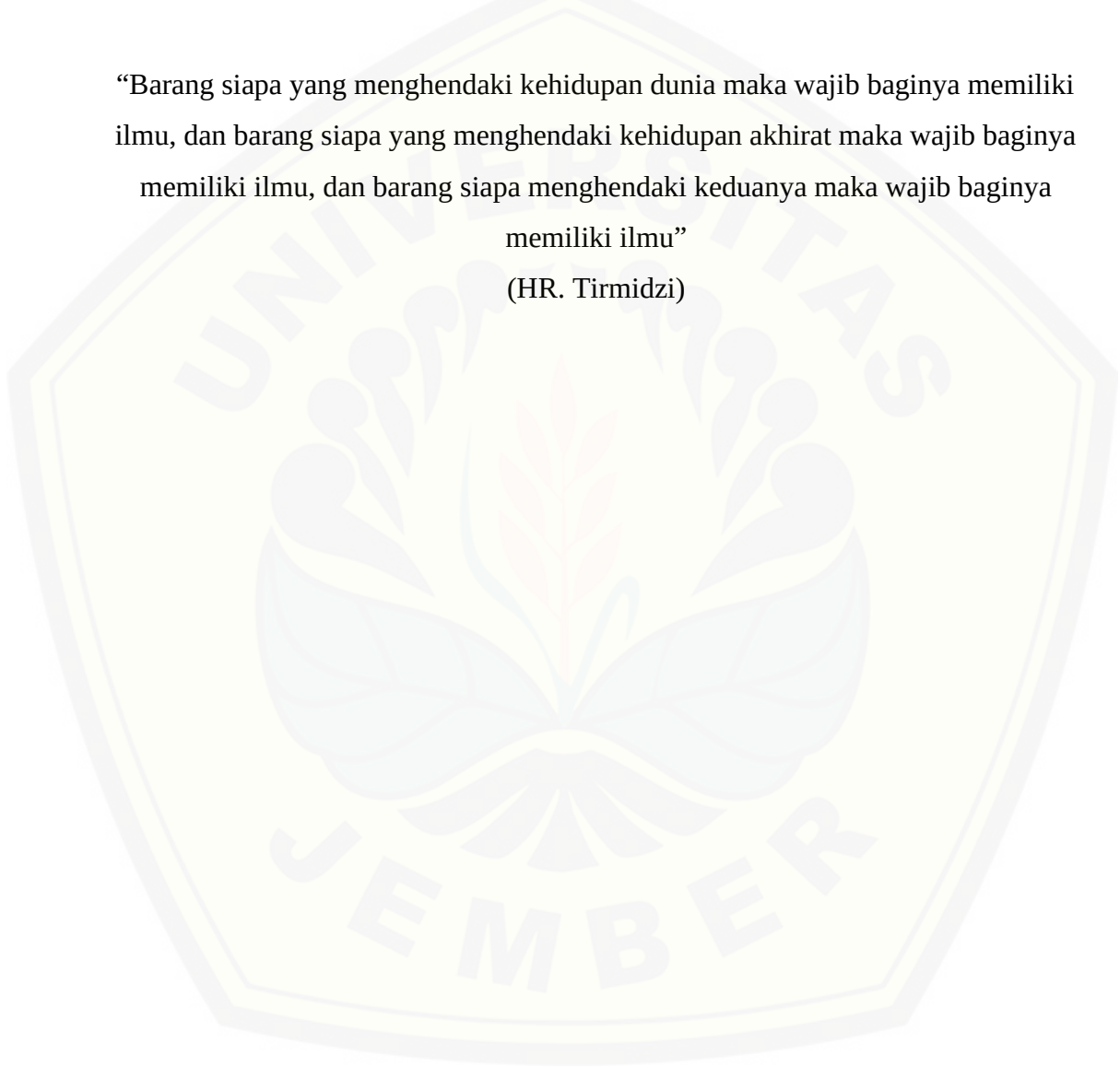
MOTTO

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan. Sesungguhnya
bersama kesulitan itu ada kemudahan”

(terjemahan Surat *Al-Insyirah* ayat 5-6)

“Barang siapa yang menghendaki kehidupan dunia maka wajib baginya memiliki
ilmu, dan barang siapa yang menghendaki kehidupan akhirat maka wajib baginya
memiliki ilmu, dan barang siapa menghendaki keduanya maka wajib baginya
memiliki ilmu”

(HR. Tirmidzi)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Adinda Putri Juwita Sari

NIM : 131710201080

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis ilmiah yang berjudul “Penanganan Limbah Cair Perendaman Kedelai Pembuatan Tempe Menggunakan Fitoremediasi Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*)” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Data-data penelitian yang terdapat pada karya tulis ilmiah ini dapat digunakan untuk kepentingan publikasi dan sepenuhnya milik Laboratorium Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan (TPKL) Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 3 Desember 2018

Yang menyatakan.

Adinda Putri Juwita Sari
NIM 131710201080

SKRIPSI

**PENANGANAN LIMBAH CAIR PERENDAMAN
KEDELAI PEMBUATAN TEMPE MENGGUNAKAN
FITOREMEDIASI ECENG GONDOK
(*Eichornia crassipes*)**

Oleh

Adinda Putri Juwita Sari

NIM 131710201080

Pembimbing

Dosen Pembimbing Umum : Dr. Elida Novita, S.TP., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Sri Wahyuningsih, S.P., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Penanganan Limbah Cair Perendaman Kedelai Pembuatan Tempe Menggunakan Fitoremediasi Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*)” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal :

Tempat : Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Anggota

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

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

Tim Penguji

Ketua

Anggota

Ir. Tasliman, M.Eng.
NIP 196208051993021002

Dr. Retno Wimbaningrum, M.Si.
NIP 196605171993022001

Mengesahkan

Dekan,

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

RINGKASAN

Penanganan Limbah Cair Perendaman Kedelai Pembuatan Tempe Menggunakan Fitoremediasi Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*); Adinda Putri Juwita Sari, 131710201080; 2018; 62 halaman; Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

Tempe merupakan makanan pendamping nasi yang dapat dinikmati oleh seluruh masyarakat dan memiliki banyak peminat karena harganya yang cenderung murah. Produksi tempe harus ditingkatkan untuk memenuhi permintaan masyarakat, tetapi hal ini dapat menimbulkan dampak negatif, yaitu meningkatnya jumlah limbah cair yang dapat menimbulkan pencemaran lingkungan. Limbah cair dihasilkan dari proses pencucian, perebusan, dan perendaman kedelai. Limbah cair yang berasal dari proses perendaman kedelai berpotensi mencemari lingkungan. Salah satu metode penanganan limbah cair yang relatif murah, mudah diaplikasikan, dan ramah lingkungan adalah proses fitoremediasi eceng gondok. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui laju penurunan BOD pada pH asam (4,4) dan pH netral (7,0), karakteristik limbah cair perendaman kedelai pada proses fitoremediasi eceng gondok, serta efisiensi penurunan parameter kualitas air limbah cair perendaman kedelai meliputi kekeruhan, TSS, BOD, COD, dan nitrogen. Penelitian ini menggunakan empat perlakuan dengan tiga kali ulangan, yaitu limbah pH awal yang bersifat asam dengan tanaman (LPA), limbah pH netral dengan tanaman (LPN), limbah pH awal yang bersifat asam tanpa tanaman (KPA), dan limbah pH netral tanpa tanaman (KPN). Setiap perlakuan menggunakan limbah cair 10 liter dan eceng gondok 400 gram. Limbah cair yang digunakan adalah limbah cair hasil proses perendaman kedelai. Tanaman eceng gondok yang digunakan adalah tanaman dengan panjang akar 30 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses fitoremediasi eceng gondok mampu menurunkan bahan pencemar berdasarkan nilai kekeruhan, TSS, BOD, COD, dan nitrogen pada setiap perlakuan (LPA, LPN, KPA, dan KPN). Perlakuan limbah pH netral dengan tanaman (LPN) lebih baik dalam menurunkan bahan pencemar pada proses fitoremediasi eceng gondok. Perlakuan limbah pH netral dengan tanaman (LPN) memiliki nilai efisiensi penurunan terbaik, yaitu kekeruhan sebesar 71,17%, TSS sebesar 66,69%, BOD sebesar 58,99%, COD sebesar 61,47%, dan nitrogen sebesar 62,08%. Laju penurunan BOD pada perlakuan limbah pH netral dengan tanaman (LPN) lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya, yaitu dengan persamaan $y = 527,55x + 1039$.

SUMMARY

The Handling of Soaking Soybean Wastewater from Tempe Processing using Hyacinth (*Eichornia crassipes*) Phytoremediation; Adinda Putri Juwita Sari, 131710201080; 2018; 62 pages; Department of Agricultural Engineering; Faculty of Agricultural Technology; Jember University.

Tempe is a complementary food for rice that can be enjoyed by the entire community and has many interested people because it's low price. Tempe production must be increased to fulfill the community demand, but this can cause a negative impact, which is the increasing amount of wastewater that can cause environmental pollution. Wastewater is produced from the process of washing, boiling, and soaking soybean. Wastewater from the soaking soybean process has the potential to pollute the environment. One of the wastewater treatment that is relatively cheaper, easy to apply, and environmentally friendly is hyacinth phytoremediation process. The aim of this research were to know the BOD degradation rate at acidic pH (4,4) and neutral pH (7,0), the characteristic of soaking soybean wastewater in hyacinth phytoremediation process, and the degradation efficiency of the soaking soybean wastewater quality variable, such as turbidity, TSS, BOD, COD, and nitrogen. This research were consist of four treatments and three replications, which were initial wastewater with acidic pH using plant (LPA), wastewater with neutral pH using plant (LPN), initial wastewater with acidic pH without plant (KPA), wastewater with neutral pH without plant (KPN). Each treatment using 10 liters of wastewater and 400 grams of plant. The wastewater used was a wastewater from the soaking soybean process. The hyacinth used was a plant with a root length of 30 cm. The result showed that hyacinth phytoremediation process was able to reduce pollutants based on turbidity, TSS, BOD, COD, and nitrogen values at each treatment (LPA, LPN, KPA, and KPN). Wastewater with neutral pH using plant (LPN) treatment was better in reducing pollutants in hyacinth phytoremediation process. Wastewater with neutral pH using plant (LPN) treatment has the best reduction efficiency, i.e. turbidity was 71,17%, TSS was 66,69%, BOD was 58,99%, COD was 61,47%, and nitrogen was 62.08%. The BOD degradation rate in wastewater with neutral pH using plant (LPN) treatment was higher than other treatments with the equation $y = 527,55x + 1039$.

PRAKATA

Puji Syukur ke hadirat Allah SWT., atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Penanganan Limbah Cair Perendaman Kedelai Pembuatan Tempe Menggunakan Fitoremediasi Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*)”. 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 tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Elida Novita, S.TP., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah meluangkan tenaga, waktu, pikiran, dan perhatian dalam membimbing penulisan skripsi ini;
2. Dr. Sri Wahyuningsih, S.P., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan tenaga, waktu, pikiran, dan perhatian dalam membimbing penulisan skripsi ini;
3. Dr. Siswoyo Soekarno, S.TP., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
4. Ir. Tasliman, M.Eng. selaku Ketua Tim Penguji yang telah memberikan saran dan masukan dalam penyempurnaan skripsi ini;
5. Dr. Retno Wimbaningrum, M.Si. selaku Anggota Tim Penguji yang telah memberikan saran dan pengarahan dalam penyelesaian skripsi ini;
6. Dr. Dedy Wirawan Soedibyo, S.TP., M.Si. selaku dosen dan Komisi Bimbingan Jurusan Teknik Pertanian;
7. Seluruh dosen pengampu matakuliah, terima kasih atas ilmu dan pengalaman yang diberikan serta bimbingan selama studi di Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember;
8. Seluruh staf dan karyawan di lingkungan Fakultas Teknologi Pertanian, terima kasih atas bantuan dalam mengurus administrasi dan lainnya;
9. Kedua orang tua saya, Ayahanda Moesta'in dan Ibunda Wiwik Pudjiastuti tercinta yang selalu memberikan semangat dan doa setiap waktu;

10. Teman-teman satu tim penelitian kualitas air 2013 (Niken, Aisyah, Feni, Anis, Ria, Wahyu, Miftah, Resa, Siti, Yuwan, Rifan, dan Ridwan). Terima kasih atas bantuan dan kerjasamanya;
11. Teman-temanku TEP-B dan teman seangkatan 2013 yang penuh dengan semangat dan kasih sayang, terima kasih atas nasihat serta motivasinya;
12. Sahabat-sahabat SMA (Shafira, Ajeng, Jea, Ayunda, Nastitie, dan Dina), terima kasih atas segala bantuan dan semangat yang sudah diberikan;
13. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah membantu baik tenaga maupun pikiran dalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi ini.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua.

Jember, Desember 2018

Penulis

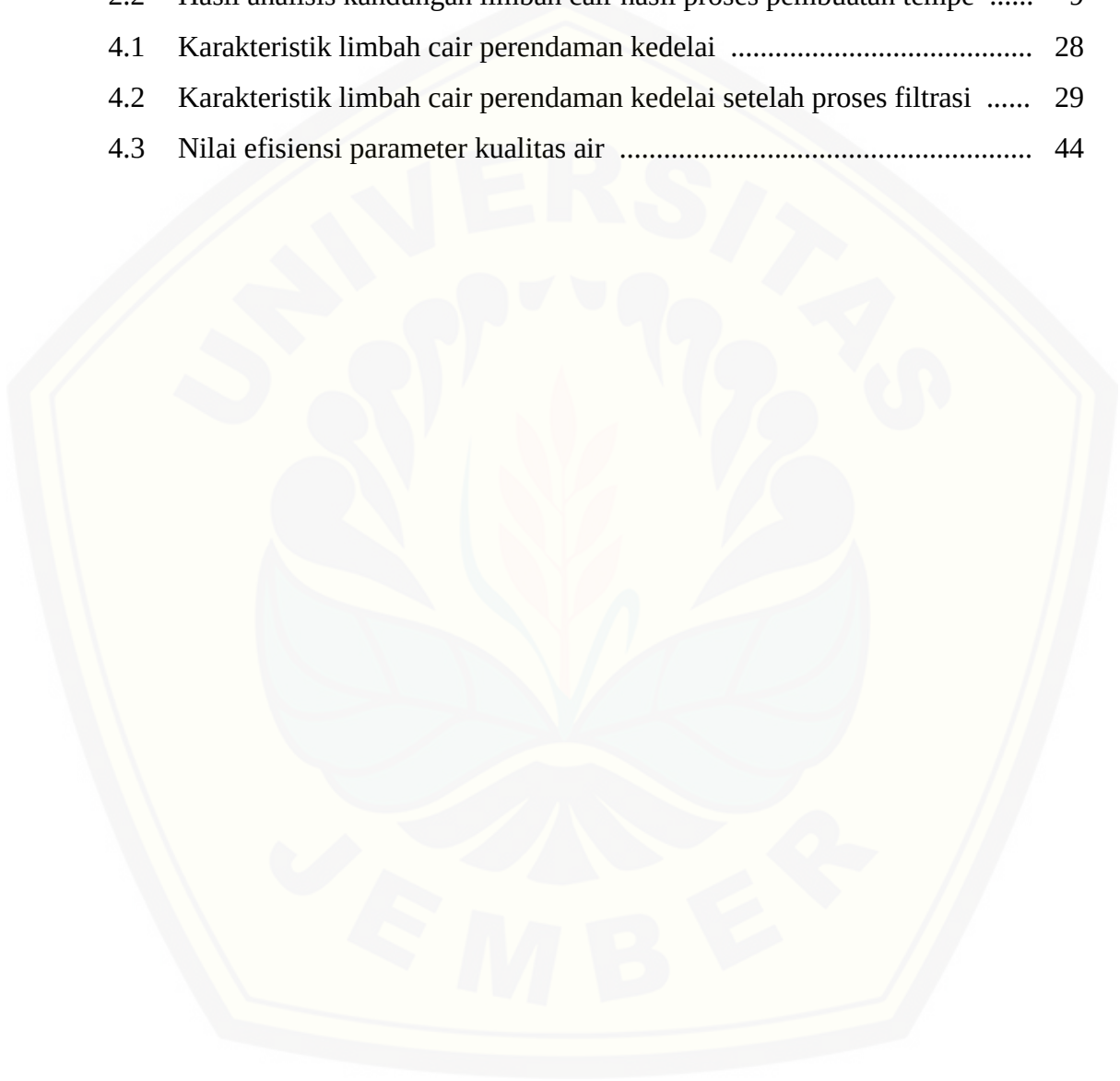
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengolahan Tempe	5
2.2 Limbah Cair Hasil Proses Pembuatan Tempe	9
2.3 Pengolahan Air Limbah	10
2.4 Fitoremediasi	12
2.5 Eceng Gondok	14
BAB 3. METODE PENELITIAN	17
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	17
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	17

3.2.1 Alat	17
3.2.2 Bahan	17
3.3 Diagram Alir Penelitian	18
3.4 Tahapan Penelitian	19
3.4.1 Metode Pengumpulan Data	19
3.4.2 Pengukuran Parameter	24
3.5 Metode Analisa Data	26
3.5.1 Analisis Nilai Efisiensi	26
3.5.2 Analisis Laju Penurunan BOD	27
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Karakteristik Limbah Cair Perendaman Kedelai	28
4.2 Karakteristik Tanaman Eceng Gondok	30
4.3 Parameter Kualitas Air dan Nilai Efisiensi Parameter Kualitas Air	32
4.3.1 Pengukuran Parameter Kualitas Air	32
4.3.2 Analisis Nilai Efisiensi Parameter Kualitas Air	43
4.4 Laju Penurunan BOD Limbah Cair Perendaman Kedelai	44
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	46
5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN	51

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Kandungan zat gizi tempe	8
2.2 Hasil analisis kandungan limbah cair hasil proses pembuatan tempe	9
4.1 Karakteristik limbah cair perendaman kedelai	28
4.2 Karakteristik limbah cair perendaman kedelai setelah proses filtrasi	29
4.3 Nilai efisiensi parameter kualitas air	44



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Diagram alir proses pembuatan tempe	5
2.2 Eceng gondok	16
3.1 Diagram alir penelitian	18
3.2 Rancangan reaktor <i>constructed wetland</i>	20
3.3 Rancangan reaktor fitoremediasi	21
3.4 Rancangan reaktor fitoremediasi pada setiap perlakuan	24
4.1 Kondisi warna dan jumlah daun tanaman eceng gondok selama proses fitoremediasi	31
4.2 Grafik pengukuran pH	32
4.3 Grafik pengukuran kekeruhan	34
4.4 Grafik efisiensi penurunan kekeruhan	34
4.5 Grafik pengukuran TDS	36
4.6 Grafik pengukuran TSS	37
4.7 Grafik efisiensi penurunan TSS	37
4.8 Grafik pengukuran BOD	39
4.9 Grafik efisiensi penurunan BOD	39
4.10 Grafik efisiensi penurunan COD	41
4.11 Grafik efisiensi penurunan nitrogen	42
4.12 Laju penurunan BOD	45

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Karakteristik Limbah Cair Perendaman Kedelai	51
B. Kondisi Warna dan Jumlah Daun Tanaman Eceng Gondok Selama Proses Fitoremediasi	52
C. Data Pengukuran Awal dan Akhir pada Proses Fitoremediasi	53
D. Data Pengukuran Harian	54
E. Grafik Pengukuran COD dan Nitrogen	56
F. Prosedur Pengukuran Parameter Kualitas Air	57
G. Dokumentasi	61

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara produsen tempe terbesar di dunia dan menjadi pasar kedelai terbesar di Asia (Badan Standardisasi Nasional, 2012). Pada tahun 2015, total produksi kedelai di Indonesia mencapai 963.183 ton (Badan Pusat Statistik, 2017). Sebanyak 50% dari konsumsi kedelai Indonesia digunakan untuk memproduksi tempe, 40% tahu, dan 10% dalam bentuk produk lain (seperti tauco, kecap, dan lain-lain). Di Indonesia, konsumsi tempe rata-rata setiap orang per tahunnya saat ini diperkirakan mencapai sekitar 6,45 kg (Badan Standardisasi Nasional, 2012). Karena harganya yang cenderung murah, tempe menjadi salah satu panganan pendamping nasi yang dapat dinikmati oleh seluruh masyarakat dan banyak sekali peminatnya.

Akibat dari banyaknya peminat tempe, produksi tempe juga harus ditingkatkan agar seimbang dengan banyaknya permintaan. Salah satu dampak yang ditimbulkan dari banyaknya permintaan tempe adalah meningkatnya jumlah limbah dari proses pembuatan tempe, baik limbah padat maupun limbah cair. Limbah yang paling berbahaya apabila langsung dibuang ke lingkungan adalah limbah cair. Limbah cair ini didapat dari proses pencucian, perebusan, dan perendaman kedelai.

Limbah cair yang dihasilkan pada proses perendaman kedelai rata-rata memiliki kandungan BOD dan COD sebesar 31.380,87 mg/l dan 35.398,87 mg/l (Wiryani, 2007). Limbah cair yang berasal dari proses perendaman kedelai ini berpotensi untuk mencemari lingkungan perairan di sekitarnya. Oleh karena itu, diperlukan suatu penanganan limbah sebelum dibuang ke lingkungan. Salah satu metode penanganan limbah yang relatif murah, mudah diaplikasikan, dan ramah lingkungan adalah fitoremediasi.

Fitoremediasi merupakan teknik penanganan limbah dengan menggunakan tanaman. Salah satu tanaman yang mudah ditemui dan dapat digunakan untuk fitoremediasi adalah eceng gondok. Tanaman ini menyerap bahan pencemar dan mengakumulasinya ke bagian-bagian tanaman seperti akar, daun, maupun batang.,

Tanaman eceng gondok dapat menyerap fosfat (sebagai P total) dalam jumlah yang cukup banyak hanya dalam kurun waktu 5 hari pada limbah *laundry* (Hardyanti dan Rahayu, 2007). Selain itu, tanaman eceng gondok dapat menurunkan konsentrasi logam berat Plumbum (Pb) dan Cadmium (Cd) lebih baik daripada tanaman papyrus (Tosepu, 2012).

Tempat tumbuh yang ideal bagi tanaman eceng gondok adalah perairan yang dangkal dan berair keruh, dengan suhu berkisar antara 28-30°C (Gerbono dan Djarijah, 2005). PH yang optimum untuk pertumbuhan tanaman eceng gondok antara 7,0-7,5 (Ratnani dkk., 2011). Rata-rata pH limbah cair perendaman kedelai adalah 4,16 (Wiryani, 2007). Hal ini kurang sesuai dengan syarat kondisi pH optimum untuk pertumbuhan eceng gondok apabila tanaman ini diaplikasikan pada limbah cair perendaman kedelai dalam menyerap bahan pencemar yang terkandung di dalamnya. Oleh karena itu, pH limbah cair perendaman kedelai harus disesuaikan dengan pH optimum pertumbuhan eceng gondok.

Setelah adanya penelitian pendahuluan mengenai kemampuan eceng gondok dalam menyerap bahan pencemar di dalam limbah cair, perlu adanya penelitian lanjutan mengenai penanganan limbah cair perendaman kedelai pembuatan tempe pada kondisi pH awal dan limbah cair yang dinetralkan dengan menggunakan tanaman eceng gondok, sehingga nantinya dapat diketahui kemampuan fitoremediasi oleh tanaman eceng gondok dalam menurunkan bahan pencemar pada limbah cair perendaman kedelai pembuatan tempe.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat diambil dari latar belakang adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana karakteristik limbah cair perendaman kedelai pembuatan tempe?
2. Bagaimana karakteristik tanaman eceng gondok yang digunakan pada proses fitoremediasi limbah cair perendaman kedelai pembuatan tempe?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan tanaman eceng gondok dan efisiensinya terhadap parameter kualitas air pada proses fitoremediasi limbah cair perendaman kedelai pembuatan tempe?

4. Bagaimana laju penurunan BOD limbah cair perendaman kedelai pembuatan tempe pada proses fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok?

1.3 Batasan Masalah

Parameter penelitian, yaitu pengamatan harian meliputi parameter pH, kekeruhan, TDS, TSS, dan BOD, serta pengamatan awal dan akhir meliputi parameter COD dan nitrogen limbah cair perendaman kedelai pembuatan tempe. Pengamatan dihentikan setelah tanaman eceng gondok mati.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui karakteristik limbah cair perendaman kedelai pembuatan tempe.
2. Mengetahui karakteristik tanaman eceng gondok yang digunakan pada proses fitoremediasi limbah cair perendaman kedelai pembuatan tempe.
3. Mengetahui pengaruh penggunaan tanaman eceng gondok dan efisiensinya terhadap parameter kualitas air pada proses fitoremediasi limbah cair perendaman kedelai pembuatan tempe.
4. Mengetahui laju penurunan BOD limbah cair perendaman kedelai pembuatan tempe pada proses fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok.

1.5 Manfaat Penelitian

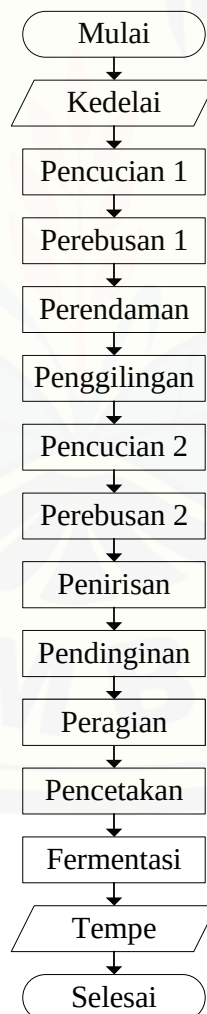
Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagi perkembangan IPTEK adalah menambah variasi variabel dalam penelitian tentang fitoremediasi, yaitu variasi perlakuan dengan penetralan pH.
2. Bagi institusi adalah memberikan informasi mengenai hasil analisis kualitas air dari limbah cair perendaman kedelai pembuatan tempe.
3. Bagi masyarakat perajin tempe adalah memberikan alternatif upaya penanganan limbah cair hasil pengolahan tempe sebelum dibuang secara langsung ke lingkungan untuk meminimalisir pencemaran.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengolahan Tempe

Menurut Badan Standardisasi Nasional (2012) tempe adalah salah satu makanan tradisional khas Indonesia. Tempe merupakan makanan yang terbuat dari biji kedelai atau beberapa bahan lain yang diproses melalui fermentasi yang secara umum dikenal sebagai “ragi tempe”. Mayoritas produksi tempe dilakukan oleh industri skala kecil dan rumah tangga. Pada dasarnya, cara membuat tempe terdiri dari 2 bagian besar, yaitu proses pemasakan kedelai dan dilanjutkan dengan proses fermentasi. Berikut adalah langkah-langkah proses pembuatan tempe disajikan pada Gambar 2.1 (Tim Redaksi AgroMedia, 2007).



Gambar 2.1 Diagram alir proses pembuatan tempe (Sumber: Tim Redaksi AgroMedia, 2007)

Berikut adalah penjelasan proses pembuatan tempe berdasarkan Gambar 2.1 (Tim Redaksi AgroMedia, 2007).

a. Pencucian Pertama

Pencucian merupakan salah satu hal penting dalam proses pembuatan makanan. Pencucian kedelai dilakukan untuk membersihkan kedelai dari kotoran serta penyortiran biji kedelai. Kedelai yang rusak atau tidak ada isinya biasanya akan mengambang dan tidak digunakan dalam proses pembuatan tempe. Proses pencucian pertama menghasilkan limbah cair berupa air yang digunakan pada proses pencucian pertama dan limbah padat berupa kotoran dan kedelai yang rusak.

b. Perebusan Pertama

Perebusan kedelai biasanya menggunakan panci atau drum besar. Perebusan kedelai sebaiknya menggunakan air sumur dan bukan air PAM yang mengandung kaporit. Kaporit dapat menghambat proses fermentasi oleh kapang atau ragi tempe. Perebusan dilakukan hingga kedelai matang, yaitu direbus selama ± 4 jam. Proses perebusan pertama menghasilkan limbah cair berupa air yang digunakan pada proses perebusan pertama.

c. Perendaman

Perendaman kedelai menyebabkan kedelai mengembang. Perendaman dilakukan selama semalam dan menggunakan air yang bersih. Setelah dilakukan perendaman selama semalam, air dari hasil perendaman kemudian dibuang. Air yang dihasilkan dari proses perendaman merupakan limbah cair yang memiliki tingkat kekentalan yang lebih tinggi dibandingkan dengan air yang dihasilkan dari proses pencucian dan perebusan.

d. Penggilingan

Penggilingan dilakukan untuk membuang kotoran, memecah kedelai, dan membuat kulit kedelai terkelupas dari bijinya. Penggilingan kedelai biasanya dilakukan dengan cara diinjak berulang-ulang menggunakan kaki. Penggilingan kedelai sebanyak 100 kg biasanya memakan waktu 1-1,5 jam.

e. Pencucian Kedua

Pencucian kedua biasanya dilakukan bersamaan dengan penggilingan untuk memudahkan pemisahan biji dengan kulit kedelai. Kulit kedelai yang terkelupas pada proses penggilingan akan mengambang di atas permukaan air. Selanjutnya, kulit kedelai yang telah terkelupas ini segera dibuang. Proses pencucian kedua menghasilkan limbah cair berupa air yang digunakan pada proses pencucian kedua dan limbah padat berupa kulit kedelai yang terkelupas setelah proses penggilingan.

f. Perebusan Kedua

Perebusan kedua dilakukan untuk menghilangkan bau dan bakteri lain yang dapat mengganggu proses fermentasi. Bau dan bakteri biasanya timbul ketika proses perendaman. Perebusan dilakukan hingga air mendidih, kemudian kedelai dibiarkan selama ± 15 menit hingga kuman dan bakteri mati oleh panas. Proses perebusan kedua menghasilkan limbah cair berupa air yang digunakan pada proses perebusan kedua.

g. Penirisan

Penirisan kedelai dilakukan dengan menggunakan serokan. Penirisan kedelai ini bertujuan untuk mengambil kacang kedelai tanpa air rebusannya.

h. Pendinginan

Kedelai hasil penirisan kemudian dihamparkan tipis-tipis ke dalam tampah. Hal ini dilakukan agar kedelai menjadi kering tetapi masih dalam keadaan agak hangat. Kedelai yang terlalu panas akan mematikan ragi tempe, sedangkan kedelai yang terlalu dingin akan menghambat pertumbuhan ragi atau kapang.

i. Peragian

Ragi tempe bertugas melakukan fermentasi pada kedelai hingga menjadi tempe. Ragi yang dibutuhkan untuk pembuatan tempe adalah sebanyak 2% dari kedelai yang dimasak. Teknik pemberian ragi dilakukan dengan cara menaburkan ragi secara merata di atas kedelai yang masih hangat, kemudian diaduk atau dibalik-balik hingga raginya tercampur merata.

j. Pencetakan

Kedelai siap dicetak setelah melalui proses peragian. Pencetakan kedelai biasanya menggunakan plastik, daun pisang, atau daun jati. Pencetakan kedelai menggunakan plastik dilakukan dengan cara mengisikan kedelai ke dalam plastik sampai terisi setengahnya, kemudian plastik direbahkan dan kedelai diratakan hingga membentuk lempengan. Pencetakan kedelai menggunakan daun pisang atau daun jati dilakukan dengan cara meletakkan kedelai yang sudah diberi ragi ke dalam daun kemudian dibungkus sesuai selera pembuat. Hal yang perlu diperhatikan dalam pencetakan kedelai adalah plastik atau daun yang digunakan sebaiknya dilubangi terlebih dahulu agar kapang mendapatkan udara untuk melakukan fermentasi sehingga tempe berwarna putih.

k. Fermentasi

Agar kedelai terfermentasi dengan baik, kedelai yang sudah diberi ragi diperam/disimpan dalam suhu hangat selama 24 jam. Pemeraman kedelai dilakukan dalam suhu hangat supaya kapang atau ragi tempe bekerja dengan maksimal dalam melakukan fermentasi. Perajin tempe biasanya menggunakan kotak kayu untuk pemeraman kedelai yang telah dibungkus lalu ditutup dengan kain atau karung goni. Fermentasi berhasil apabila setelah 3-5 jam kedelai yang diperam terasa hangat. Namun, apabila kedelai terasa dingin, fermentasi dipastikan gagal. Setelah proses fermentasi berlangsung selama 24 jam maka kedelai akan menjadi tempe dan siap dijual.

Tempe sudah lama diakui sebagai makanan dengan kandungan gizi yang tinggi (Badan Standardisasi Nasional, 2012). Berikut merupakan kandungan zat gizi yang dimiliki oleh tempe disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kandungan zat gizi tempe

Unsur Gizi	Banyaknya (mg)
Vitamin B1	1,5-6,3
Besi	9,90
Tembaga	2,87
Seng	8,05

Sumber: Tim Redaksi AgroMedia (2007)

Selain memiliki banyak manfaat dari kandungan gizi di dalam tempe, hasil proses pembuatan tempe berupa limbah cair yang didapat dari proses pencucian,

perebusan, dan perendaman kedelai, serta limbah padat berupa kotoran, kedelai yang rusak, maupun kulit kedelai juga dapat mencemari lingkungan apabila tidak ditangani dengan tepat. Limbah padat berupa kedelai yang rusak dan kulit kedelai biasanya dimanfaatkan sebagai pakan ternak. Sedangkan limbah cair dari proses pembuatan tempe jarang dimanfaatkan dan merupakan limbah yang berpotensi mencemari lingkungan apabila langsung dibuang ke lingkungan. Oleh karena itu, perlu diketahui karakteristik limbah cair hasil proses pembuatan tempe sebelum dibuang ke lingkungan agar dapat meminimalisir pencemaran.

2.2 Limbah Cair Hasil Proses Pembuatan Tempe

Air limbah adalah sisa dari suatu usaha dan/atau kegiatan yang berwujud cair. Baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan/atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam media air dari suatu usaha dan/atau kegiatan (Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, 2014). Berikut merupakan baku mutu serta karakteristik limbah cair hasil proses pembuatan tempe disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Baku mutu dan karakteristik limbah cair hasil proses pembuatan tempe

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu Limbah Cair Pembuatan Tempe*	Limbah Cair Perebusan Kedelai (Rata-rata)**	Limbah Cair Perendaman Kedelai (Rata-rata)**
1.	Suhu	°C		75	32
2.	<i>Total Dissolved Solid</i> (TDS)	mg/l		25.060	25.254
3.	<i>Total Suspended Solid</i> (TSS)	mg/l	100	4.012	4.551
4.	pH	-	6-9	6	4,16
5.	<i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD)	mg/l	150	1.302,03	31.380,87
6.	<i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	mg/l	300	4.188,27	35.398,87

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

**Wiryani (2007)

Berdasarkan Tabel 2.2, hasil analisis kandungan limbah cair hasil proses perebusan dan perendaman kedelai melebihi baku mutu yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Nilai BOD dan COD limbah cair perendaman kedelai jauh melampaui baku mutu dibandingkan dengan limbah cair perebusan kedelai. Dapat dinyatakan bahwa limbah cair yang berasal dari perendaman kedelai sangat berpotensi mencemari lingkungan.

Limbah cair perendaman kedelai memiliki karakteristik berwarna kuning keruh dan berbau tidak enak. Limbah dari proses pembuatan tempe ini termasuk dalam limbah yang *biodegradable*, yaitu merupakan limbah atau bahan buangan yang dapat dihancurkan oleh mikroorganisme. Senyawa organik yang terkandung di dalamnya akan dihancurkan oleh bakteri meskipun prosesnya lambat dan sering diikuti dengan keluarnya bau busuk (Mahida, 1986). Oleh karena itu, pengolahan air limbah harus dilakukan terlebih dahulu untuk menurunkan kandungan bahan pencemar yang dapat mencemari lingkungan sekitar.

2.3 Pengolahan Air Limbah

Pengolahan air limbah dilakukan untuk menurunkan konsentrasi bahan pencemar yang terkandung pada air limbah tersebut. Proses pengolahan air limbah biasanya dilakukan hingga mencapai kualitas tertentu yang diinginkan. Kristanto (2004) menyatakan bahwa proses pengolahan air limbah secara umum dapat diklasifikasikan menjadi 3 proses, yaitu sebagai berikut.

a. Proses Fisika

Perlakuan terhadap air limbah dengan cara fisika, yaitu proses pengolahan secara mekanis dengan atau tanpa penambahan bahan kimia.

b. Proses Kimia

Proses kimia merupakan proses pengolahan air limbah dengan menggunakan penambahan bahan kimia ke dalam air limbah untuk mengurangi konsentrasi zat pencemar.

c. Proses Biologi

Proses pengolahan air limbah secara biologi adalah memanfaatkan mikroorganisme (ganggang, bakteri, protozoa) dan tumbuhan untuk menguraikan senyawa organik di dalam air limbah menjadi senyawa yang lebih sederhana.

Pada pengolahan air limbah, parameter kualitas air dapat digunakan untuk mengetahui kandungan air limbah tersebut. Beberapa parameter kualitas air limbah yang digunakan adalah sebagai berikut.

a. pH

Konsentrasi ion hidrogen adalah ukuran kualitas dari air maupun dari air limbah. Adapun kadar yang baik adalah kadar dimana masih memungkinkan kehidupan biologis di dalam air berjalan dengan baik (Sugiharto, 1987). Nilai pH air yang normal adalah sekitar netral, yaitu antara 6 sampai 8, sedangkan pH air yang tercemar, misalnya air limbah (buangan), berbeda-beda tergantung pada jenis limbahnya (Kristanto, 2004).

b. Kekeruhan

Kekeruhan menunjukkan sifat optis air, yang mengakibatkan pembiasan cahaya ke dalam air. Kekeruhan membatasi masuknya cahaya ke dalam air. Kekeruhan ini terjadi karena adanya bahan yang terapung dan terurainya zat tertentu, seperti bahan organik, jasad renik, lumpur tanah liat, serta benda lain yang melayang atau terapung dan sangat halus (Kristanto, 2004).

c. *Total Dissolved Solid (TDS)*

Total Dissolved Solid atau padatan terlarut 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. Padatan terlarut total mencerminkan jumlah kepekatan padatan dalam suatu sampel air dan dinyatakan dalam mg/l atau ppm (Kristanto, 2004).

d. *Total Suspended Solid (TSS)*

Kristanto (2004) menyatakan bahwa padatan tersuspensi adalah padatan yang menyebabkan kekeruhan air, tidak terlarut dan tidak dapat langsung mengendap, terdiri atas partikel-partikel yang ukuran maupun beratnya lebih kecil dari sedimen. Menurut Sugiharto (1987) Total Padatan Tersuspensi atau TSS adalah jumlah berat dalam mg/l kering lumpur yang ada di dalam air limbah setelah mengalami penyaringan dengan membran berukuran 0,45 mikron.

e. *Biological Oxygen Demand (BOD)*

BOD menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh organisme hidup untuk menguraikan atau mengoksidasi bahan-bahan buangan di dalam air. Jadi, nilai BOD tidak menunjukkan jumlah bahan organik yang

sebenarnya, tetapi hanya mengukur secara relatif jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan-bahan buangan tersebut (Kristanto, 2004). Menurut Alaerts dan Santika (1987), BOD menentukan beban pencemaran air buangan. Apabila nilainya tinggi, proses penguraian zat organik akan terhambat karena bakteri menghabiskan oksigen terlarut dan menyebabkan kondisi anaerobik yang menimbulkan bau busuk.

f. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

COD merupakan suatu uji yang menentukan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bahan oksidan, misalnya kalium dikromat, untuk mengoksidasi bahan-bahan organik yang terdapat di dalam air. Banyak zat organik yang tidak mengalami penguraian biologis secara cepat berdasarkan pengujian BOD lima hari, tetapi senyawa-senyawa organik tersebut juga menurunkan kualitas air. Bakteri dapat mengoksidasi zat organik menjadi CO_2 dan H_2O , kalium dikromat dapat mengoksidasi lebih banyak lagi, sehingga menghasilkan nilai COD yang lebih tinggi dari BOD untuk air yang sama (Kristanto, 2004).

g. Nitrogen

Nitrogen merupakan bahan yang dapat meningkatkan pertumbuhan *algae* dan tumbuhan air. Nitrogen yang berada di dalam air dengan cepat akan berubah menjadi nitrogen organik atau amoniak-nitrogen (Sugiharto, 1987).

Salah satu metode yang dapat digunakan dalam pengolahan air limbah adalah fitoremediasi. Fitoremediasi dapat dipilih karena mudah diaplikasikan, relatif murah, dan ramah lingkungan karena menggunakan tanaman yang nantinya dapat menyerap bahan pencemar yang terkandung di dalam limbah cair.

2.4 Fitoremediasi

Hartanti dkk. (2014) menyatakan bahwa fitoremediasi adalah teknik penanganan limbah cair menggunakan tanaman untuk menyerap, mendegradasi, dan mentransformasi bahan pencemar, baik organik maupun anorganik. Menurut Rondonuwu (2014), fitoremediasi merupakan sistem dimana tanaman tertentu bekerja sama dengan mikroorganisme dalam media yang dapat mengubah zat berbahaya menjadi kurang atau tidak berbahaya bagi lingkungan. Hal ini

diperkuat oleh pernyataan Salt dkk. (1998), bahwa fitoremediasi merupakan pemanfaatan tumbuhan dan mikroorganisme untuk meminimalisasi dan mendetoksifikasi polutan karena tanaman berperan dalam menyerap logam dan mineral yang tinggi atau bertindak sebagai fitoakumulator dan fitokhelator. Fitoremediasi dapat diaplikasikan pada limbah organik maupun anorganik dalam bentuk padat, cair, dan gas. Akhir-akhir ini, teknologi fitoremediasi telah menerima perhatian sebagai sebuah alternatif yang inovatif serta hemat biaya yang digunakan pada tempat limbah berbahaya (EPA, 2000).

Rondonuwu (2014) menyatakan bahwa tanaman ekor kucing (*Typha latifolia*), eceng gondok (*Eichornia crassipes*), teratai (*Nelumbium nelumbo*), kangkung air (*Ipomoea aquatica*), dan rumput air (*Hydrilla verticillata*) memiliki sifat hiperakumulator yang mampu mereduksi merkuri dengan persentase penurunan sebesar 84,18%; 81,19%; 80,78%; 83,84%; dan 83,96%. Secara umum, proses fitoremediasi dapat dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu sebagai berikut (EPA, 2000).

1. Fitoekstraksi

Fitoekstraksi adalah penyerapan bahan pencemar oleh akar tanaman dan translokasi di dalam tanaman.

2. Rhizofiltrasi

Rhizofiltrasi adalah pengendapan ke akar tanaman atau penyerapan bahan pencemar ke dalam akar. Hasil dari rhizofiltrasi adalah penampungan bahan pencemar, dimana bahan pencemar dilumpuhkan atau diakumulasi di dalam tanaman.

3. Fitostabilisasi

Fitostabilisasi dapat didefinisikan sebagai pelumpuhan bahan pencemar melalui penyerapan dan pengakumulasian oleh akar, atau pengendapan dalam zona akar tanaman.

4. Rhizodegradasi

Rhizodegradasi adalah penghancuran bahan pencemar melalui aktivitas mikroorganisme yang terjadi di zona akar.

5. Fitodegradasi

Fitodegradasi (dikenal juga sebagai fitotransformasi) adalah penghancuran bahan pencemar melalui proses metabolisme di dalam tanaman, atau penghancuran bahan pencemar akibat dari senyawa (seperti enzim) yang dihasilkan oleh tanaman.

6. Fitovolatilisasi

Fitovolatilisasi adalah penyerapan dan transpirasi bahan pencemar oleh tanaman dengan melepaskan bahan pencemar atau bentuk modifikasi dari bahan pencemar ke atmosfer.

2.5 Eceng Gondok

Eceng gondok (*Eichornia crassipes*) hidup di daerah tropis sampai subtropis. Eceng gondok digolongkan sebagai gulma perairan yang mampu menyesuaikan diri terhadap perubahan lingkungan dan berkembang biak secara cepat. Di perairan yang subur dan mengandung nitrogen berlebihan, eceng gondok memiliki daun yang relatif lebar dan berwarna hijau tua. Sebaliknya, di perairan yang keruh dan miskin nitrogen, eceng gondok memiliki daun yang relatif kecil dan berwarna kekuning-kuningan (Gerbono dan Djarijah, 2005). Akar tanaman eceng gondok mampu menetralkan air yang tercemar limbah sehingga sering kali dimanfaatkan dalam penanganan limbah industri (Gerbono dan Djarijah, 2005).

Hartanti dkk. (2014), menyatakan bahwa fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok pada limbah cair penyamakan kulit dapat menurunkan kandungan *chromium*. Kerapatan tanaman eceng gondok memberikan pengaruh terhadap penurunan konsentrasi *chromium* pada limbah cair penyamakan kulit. Penurunan *chromium* dengan hasil optimal, yaitu pada kerapatan tanaman 6 individu (2,23 mg/l) dibandingkan kerapatan tanaman 4 (2,20 mg/l) individu dan 2 individu (2,14 mg/l).

Selain itu, Hardyanti dan Rahayu (2007) menyatakan bahwa pada limbah *laundry*, tanaman eceng gondok dapat menyerap fosfat (sebagai P total) dalam jumlah yang cukup banyak hanya dalam kurun waktu 5 hari. Tanaman eceng

gondok dapat menyerap P secara berturut-turut sebesar 144,1603 mg; 172,1209 mg; dan 187,860 mg pada konsentrasi awal P 200 mg/l, 250 mg/l, dan 300 mg/l.

Menurut Tosepu (2012), laju penurunan logam berat Plumbum (Pb) dan Cadmium (Cd) oleh tanaman eceng gondok lebih cepat dibandingkan tanaman papyrus. Tanaman eceng gondok mampu menurunkan konsentrasi logam berat Plumbum dan Cadmium sampai titik nol pada hari ke-30 dan ke-24. Sedangkan pada tanaman papyrus, konsentrasi logam berat Plumbum mampu diturunkan hingga 0,04 ppm pada hari ke-30 di titik II (di bawah permukaan air), selanjutnya stagnan sampai hari ke-36, dan konsentrasi logam berat Cadmium mampu diturunkan sampai titik nol pada hari ke-33.

Hermawan (2018), telah melakukan penelitian mengenai komparasi proses fitoremediasi limbah cair pembuatan tempe menggunakan 3 jenis tanaman, yaitu eceng gondok, kiambang, dan kangkung air. Proses fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok memiliki kemampuan paling besar dalam menurunkan bahan pencemar yang terkandung di dalam limbah cair pembuatan tempe. Nilai efisiensi penurunan parameter kualitas air pada proses fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok, yaitu kekeruhan 85,03%; TSS 66,44%; COD 59,11%; BOD 77,91%; dan nitrogen 61,77%.

Dapat disimpulkan bahwa tanaman eceng gondok merupakan salah satu tanaman yang dapat digunakan untuk mereduksi bahan pencemar pada proses fitoremediasi limbah cair pembuatan tempe, khususnya pada proses perendaman kedelai. Berikut merupakan tanaman eceng gondok yang biasa digunakan dalam proses fitoremediasi disajikan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Eceng gondok (Sumber: Kompas, 2015)

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April 2017 sampai Mei 2017 di Laboratorium Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan (TPKL), Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, serta Laboratorium Kesuburan Tanah, Program Studi Ilmu Tanah, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Jember.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- | | |
|--------------------------|---------------------------------------|
| a. Reaktor kaca | m. Kertas saring berpori 0,45 μ m |
| b. Meja kayu | n. Cawan aluminium |
| c. Jirigen 25 liter | o. Pipet suntik |
| d. pH meter Trans | p. Pipet volumetrik |
| e. TDS meter Hanna | q. Corong |
| f. Turbidimeter TN-100 | r. <i>Beaker glass</i> 50 ml |
| g. Neraca analitik Ohaus | s. Labu ukur 100 ml |
| h. Timbangan digital | t. Erlenmeyer 1000 ml |
| i. Oven | u. Botol winkler 150 ml dan 300 ml |
| j. Desikator | v. Buret |
| k. Lemari es | w. Reaktor COD HI 839800 |
| l. Gelas takar | x. Spektrofotometer HI 83099 |

3.2.2 Bahan

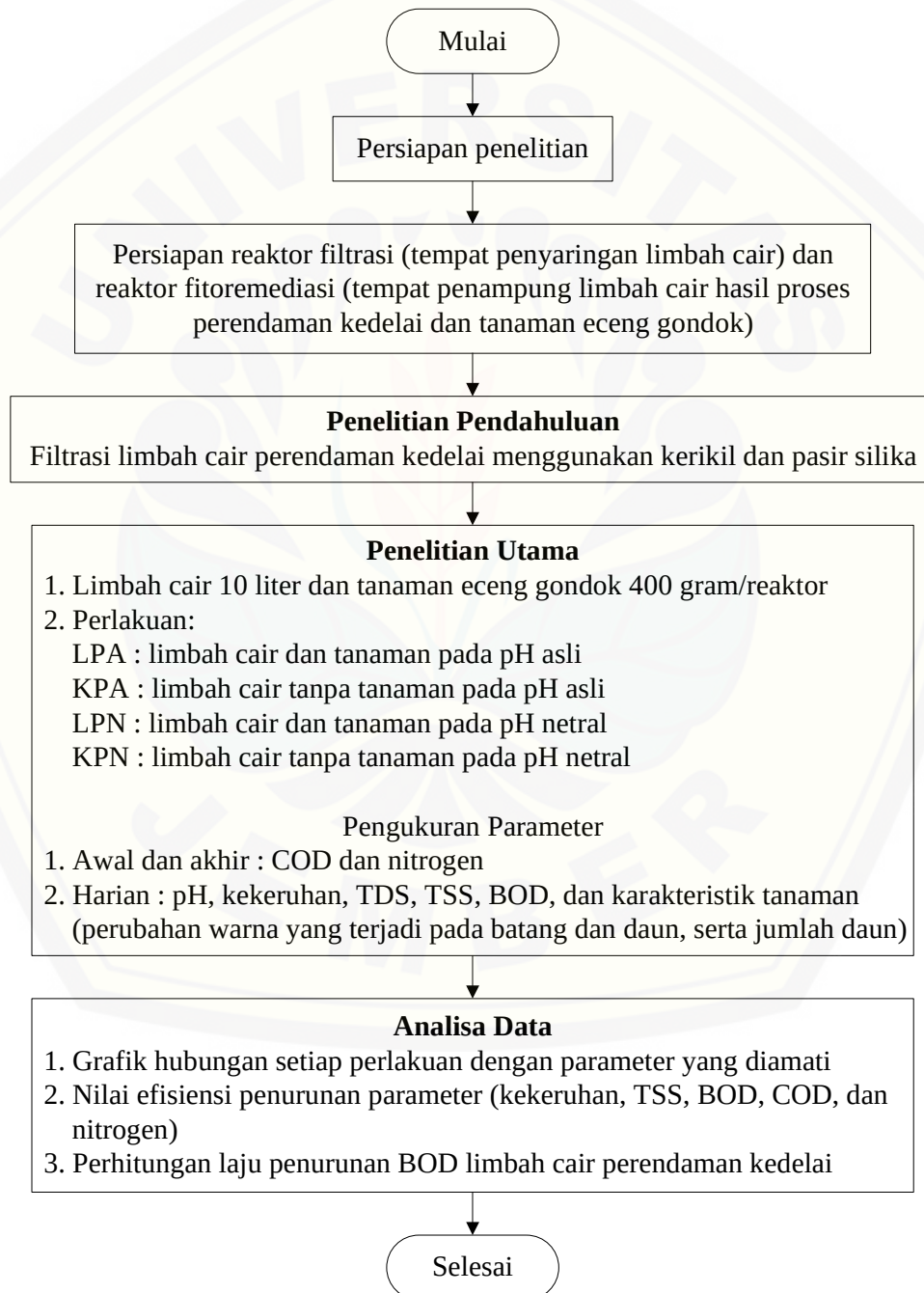
Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- | | |
|--|---|
| a. Limbah cair perendaman kedelai hasil pengolahan tempe | g. Larutan MnSO ₄ |
| b. Tanaman eceng gondok | h. Larutan alkali-iodida-azida |
| c. Batu kerikil berdiameter 1-1,5 cm | i. Larutan H ₂ SO ₄ pekat |
| | j. Larutan natrium tiosulfat 0,025 N |

- d. Pasir silika berdiameter 1-2,5 mm k. Indikator kanji (amilum)
 e. Aquades l. Reagen COD HR (*High Range*)
 f. Kapur tohor

3.3 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian disajikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.4 Tahapan Penelitian

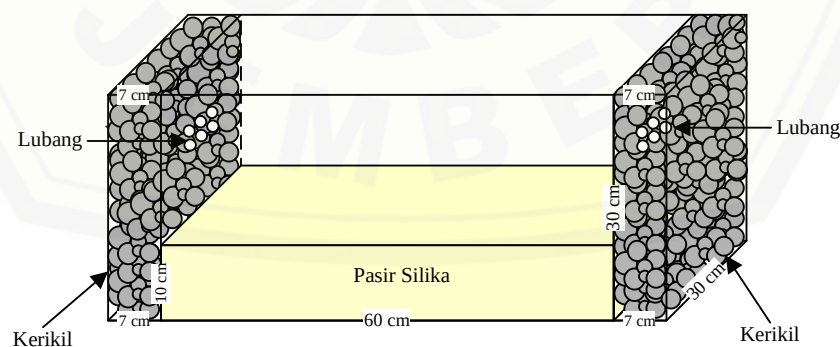
3.4.1 Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian yang dilakukan berupa studi literatur, serta persiapan tempat, alat, dan bahan penelitian. Studi literatur dilakukan dengan cara mencari materi-materi yang terkait dengan penelitian yang akan dilakukan. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan (TPKL), Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, serta Laboratorium Kesuburan Tanah, Program Studi Ilmu Tanah, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Jember. Limbah cair perendaman kedelai didapat dari *home industry* tempe yang berlokasi di Jl. Wahid Hasyim IX, Kelurahan Kepatihan, Kecamatan Kaliwates, Kabupaten Jember.

3.4.2 Persiapan Reaktor Filtrasi dan Fitoremediasi

a. Reaktor Filtrasi

Reaktor filtrasi digunakan untuk proses penyaringan limbah cair perendaman kedelai sebelum digunakan untuk proses fitoremediasi. Proses filtrasi bertujuan untuk memisahkan partikel berukuran besar seperti benda-benda yang mengapung maupun benda-benda yang mengendap agar tidak mengganggu proses penanganan selanjutnya (Jenie dan Rahayu, 1993). Berikut merupakan gambar rancangan reaktor filtrasi yang digunakan dalam penelitian disajikan pada Gambar 3.2 (Masfiah, 2016).



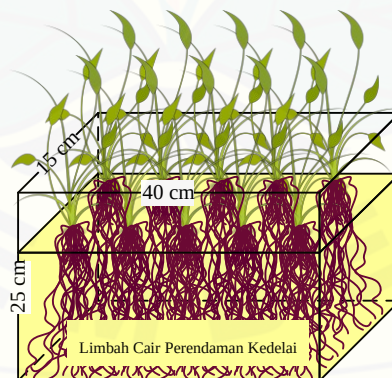
Gambar 3.2 Rancangan reaktor filtrasi

Reaktor filtrasi yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari kaca yang terdiri dari 3 zona, yaitu zona *inlet*, zona pengendapan, dan zona *outlet*. Sekat

antar zona dilengkapi lubang berjumlah 6 buah dengan posisi lajur horizontal. Dimensi reaktor filtrasi adalah panjang 74 cm, yang terdiri atas panjang zona pengendapan 60 cm dan masing-masing panjang zona *inlet* dan *outlet* 7 cm, lebar 30 cm, dan tinggi 30 cm. Zona *inlet* diberi media batu kerikil (diameter 1-1,5 cm) dengan lebar 7 cm dan ketinggian 30 cm, zona pengendapan diberi media pasir silika (diameter 1-1,25 mm) dengan lebar 60 cm dan ketinggian 10 cm, dan zona *outlet* diberi media batu kerikil (diameter 1-1,5 cm) dengan lebar 7 cm dan ketinggian 30 cm.

b. Reaktor Fitoremediasi

Reaktor fitoremediasi digunakan sebagai tempat fitoremediasi limbah cair perendaman kedelai pembuatan tempe dan tanaman eceng gondok. Reaktor fitoremediasi yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari kaca. Dimensi reaktor fitoremediasi adalah 40x15x25 cm. Limbah cair yang telah melalui proses filtrasi pada reaktor filtrasi ditampung di reaktor fitoremediasi yang diberi tanaman eceng gondok. Kran outlet diletakkan di bagian bawah reaktor sebagai tempat pengeluaran limbah cair yang akan diukur parameter kualitas air. Berikut merupakan gambar rancangan reaktor fitoremediasi yang digunakan dalam penelitian disajikan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Rancangan reaktor fitoremediasi

3.4.3 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk mengurangi bahan pencemar yang terkandung pada limbah cair perendaman kedelai dengan penanganan fisika, yaitu

menggunakan proses filtrasi. Berikut merupakan prinsip kerja proses filtrasi disajikan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Prinsip kerja proses filtrasi

Keterangan:

1. reaktor penampung limbah cair;
2. kran output limbah cair;
3. zona *inlet*;
4. zona pengendapan;
5. zona *outlet*;
6. kran output limbah setelah filtrasi;
7. reaktor penampung limbah setelah filtrasi.

Tahapan prinsip kerja proses filtrasi yang dilakukan pada penelitian pendahuluan adalah sebagai berikut.

1. Limbah cair perendaman kedelai yang telah ditampung di dalam reaktor kaca dialirkan ke dalam reaktor filtrasi. Limbah cair dialirkan melalui kran yang dapat dibuka dan ditutup untuk mengatur debit keluaran limbah cair yang masuk ke dalam reaktor filtrasi. Kran juga mengatur debit masuk yang akan digunakan. Penentuan debit dilakukan dengan *trial and error*. Debit yang digunakan untuk mengalirkan limbah cair tanpa adanya penyumbatan, yaitu

22,2 ml/detik. Volume air yang masuk dan debit yang telah ditentukan akan berpengaruh terhadap waktu tinggal limbah di dalam reaktor filtrasi.

2. Zona *inlet* berisi batu kerikil. Batu kerikil berfungsi sebagai pengendap dan penyaring padatan maupun kotoran dalam limbah cair.
3. Zona pengendapan berisi pasir silika. Pasir silika berfungsi sebagai pengendap dan penyaring padatan maupun kotoran, serta mengurangi bau dari limbah cair.
4. Zona *outlet* berisi batu kerikil. Batu kerikil berfungsi sebagai pengendap dan penyaring padatan maupun kotoran yang lolos dari zona pengendapan.

3.4.4 Penelitian Utama

Penelitian utama dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan tanaman eceng gondok dan karakteristik limbah cair perendaman kedelai pembuatan tempe pada proses fitoremediasi. Fitoremediasi pada penelitian ini menggunakan sistem *batch*. Penelitian ini menggunakan 4 perlakuan dengan masing-masing 3 kali pengulangan sebagai berikut.

- a) LPA = reaktor berisi limbah cair perendaman kedelai (pH=4,4) dan tanaman eceng gondok.
- b) LPN = reaktor berisi limbah cair perendaman kedelai yang dinetralkan (pH=7,0) dan tanaman eceng gondok.
- c) KPA = reaktor berisi limbah cair perendaman kedelai (pH=4,4) tanpa tanaman eceng gondok dan bertindak sebagai kontrol.
- d) KPN = reaktor berisi limbah cair perendaman kedelai yang dinetralkan (pH=7,0) tanpa tanaman eceng gondok dan bertindak sebagai kontrol.

Volume limbah cair yang digunakan pada masing-masing reaktor adalah 10 liter dan eceng gondok sebanyak 400 gram dengan panjang akar 30 cm. Reaktor ke-1 diisi oleh tanaman eceng gondok sebanyak 400 gram dan limbah cair perendaman kedelai sebanyak 10 liter (LPA). Reaktor ke-2 diisi oleh tanaman eceng gondok sebanyak 400 gram dan limbah cair perendaman kedelai yang dinetralkan sebanyak 10 liter (LPN). Reaktor ke-3 diisi oleh limbah cair perendaman kedelai sebanyak 10 liter tanpa menggunakan tanaman eceng gondok dan bertindak sebagai kontrol atau pembanding (KPA). Reaktor ke-4 diisi oleh

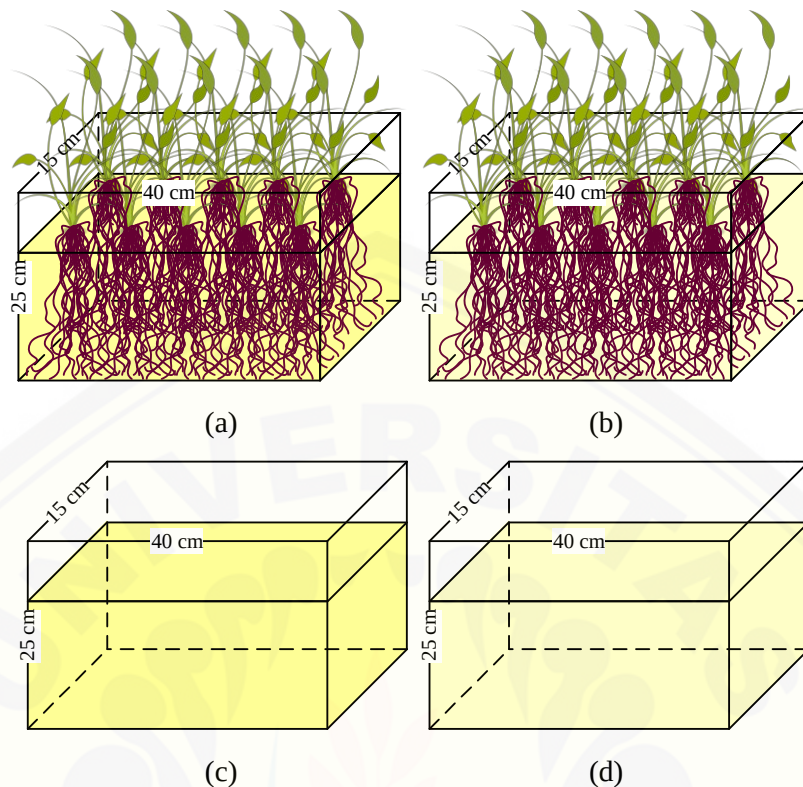
limbah cair perendaman kedelai yang dinetralkan sebanyak 10 liter tanpa menggunakan tanaman eceng gondok dan juga bertindak sebagai kontrol atau pembanding (KPN).

Penentuan berat eceng gondok pada masing-masing reactor berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Manasika (2015). Penelitian tersebut menyatakan bahwa berat eceng gondok yang paling efektif untuk menurunkan konsentrasi limbah cair adalah pada perlakuan P3 (400 gram/10 liter), dengan rata-rata nilai efisiensi sebesar 69,07%. Kemudian densitas terbaik berikutnya adalah P2 (300 gram/10 liter), lalu P1 (200 gram/10 liter), dan yang paling rendah adalah P4 (tanpa tanaman) dengan rata-rata nilai efisiensi masing-masing sebesar 68,27%, 63,79%, dan 50,26%.

Penentuan panjang akar eceng gondok 30 cm pada masing-masing reactor berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Safrizal (2016). Penelitian tersebut menyatakan bahwa perlakuan panjang akar 30 cm memiliki keseluruhan nilai persentase penurunan terbaik, yaitu 76,48%, dibandingkan perlakuan panjang akar 20 cm (74,376%) dan 10 cm (72,386%) dengan berat eceng gondok yang sama.

Penetralkan pH limbah cair perendaman kedelai dilakukan setelah proses filtrasi dan sebelum digunakan untuk proses fitoremediasi. Tujuan dari penetralan pH limbah cair perendaman kedelai adalah membantu mikroorganisme dalam melakukan metabolisme yang baik dan mampu menguraikan zat polutan pada limbah cair (Jenie dan Rahayu, 1993).

Masing-masing perlakuan pada setiap reactor dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali. Sehingga, total reactor yang digunakan pada proses fitoremediasi ini adalah 12 buah. Limbah cair perendaman kedelai yang berada di reactor dilakukan pengamatan harian mengenai kandungan pH, kekeruhan, TDS, TSS, dan BOD, serta kandungan unsur N dan COD pada saat awal dan akhir pengamatan pada proses fitoremediasi hingga tanaman eceng gondok mati. Berikut merupakan gambar rancangan reactor fitoremediasi pada setiap perlakuan yang digunakan dalam penelitian disajikan pada Gambar 3.5.



(a) Perlakuan LPA; (b) Perlakuan LPN; (c) Perlakuan KPA; (d) Perlakuan KPN

Gambar 3.5 Rancangan reaktor fitoremediasi pada setiap perlakuan

Penelitian ini menggunakan beberapa parameter kualitas air untuk mengetahui kandungan limbah cair yang digunakan selama proses fitoremediasi.

Parameter yang digunakan adalah sebagai berikut.

a. PH

Pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan alat pH meter. Berikut merupakan tahapan pengukuran pH menggunakan pH meter Trans.

- 1) Tutup pH meter dibuka dan pH meter dinyalakan dengan menekan tombol *on*.
- 2) Elektroda pH meter dicelupkan ke dalam wadah yang berisi sampel.
- 3) Tunggu hingga nilai yang tertera pada *display* konstan.
- 4) Catat nilai yang tertera pada *display*.
- 5) PH meter dimatikan dengan menekan tombol *off*.
- 6) Sensor dicuci dengan menggunakan aquades, lalu bersihkan dengan menggunakan tisu kering.
- 7) PH meter ditutup dan disimpan di dalam kotak.

b. Kekeruhan

Pengukuran kekeruhan dilakukan dengan menggunakan alat Turbidimeter. Berikut merupakan tahapan pengukuran kekeruhan menggunakan Turbidimeter TN-100.

- 1) Turbidimeter dinyalakan dengan menekan tombol *on*.
- 2) Turbidimeter dikalibrasikan terlebih dahulu sebelum digunakan dengan cara memasukkan botol uji berisi air yang telah diketahui nilai kekeruhannya pada alat penguji.
- 3) Air sampel dimasukkan pada botol penguji.
- 4) Botol penguji dimasukkan pada alat penguji.
- 5) Tekan tombol *READ* untuk pembacaan nilainya dan tunggu hingga nilai konstan.
- 6) Catat nilai yang tertera pada *display*.
- 7) Turbidimeter dimatikan dengan menekan tombol *off*.

c. Total Dissolved Solid (TDS)

Pengukuran TDS dilakukan dengan menggunakan alat TDS meter. Berikut merupakan tahapan pengukuran TDS menggunakan TDS meter Hanna.

- 1) Tutup TDS meter dibuka dan TDS meter dinyalakan dengan menekan tombol *on*.
- 2) Elektroda TDS meter dicelupkan ke dalam wadah yang berisi sampel.
- 3) Tunggu hingga nilai yang tertera pada *display* konstan.
- 4) Catat nilai yang tertera pada *display*.
- 5) TDS meter dimatikan dengan menekan tombol *off*.
- 6) Sensor dicuci dengan menggunakan aquades, lalu bersihkan dengan menggunakan tisu kering.
- 7) TDS meter ditutup dan disimpan di dalam kotak.

d. Total Suspended Solid (TSS)

Pengukuran TSS dilakukan secara gravimetri berdasarkan SNI 06-6989.3-2004 dengan menggunakan kertas saring dan memiliki satuan mg/l. Berikut merupakan tahapan pengukuran *Total Suspended Solid* (TSS).

- 1) Kertas saring dipanaskan di dalam oven pada suhu 105°C selama 1 jam.

- 2) Kertas saring didinginkan dalam desikator selama 15 menit, kemudian ditimbang.
- 3) Ulangi prosedur 1) dan 2) untuk mendapatkan berat yang konstan atau kehilangan berat sesudah pemanasan ulang <0,5 mg.
- 4) 20 ml limbah cair perendaman kedelai pembuatan tempe disaring dengan menggunakan kertas saring yang sudah dipanaskan.
- 5) Kertas saring yang sudah digunakan dimasukkan ke dalam oven untuk dipanaskan kembali pada suhu 105°C selama 1 jam.
- 6) Kertas saring didinginkan dalam desikator selama 15 menit kemudian ditimbang.
- 7) Ulangi prosedur 5) dan 6) untuk mendapatkan berat yang konstan atau kehilangan berat sesudah pemanasan ulang <0,5 mg.
- 8) Hitung TSS menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\frac{(\quad)}{\quad} \dots\dots\dots (3.1)$$

Keterangan:

TSS = total padatan tersuspensi (mg/l)

a = berat kertas saring + residu (mg)

b = berat kertas saring (mg)

c = volume sampel air (ml).

e. *Biological Oxygen Demand* (BOD)

Pengukuran BOD dilakukan dengan metode Winkler dan memiliki satuan mg/l. Berikut merupakan tahapan pengukuran *Biological Oxygen Demand* (BOD) berdasarkan SNI 6989.72:2009.

- 1) Sampel limbah cair perendaman kedelai dimasukkan ke dalam botol Winkler 300 ml.
- 2) Aquades dimasukkan ke dalam botol Winkler tanpa udara hingga penuh.
- 3) Larutan MnSO₄ sebanyak 2 ml ditambahkan ke dalam botol Winkler, kemudian didiamkan selama beberapa menit untuk menghomogenkan.
- 4) Larutan alkali iodida-azida sebanyak 2 ml ditambahkan ke dalam botol Winkler, kemudian botol Winkler ditutup dengan hati-hati agar tidak ada udara yang terperangkap.

- 5) Botol Winkler dikocok hingga gumpalan berwarna coklat terbentuk, kemudian diendapkan selama ± 10 menit.
- 6) Larutan yang jernih dikeluarkan menggunakan pipet volumetrik sebanyak ± 100 ml ke dalam erlenmeyer.
- 7) Larutan H_2SO_4 pekat sebanyak 2 ml ditambahkan pada sisa larutan yang mengendap dalam botol Winkler, kemudian botol Winkler ditutup kembali.
- 8) Botol Winkler digoyang-goyangkan hingga endapan terlarut, kemudian seluruh isi botol Winkler dimasukkan ke dalam erlenmeyer.
- 9) Seluruh isi botol Winkler dititrasikan dengan larutan $Na_2S_2O_3$ 0,025 N hingga berwarna cokelat muda, kemudian volume titrasi dicatat.
- 10) Indikator kanji ditambahkan sebanyak 1-2 ml (larutan akan menjadi berwarna biru).
- 11) Sampel kembali dititrasikan dengan larutan $Na_2S_2O_3$ 0,025 N hingga warna biru menjadi bening untuk pertama kali, kemudian volume titrasi dicatat.
- 12) Seluruh prosedur dilakukan pada hari ke-0 dan ke-5.
- 13) DO_0 dan DO_5 dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\frac{(a - v)N}{1000} \dots\dots\dots (3.2)$$

Keterangan:

- DO = oksigen terlarut (mgO_2/l)
- a = volume titran $Na_2S_2O_3$ (ml)
- N = normalitas $Na_2S_2O_3$ (ek/l)
- v = volume botol Winkler (ml)

- 14) BOD dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\frac{(X_0 - X_5) (1 - e^{-k_1 t})}{(1 - e^{-k_1 t_1})} \dots\dots\dots (3.3)$$

Keterangan:

- BOD_5 = kebutuhan oksigen terlarut (mgO_2/l)
- X_0 = DO sampel pada saat $t = 0$ hari (mgO_2/l)
- X_5 = DO sampel pada saat $t = 5$ hari (mgO_2/l)
- B_0 = DO blanko pada saat $t = 0$ hari (mgO_2/l)
- B_5 = DO blanko pada saat $t = 5$ hari (mgO_2/l)

P = derajat pengenceran.

f. *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Pengukuran COD dilakukan dengan menggunakan alat Spektrofotometer dengan satuan mg/l. Berikut merupakan tahapan pengukuran *Chemical Oxygen Demand* (COD) berdasarkan SNI 06-6989.2-2004.

- 1) Blanko dibuat dengan cara penambahan aquades sebanyak 0,2 ml ke dalam tabung reagen HR (High Range), kemudian ditutup rapat dan dikocok.
- 2) Limbah cair perendaman kedelai diencerkan sebanyak 20x.
- 3) Sampel limbah cair perendaman kedelai dibuat dengan cara penambahan limbah cair yang telah diencerkan sebanyak 0,2 ml ke dalam tabung reagen HR (High Range), kemudian ditutup rapat dan dikocok.
- 4) Tabung blanko dan sampel dipanaskan selama 2 jam menggunakan COD reaktor pada suhu 150°C.
- 5) Setelah pemanasan selesai, tabung blanko dan sampel didinginkan hingga mencapai suhu ruangan.
- 6) Tabung blanko dan sampel dimasukkan ke dalam kuvet dan dilakukan pembacaan nilai COD menggunakan Spektrofotometer.

g. Nitrogen (N)

Menurut Sugiharto (1987) nitrogen merupakan bahan yang dapat meningkatkan pertumbuhan *algae* dan tumbuhan air. Pengukuran unsur nitrogen dilakukan di Laboratorium Kesuburan Tanah, Program Studi Ilmu Tanah, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Jember. Berikut merupakan tahapan pengukuran nitrogen (N) berdasarkan Metode Kjeldahl (Alaerts dan Santika, 1987).

- 1) Tahap pertama adalah destruksi sampel. Sampel halus 1,0 g dimasukkan ke dalam labu kjeldahl. Tambahkan 1 g campuran selen dan 10 ml H₂SO₄.
- 2) Destruksi dinyatakan selesai apabila keluar uap putih dan didapat ekstrak jernih (sekitar 4 jam), kemudian labu diangkat dan didinginkan.
- 3) Ekstrak diencerkan dengan air hingga 50 ml, lalu dikocok sampai homogen dan dibiarkan semalam agar mengendap. Ekstrak jernih digunakan untuk pengukuran N. Tahap selanjutnya adalah pengukuran N.

- 4) Ekstrak sebanyak 10 ml dimasukkan ke dalam labu didih, lalu ditambahkan sedikit serbuk batu didih dan aquades hingga setengah volume labu.
- 5) Penampung NH_3 yang dibebaskan disiapkan, yaitu erlenmeyer yang berisi 10 ml asam borat 1% ditambah dua tetes indikator metil red (berwarna merah) dan dihubungkan dengan alat destilasi.
- 6) NaOH 40% sebanyak 10 ml ditambahkan ke dalam labu didih yang berisi contoh dan ditutup secepatnya. Labu didih tadi didestilasi hingga volume penampung mencapai 50-75 ml (berwarna hijau). Destilat dititrasi dengan HCl 0,05 N hingga berwarna merah muda. Volume titar sampel (V_c) dan blanko (V_b) dicatat kemudian dihitung dengan persamaan berikut:

$$\left(\frac{V_c}{V_b} \right) \left(\frac{N}{N_0} \right) \dots (3.4)$$

Keterangan:

V_c = ml titar sampel

V_b = ml titar blanko

N = normalitas larutan baku H_2SO_4

14 = bobot setara N (Mr)

f_k = faktor koreksi kadar air = $100/(100-\% \text{ kadar air})$.

3.4.5 Analisa Data

Data yang telah diperoleh akan dianalisis menggunakan aplikasi *Microsoft Excel* dengan format runtun waktu (*time series*) dan ditampilkan dalam bentuk grafik yang menunjukkan hubungan antara waktu dan data yang diamati. Data yang dianalisa pada penelitian ini meliputi data pH, kekeruhan, TDS, TSS, BOD, COD, dan nitrogen. Analisa data yang dilakukan adalah sebagai berikut.

a. Analisis Nilai Efisiensi

Analisis nilai efisiensi dilakukan untuk mengetahui besar penurunan konsentrasi bahan pencemar pada limbah cair perendaman kedelai dengan menggunakan perhitungan efisiensi. Parameter yang dapat dihitung nilai efisiensinya, yaitu kekeruhan, TSS, BOD, COD, dan nitrogen. Nilai efisiensi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\left(\frac{C_0 - C_t}{C_0} \right) \dots (3.5)$$

Keterangan:

Eff = nilai efisiensi (%)

AC = nilai parameter awal pada limbah

AB = nilai parameter akhir pada limbah (Muljadi, 2009).

b. Analisis Laju Penurunan BOD

Laju penurunan BOD limbah cair perendaman kedelai ditampilkan dalam bentuk grafik selisih penurunan BOD terhadap lama waktu pengamatan. Grafik tersebut lalu dianalisis menggunakan regresi linier sederhana untuk mengetahui laju penurunan BOD limbah cair perendaman kedelai terhadap waktu pengamatan. Analisis regresi linier sederhana disajikan dalam bentuk persamaan pada grafik yang menunjukkan hubungan sebab akibat antara laju penurunan BOD limbah cair perendaman kedelai dan waktu pengamatan. Analisis regresi linier sederhana dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\dots\dots\dots (3.6)$$

Keterangan:

y = variabel dependen/variabel terikat

x = variabel independen/variabel bebas

a = koefisien regresi (nilai y apabila x = 0)

b = konstanta (Dajan, 2000).

Perbandingan perlakuan yang digunakan, yaitu antara perlakuan LPA dengan KPA, perlakuan LPN dengan KPN, dan perlakuan LPA dengan LPN. Hipotesis yang akan diuji adalah sebagai berikut.

- 1) H_0 = Tidak ada perbedaan antara perlakuan 1 dengan perlakuan 2.
- 2) H_1 = Ada perbedaan antara perlakuan 1 dengan perlakuan 2.

Selanjutnya, hipotesis akan dicocokkan dengan kriteria pengambilan keputusan sebagai berikut.

- 1) Jika nilai Sig < 0,05, maka H_0 ditolak.
- 2) Jika nilai Sig > 0,05, maka H_0 diterima (Dajan, 2000).

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Kandungan bahan pencemar pada limbah cair perendaman kedelai semakin berkurang selama proses fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok. Hal ini dapat diketahui dari parameter kualitas air limbah cair perendaman kedelai, yaitu nilai kekeruhan, TSS, BOD, COD, dan nitrogen semakin menurun. Selain itu, proses fitoremediasi juga dapat menyebabkan perubahan pada nilai pH limbah cair perendaman kedelai.
2. Tanaman eceng gondok dapat bertahan hidup lebih lama pada limbah cair perendaman kedelai yang dinetralkan dibandingkan limbah cair dengan pH awal yang cenderung asam. Namun, tanaman eceng gondok lama-kelamaan akan mati karena keterbatasannya dalam menyerap bahan pencemar pada limbah cair perendaman kedelai, sehingga tanaman eceng gondok mati pada hari ke-9.
3. Limbah cair perendaman kedelai dengan pH netral lebih baik dalam menurunkan kadar bahan pencemar pada proses fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok. Hal ini dapat dilihat dari nilai efisiensi penurunan parameter, yaitu kekeruhan sebesar 71,17%, TSS sebesar 66,69%, BOD sebesar 58,99%, COD sebesar 61,47%, dan nitrogen sebesar 62,08%.
4. Pada proses fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok, laju penurunan nilai BOD pada limbah cair yang dinetralkan lebih tinggi dibandingkan pada limbah cair dengan pH awal.

5.2 Saran

Perlu adanya penelitian lanjutan mengenai fitoremediasi pada limbah cair perendaman kedelai pembuatan tempe dengan penambahan aerasi agar kandungan oksigen terlarut dapat terpenuhi untuk mendegradasi bahan pencemar di dalam limbah cair perendaman kedelai. Selain itu, penggunaan variasi tanaman air juga

dapat dilakukan agar dapat diketahui kemampuan masing-masing tanaman yang lebih baik dalam menyerap bahan pencemar di dalam limbah cair perendaman kedelai.



DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G. dan S.S. Santika. 1987. *Metoda Penelitian Air*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Dajan, A. 2000. *Pengantar Metode Statistik*. Jakarta: Pustaka LP3ES Indonesia.
- Badan Pusat Statistik. 2017. *Produksi Kedelai Menurut Provinsi (ton), 1993-2015*. <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/871> [Diakses pada 17 Februari 2017].
- Badan Standardisasi Nasional. 2012. *Tempe: Persembahan Indonesia untuk Dunia*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional. www.bsn.go.id/uploads/download/Booklettempe-printed21.pdf [Diakses pada 17 Februari 2017].
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius.
- EPA. 2000. *Introduction to Phytoremediation*. Ohio: U.S. Environmental Protection Agency. <https://clu-in.org/download/remed/introphyto.pdf> [Diakses pada 27 Februari 2017].
- Gerbono, A. dan A. S. Djarijah. 2005. *Kerajinan Eceng Gondok*. Yogyakarta: Kanisius. https://books.google.co.id/books?id=SeTT4JD5hQC&printsec=frontcover&hl=id&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false [Diakses pada 17 Februari 2017].
- Hardyanti, N. dan S. S. Rahayu. 2007. Fitoremediasi *phospat* dengan pemanfaatan eceng gondok (*Eichornia crassipes*) (studi kasus pada limbah cair industri kecil *laundry*). *Jurnal Presipitasi*. 2(1): 28-33.
- Hartanti, I. P., A. T. S. Haji, dan R. Wirosodarmo. 2014. 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. <http://jsal.ub.ac.id/index.php/jsal/article/view/124/107> [Diakses pada 17 Februari 2017].
- Hermawan, A. A. G. 2018. *Komparasi Proses Fitoremediasi Limbah Cair Pembuatan Tempe Menggunakan Tiga Jenis Tanaman Air*. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Ibrahim, A. S dan A. Kasno. 2008. Interaksi pemberian kapur pada pemupukan urea terhadap kadar N tanah dan serapat N tanaman jagung (*Zea mays. L*). <http://balittanah.litbang.pertanian.go.id/document.php?folder=eng/dokume>

ntasi/prosiding2008pdf&filename=ibrahim_jagung&ext=pdf [Diakses pada 23 Agustus 2018].

Jenie, B. S. L. dan W. P. Rahayu. 1993. *Penanganan Limbah Industri Pangan*. Yogyakarta: Kanisius.

Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. 2014. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah*. Indonesia: Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia. <http://peraturan.go.id/inc/view/11e572eb5e5b2afe9215313031383133.html> [Diakses pada 17 Februari 2017].

Kompas. 2015. Hampanan Bunga Eceng Gondok yang diserbu Remaja untuk Selfie. <http://foto.kompas.com/photo/detail/2015/12/15/66789165319211450112442/1/Hampanan.Bunga.Eceng.Gondok.yang.Diserbu.Remaja.untuk.Selfie> [Diakses pada 17 Februari 2017].

Kordi, M. G. H. dan A. B. Tancung. 2007. *Pengelolaan Kualitas Air dalam Budidaya Perairan*. Jakarta: Penerbit Rineka Cipta.

Kristanto, P. 2004. *Ekologi Industri*. Edisi Kedua. Yogyakarta: Andi.

Mahida, U. N. 1986. *Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri*. Jakarta: Rajawali.

Manasika, A.P. 2015. Analisis Pengaruh Variasi Densitas Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes* (Mart.) Solm) pada Fitoremediasi Limbah Cair Kopi. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember Press.

Masfiah. 2016. Kajian Sistem *Constructed Wetland* Aliran Bawah Permukaan (*Subsurface Flow*) Menggunakan Eceng Gondok pada Penanganan Limbah Cair Pengolahan Kopi. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.

Muljadi. 2009. Efisiensi Instalasi Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Cetak Dengan Metode Fisika-Kimia dan Biologi Terhadap Penurunan Terhadap Parameter Pencemar (BOD, COD dan Logam Berat Khrom (Cr). *Jurnal Ekuilibrium*. 8(1): 7-16.

Prayitno dan M. Sholeh. 2014. Pengurangan nitrogen pada limbah cair terolah industri penyamakan kulit menggunakan sistem *wetland* buatan. *Majalah Kulit, Karet, dan Plastik*. 30(2):79-86

Ratnani, D. 2011. Pemanfaatan eceng gondok (*Eichornia crassipes*) untuk menurunkan kandungan COD (*Chemical Oxygen Demand*), pH, bau, dan warna pada limbah cair tahu. *Jurnal Momentum*. 7(1):41-47.

- Rondonuwu, S. B. 2014. Fitoremediasi limbah merkuri menggunakan tanaman dan sistem reaktor. *Jurnal Ilmiah Sains*. 14(1): 52-59.
- Rossiana, N., Supriatun, T., dan Dhahiyat, Y. 2007. Fitoremediasi limbah cair dengan eceng gondok (*Eichornia crassipes* (Mart) Solms) dan limbah padat industri minyak bumi dengan sengon (*Paraserianthes falcataria* L. Nielsen) bermikoriza. *Laporan Penelitian*. Bandung: Universitas Padjajaran Press.
- Safrizal, M. R. 2016. Pengaruh Panjang Akar Eceng Gondok Terhadap Penurunan Konsentrasi Limbah Cair Pengolahan Kopi. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Salt, D. E., R. D. Smith, dan I. Raskin. 1988. Annual review plant physiology and plant molecular biology: phytoremediation. *Annual Reviews*. 49: 643-668.
- Stefhany, C. A., M. Sutisna, dan K. Pharmawati. 2013. Fitoremediasi *phospat* dengan menggunakan tumbuhan eceng gondok (*Eichornia crassipes*) pada limbah cair industri kecil pencucian pakaian (*laundry*). *Jurnal Reka Lingkungan*. 1(1): 1-11 <http://ejournal.itenas.ac.id/index.php/lingkungan/article/view/137/623> [Diakses pada 28 Februari 2017].
- Sugiharto. 1987. *Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Suriawiria, U. 1993. *Mikrobiologi Air*. Bandung: Alumni Bandung Press.
- Tim Redaksi AgroMedia. 2007. *Membuat Tahu dan Tempe*. Jakarta: PT Agromedia Pustaka.
- Tosepu, R. 2012 Laju penurunan logam berat *plumbum* (Pb) dan *cadmium* (Cd) oleh *Eichornia crassipes* dan *Cyperus papyrus*. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*. 19(1):37-45.
- Wardhana, W. A. 1995. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Yogyakarta: Andi Offset
- Wiryani, E. 2007. Analisis kandungan limbah cair pabrik tempe kedelai. *Jurnal Ilmiah*. Semarang: Diponegoro University Institutional Repository. <http://eprints.undip.ac.id/2121/> [Diakses pada 16 Februari 2017].

Lampiran A. Karakteristik Limbah Cair Perendaman Kedelai

Tabel A.1 Karakteristik limbah cair perendaman kedelai

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1.	pH	4,30	
2.	Kekeruhan	4.740,00	NTU
3.	TDS	7.206,67	mg/l
4.	TSS	15.513,33	mg/l
5.	BOD	7.094,59	mg/l
6.	COD	34.953,33	mg/l
7.	Nitrogen	870,00	mg/l

Tabel A.2 Karakteristik limbah cair perendaman kedelai setelah proses filtrasi

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1.	pH	4,40	
2.	Kekeruhan	3.240,00	NTU
3.	TDS	6.166,67	mg/l
4.	TSS	13.100,00	mg/l
5.	BOD	5.472,97	mg/l
6.	COD	28.066,67	mg/l
7.	Nitrogen	780,00	mg/l

Lampiran B. Kondisi Warna dan Jumlah Daun Tanaman Eceng Gondok Selama Proses Fitoremediasi

Tabel B.1 Kondisi warna dan jumlah daun tanaman eceng gondok pada setiap perlakuan selama proses fitoremediasi

Hari ke-	LPA									LPN								
	U1			U2			U3			U1			U2			U3		
	H	K	C	H	K	C	H	K	C	H	K	C	H	K	C	H	K	C
1	12	0	0	11	0	0	10	0	0	10	0	0	6	0	0	13	0	0
2	11	1	0	8	3	0	10	0	0	10	0	0	6	0	0	13	0	0
3	9	3	0	7	4	0	8	2	0	10	0	0	6	0	0	11	2	0
4	7	5	0	6	5	0	6	4	0	8	2	0	5	1	0	9	4	0
5	4	6	2	3	5	3	4	2	4	5	4	1	3	2	1	7	4	2
6	3	4	5	2	4	5	2	3	5	3	3	4	2	2	2	4	5	4
7	1	4	7	1	3	7	1	2	7	2	2	6	1	2	3	3	4	6
8	0	2	10	0	2	9	0	1	9	1	2	7	1	1	4	1	3	9
9	0	0	12	0	0	11	0	0	10	0	0	10	0	0	6	0	0	13

Keterangan:

U = ulangan ke-

H = jumlah daun berwarna hijau

K = jumlah daun berwarna kuning

C = jumlah daun berwarna coklat

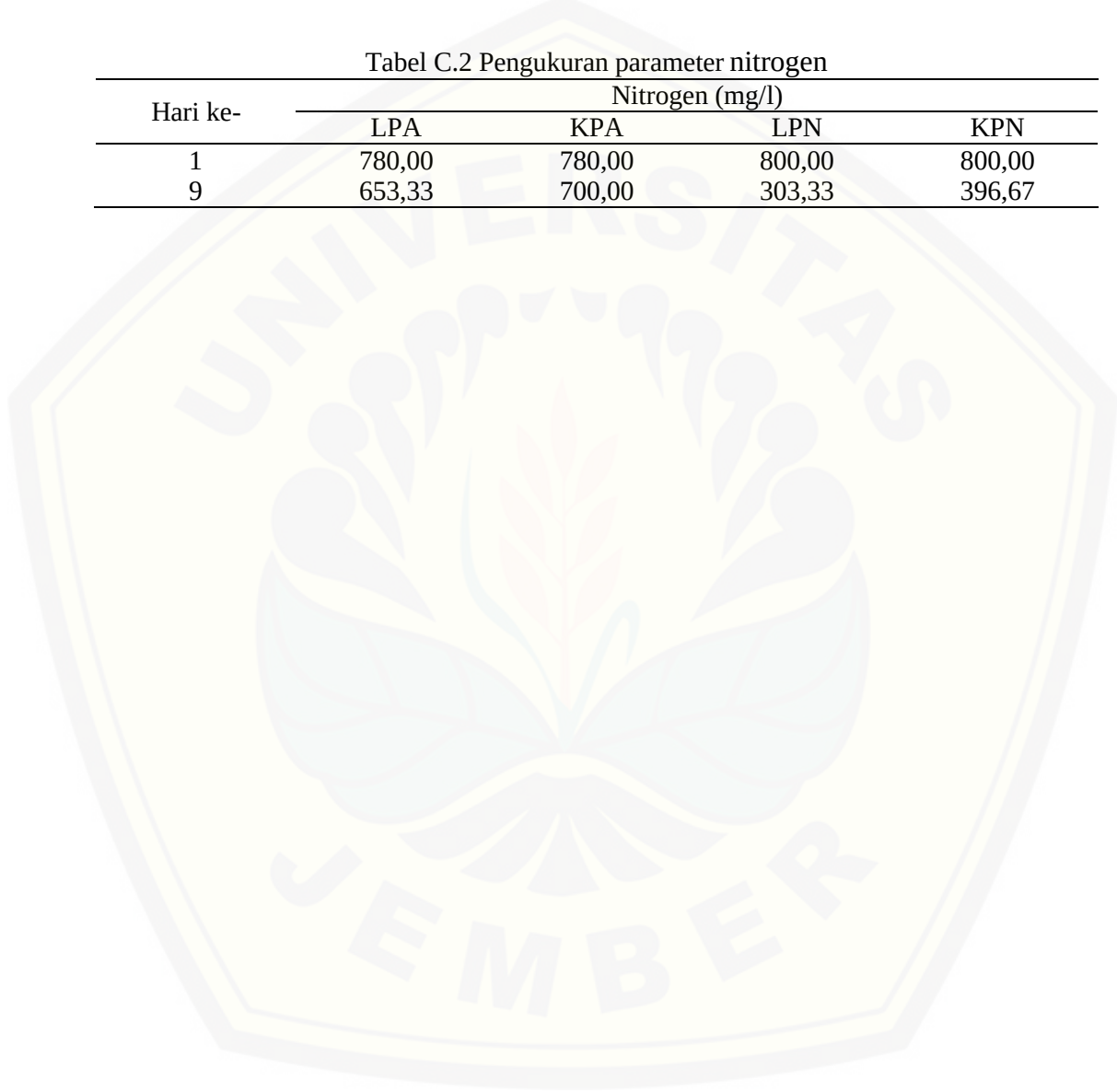
Lampiran C. Data Pengukuran Awal dan Akhir pada Proses Fitoremediasi

Tabel C.1 Pengukuran parameter COD

Hari ke-	COD (mg/l)			
	LPA	KPA	LPN	KPN
1	28.066,67	28.066,67	32.393,33	32.393,33
9	12.580,00	16.243,33	12.480,00	15.396,67

Tabel C.2 Pengukuran parameter nitrogen

Hari ke-	Nitrogen (mg/l)			
	LPA	KPA	LPN	KPN
1	780,00	780,00	800,00	800,00
9	653,33	700,00	303,33	396,67



Lampiran D. Data Pengukuran Harian

Tabel D.1 Pengukuran parameter pH

Hari ke-	pH			
	LPA	KPA	LPN	KPN
0	4,30	4,30	4,30	4,30
1	4,40	4,40	7,00	7,00
2	4,27	4,33	6,27	6,23
3	4,40	4,37	6,37	6,27
4	4,33	4,43	6,27	6,23
5	4,40	4,47	6,60	6,47
6	4,60	4,53	6,50	6,33
7	4,77	4,67	6,50	6,30
8	4,87	4,73	6,47	6,37
9	4,90	4,80	6,53	6,43

Tabel D.2 Pengukuran parameter Kekерuhan

Hari ke-	Kekeruhan (NTU)			
	LPA	KPA	LPN	KPN
0	4.740,00	4.740,00	4.740,00	4.740,00
1	3.240,00	3.240,00	5.846,67	5.846,67
2	2.833,33	3.060,00	4.206,67	4.773,33
3	2.306,67	2.826,67	3.520,00	4.306,67
4	2.025,33	2.706,67	3.166,67	3.846,67
5	1.889,33	2.546,67	2.760,00	3.793,33
6	1.801,33	2.326,67	2.706,67	3.673,33
7	1.706,67	2.236,67	2.400,00	3.313,33
8	1.614,67	2.128,00	2.027,33	2.906,67
9	1.260,00	2.080,00	1.685,33	2.786,67

Tabel D.3 Pengukuran parameter TDS

Hari ke-	TDS (mg/l)			
	LPA	KPA	LPN	KPN
0	7.206,67	7.206,67	7.206,67	7.206,67
1	6.166,67	6.166,67	8.266,67	8.266,67
2	6.346,67	6.566,67	8.973,33	8.666,67
3	6.893,33	6.740,00	9.560,00	8.893,33
4	7.400,00	7.026,67	9.546,67	9.240,00
5	7.220,00	6.980,00	9.606,67	9.380,00
6	7.033,33	6.906,67	10.073,33	9.740,00
7	7.180,00	6.820,00	10.560,00	9.693,33
8	8.106,67	7.413,33	10.680,00	9.606,67
9	8.020,00	7.406,67	10.766,67	10.000,00

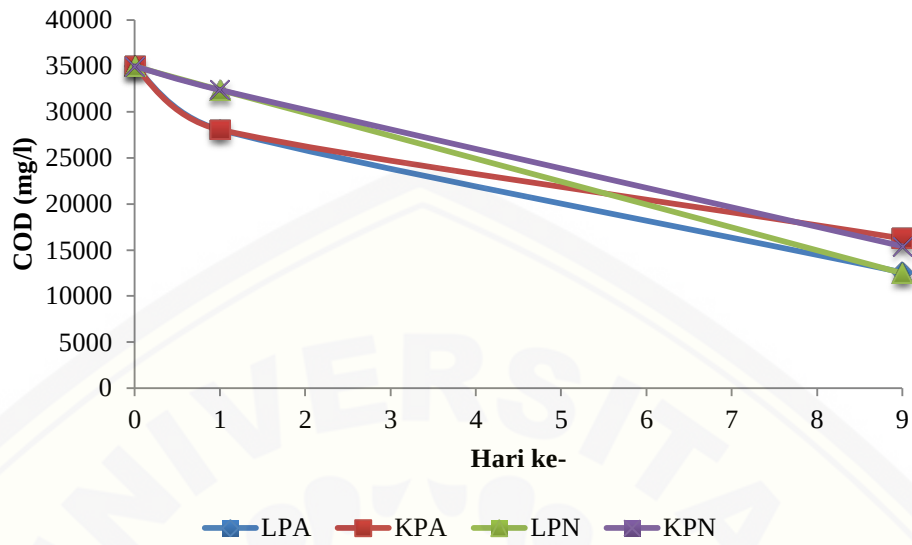
Tabel D.4 Pengukuran parameter TSS

Hari ke-	TSS (mg/l)			
	LPA	KPA	LPN	KPN
0	15.513,33	15.513,33	15.513,33	15.513,33
1	13.100,00	13.100,00	22.093,33	22.093,33
2	10.473,33	12.580,00	18.273,33	19.226,67
3	10.040,00	10.960,00	14.433,33	16.633,33
4	8.940,00	10.026,67	13.646,67	15.720,00
5	8.193,33	9.080,00	11.386,67	15.006,67
6	7.746,67	8.920,00	9.640,00	13.033,33
7	7.306,67	8.453,33	8.633,33	11.080,00
8	6.673,33	7.833,33	7.686,67	10.526,67
9	6.473,33	7.693,33	7.360,00	9.140,00

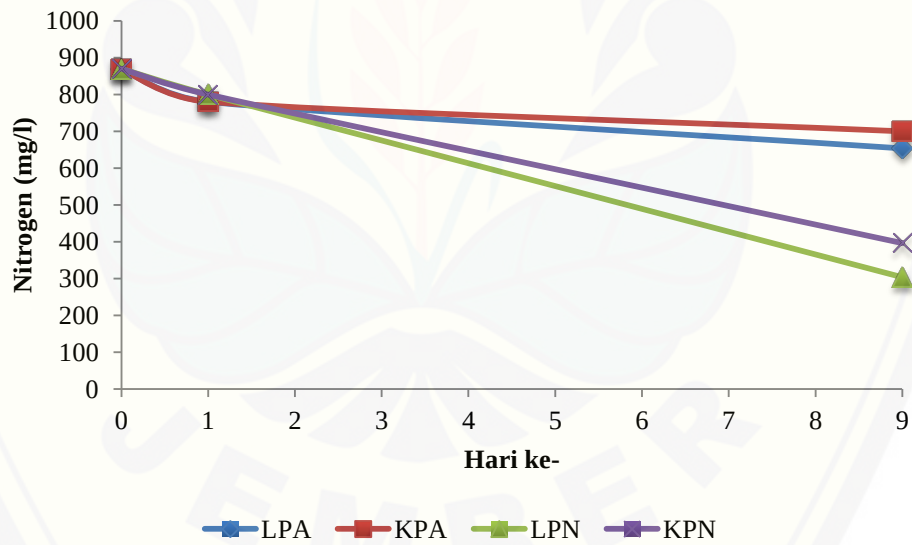
Tabel D.5 Pengukuran parameter BOD

Hari ke-	BOD (mg/l)			
	LPA	KPA	LPN	KPN
0	7.094,59	7.094,59	7.094,59	7.094,59
1	5.472,97	5.472,97	7.905,41	7.905,41
2	4.429,22	5.388,13	6.255,71	6.575,34
3	3.652,97	5.068,49	5.753,42	6.164,38
4	3.287,67	4.748,86	4.520,55	5.981,74
5	3.196,35	4.520,55	4.018,26	5.159,82
6	2.972,97	3.873,87	3.941,44	4.909,91
7	2.922,37	3.744,29	3.652,97	4.885,84
8	2.739,73	3.607,31	3.515,98	4.748,86
9	2.602,74	3.515,98	3.242,01	4.611,87

Lampiran E. Grafik Pengukuran COD dan Nitrogen



Gambar E.1 Grafik pengukuran COD



Gambar E.2 Grafik pengukuran nitrogen

Lampiran F. Uji Normalitas

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
LPA	0.247	9	0.121	0.843	9	0.062
KPA	0.211	9	.200*	0.894	9	0.221
LPN	0.237	9	0.153	0.865	9	0.110
KPN	0.232	9	0.178	0.870	9	0.122

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Lampiran G. Uji T

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta	t		Tolerance	VIF
1 (Constant)	1.005	0.511		1.966	0.097		
LPA	0.000	0.000	0.152	1,011	0.351	0.222	4.511
KPA	0.003	0.001	0.848	5.633	0.001	0.222	4.511

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta	t		Tolerance	VIF
1 (Constant)	-0.225	0.915		-0.246	0.814		
LPN	0.001	0.001	0.368	0.459	0.663	0.034	29.342
KPN	0.001	0.002	0.568	0.709	0.505	0.034	29.342

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta	t		Tolerance	VIF
1 (Constant)	0.020	1.004		0.020	0.985		
LPA	-0.001	0.002	-0.307	-0.368	0.726	0.033	30.036
LPN	0.002	0.001	1.228	1.470	0.192	0.033	30.036

Lampiran H. Dokumentasi



Pengaturan debit outlet limbah cair untuk proses penanganan secara fisik



Proses penanganan limbah cair secara fisik



Penimbangan tanaman eceng gondok menggunakan timbangan digital



Pengukuran kekeruhan menggunakan *Turbidity meter*



Pengukuran pH menggunakan pH meter



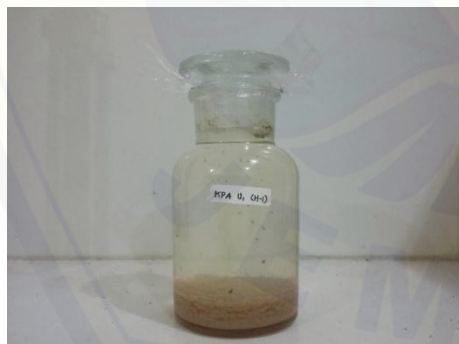
Pengukuran TDS menggunakan TDS meter



Pengukuran COD menggunakan Spektrofotometer



Pengukuran TSS secara gravimetri



Botol inkubasi Winkler



Pengukuran BOD dengan cara titrasi