



**ANALISIS PENURUNAN BOD DAN KARAKTERISTIK
LIMBAH CAIR PEMBUATAN TEMPE
MENGUNAKAN FITOREMEDIASI
ECENG GONDOK**

SKRIPSI

Oleh

**Niken Nahdia Rukma
NIM 131710201082**

**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**ANALISIS PENURUNAN BOD DAN KARAKTERISTIK
LIMBAH CAIR PEMBUATAN TEMPE
MENGUNAKAN FITOREMEDIASI
ECENG GONDOK**

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

**Niken Nahdia Rukma
NIM 131710201082**

**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

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

1. Kedua orang tua saya, Ibunda Siti Aminah dan Ayahanda Ahmadi yang tercinta serta adik-adikku tersayang Lely Branahdi Rodliah dan Duta Rifrizaldhi Faith;
2. Guru-guru saya sejak taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi;
3. Almamater tercinta Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

MOTTO

“Allah akan mengangkat derajat orang-orang yang beriman di antara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu beberapa derajat”

(terjemahan Surat *Al-Mujadalah* ayat 11)

“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 : Niken Nahdia Rukma

NIM : 131710201082

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis ilmiah yang berjudul “Analisis Penurunan BOD dan Karakteristik Limbah Cair Pembuatan Tempe Menggunakan Fitoremediasi Eceng Gondok” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. 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, 10 Desember 2017

Yang menyatakan,

Niken Nahdia Rukma
NIM 131710201082

SKRIPSI

**ANALISIS PENURUNAN BOD DAN KARAKTERISTIK
LIMBAH CAIR PEMBUATAN TEMPE
MENGUNAKAN FITOREMEDIASI
ECENG GONDOK**

Oleh

Niken Nahdia Rukma

NIM 131710201082

Pembimbing

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

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Penurunan BOD Dan Karakteristik Limbah Cair Pembuatan Tempe Menggunakan Fitoremediasi Eceng Gondok” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember pada:

Hari, tanggal : Selasa, 2 Januari 2018

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. Setiyo Harri, M.S.
NIP. 195309241983031001

Dr. Retno Wimbaningrum, M.Si.
NIP. 196605171993022001

Mengesahkan
Dekan,

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

RINGKASAN

Analisis Penurunan BOD dan Karakteristik Limbah Cair Pembuatan Tempe Menggunakan Fitoremediasi Eceng Gondok; Niken Nahdia Rukma, 131710201082; 2017; 53 halaman; Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

Tempe merupakan makanan berbahan dasar kedelai yang dibuat dengan proses fermentasi. Pembuatan tempe memiliki dampak positif yaitu pemenuhan kebutuhan pangan masyarakat dengan harga yang murah, namun pada prosesnya terdapat dampak negatif yaitu adanya limbah cair yang berpotensi dalam menimbulkan pencemaran lingkungan. Pencemaran lingkungan yang terjadi berupa daya dukung alam terhadap kelangsungan hidup manusia menjadi berkurang. Proses pembuatan tempe yang menghasilkan limbah cair yaitu proses pencucian, proses perebusan, dan proses perendaman kedelai. Limbah cair yang berpotensi mencemari lingkungan dihasilkan dari proses perebusan dan perendaman kedelai. Proses penanganan limbah cair hasil perebusan dan perendaman kedelai dapat dilakukan dengan menggunakan proses fitoremediasi eceng gondok. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui penurunan BOD pada limbah pH asam dan pH netral dengan uji T dan analisis regresi, karakteristik limbah cair hasil perebusan dan perendaman kedelai dengan fitoremediasi eceng gondok, dan mengetahui nilai efisiensi penurunan terhadap parameter penelitian seperti kekeruhan, TSS, COD, dan nitrogen. Penelitian ini terdapat empat perlakuan dengan tiga kali ulangan yaitu limbah pH asli yang bersifat asam dengan tanaman (TPA), limbah pH netral dengan tanaman (TPN), limbah pH asli yang bersifat asam tanpa tanaman (KPA), dan limbah pH netral tanpa tanaman (KPN). Setiap perlakuan menggunakan limbah cair 10 liter dan densitas tanaman 300 gram. Limbah cair yang digunakan yaitu limbah cair hasil perebusan dan perendaman kedelai dengan perbandingan 1:1. Tanaman eceng gondok yang digunakan yaitu tanaman dengan panjang akar 30 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses fitoremediasi eceng gondok pada pH limbah yang bersifat asam dan pH limbah setelah penetralan (7,0) dengan perlakuan TPA, TPN, KPA, dan KPN mampu menurunkan beban pencemaran diantaranya BOD, COD, nitrogen, kekeruhan, dan TSS. Penurunan BOD pada proses fitoremediasi yang paling baik adalah perlakuan limbah pH netral dengan tanaman (TPN). Perlakuan limbah pH netral dengan tanaman (TPN) memiliki nilai efisiensi penurunan yang paling baik yaitu BOD sebesar 55,15%, COD sebesar 63,10%, nitrogen sebesar 45,45%, kekeruhan sebesar 77,13%, dan TSS sebesar 72,91%.

SUMMARY

The Analysis of BOD Degradation and Wastewater Characteristics from Tempe Processing using Hyacinth Phytoremediation; Niken Nahdia Rukma, 131710201082; 2017; 53 pages; Department of Agricultural Engineering; Faculty of Agricultural Technology; Jember University.

Tempe is soybean based on food production by fermentation process. Tempe production is has positive impact which fulfill community food needs with cheap prices but its process cause a negative impact which is environmental pollution causing by the waste water. Environmental pollution that occurs in the form of natural carrying capacity of human survival to be reduced. The process of making tempe which produce waste water is washing process, boiling process, dan soaking soybean process. The wastewater which can pollute the environment resulting from the process of boiling and soaking soybean. Tempe wastewater treatment from the boiling and soaking soybean using hyacinth phytoremediation process. The aim of this study were to know BOD degradation in acid and neutral pH on wastewater with T-test and regression analysis, characteristic of wastewater from the boiling and soaking soybean with hyacinth phytoremediation, and were to know the efficiency value of parameters such as turbidity, TSS, COD, and nitrogen. This research were consist of four treatments and three replications, these are wastewater with the acid pH using plant (TPA), wastewater with neutral pH using plant (TPN), wastewater with acid pH without plant (KPA), and wastewater with neutral pH without plant (KPN). Each treatment using 10 liters of waste water and 300 grams of a plant density. The waste water is used from boiling and soaking soybean with a ratio 1:1. The hyacinth is used a root length of 30 cm. The result showed that the hyacinth phytoremediation process on wastewater acid pH and wastewater after counteraction pH (7,0) in TPA, TPN, KPA, and KPN treatments were able to reduce amount of pollutants in wastewater such as BOD, COD, nitrogen, turbidity, and TSS. The best BOD degradation rate on phytoremediation process is wastewater neutral pH with plant (TPN). Wastewater neutral pH with plant (TPN) has the best efficiency value of BOD was 55,15%, COD was 63,10%, nitrogen was 45,45%, turbidity was 77,13%, and TSS was 72,91%.

PRAKATA

Puji Syukur ke hadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Analisis Penurunan BOD dan Karakteristik Limbah Cair Pembuatan Tempe Menggunakan Fitoremediasi Eceng Gondok”. 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. Ir. Hamid Ahmad sebagai Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
4. Dr. Dedy Wirawan Soediby, S.TP., M.Si. selaku dosen dan Komisi Bimbingan Jurusan Teknik Pertanian;
5. Seluruh dosen pengampu mata kuliah, terima kasih atas ilmu dan pengalaman yang diberikan serta bimbingan selama studi di Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember;
6. Seluruh staf dan karyawan di lingkungan Fakultas Teknologi Pertanian, terima kasih atas bantuan dalam mengurus administrasi dan lainnya;
7. Kedua orang tua saya, Ayahanda Ahmadi dan Ibunda Siti Aminah tercinta yang selalu memberikan semangat dan doa setiap waktu;
8. Guntur Kurniawan sebagai teman seperjuangan yang menemani penulis dalam suka dan duka selama proses penyusunan skripsi ini. Terimakasih atas kesabaran dan ketulusan yang diberikan;

9. Teman-teman satu tim penelitian kualitas air (Adinda, Ria, Anis, Wahyu, Feni, Aisyah, Yuwan, Miftah, Ridwan, Resa, Siti, dan Rifan). Terimakasih bantuan dan kerjasamanya;
10. Teman-temanku TEP-B dan teman seangkatan 2013 yang penuh dengan semangat dan kasih sayang, terimakasih atas nasehat serta motivasinya;
11. Sahabat-sahabat kosan Jawa VI No 35A (Meitha, April, Ratna, Anisya, Bibah, dan Astri), terima kasih atas segala bantuan dan semangat yang sudah diberikan;
12. 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 2017

Penulis

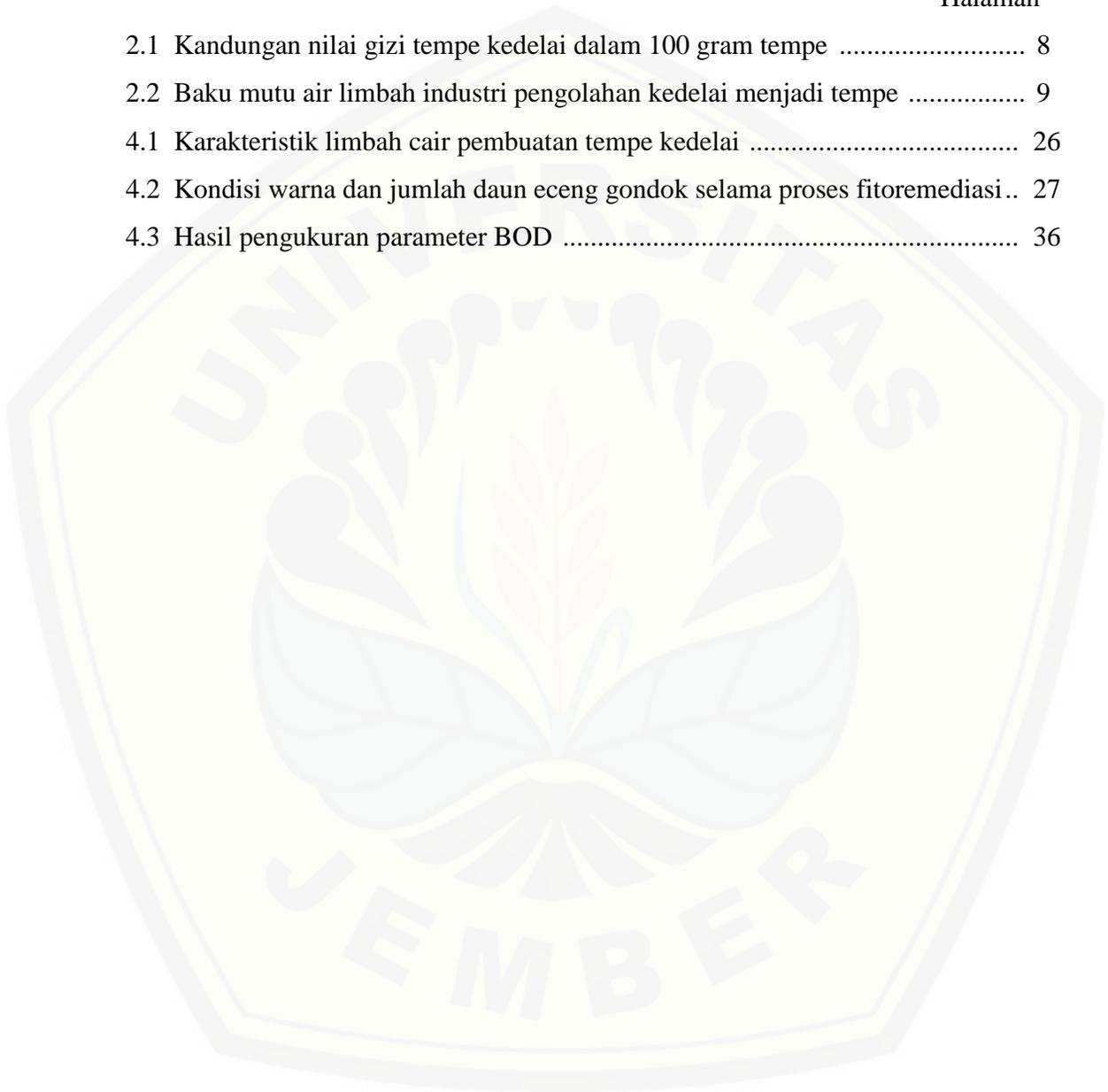
DAFTAR ISI

	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	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pembuatan Tempe Kedelai	5
2.2 Limbah Cair Pembuatan Tempe	8
2.3 Pengolahan Air Limbah	9
2.4 Eceng Gondok	12
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	14
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	14
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	14

3.2.1 Alat	14
3.2.2 Bahan	14
3.3 Diagram Alir Penelitian	15
3.4 Tahapan Penelitian	16
3.4.1 Persiapan Penelitian	16
3.4.2 Perancangan dan Pembuatan Akuarium Filtrasi dan Fitoremediasi	16
3.4.3 Penelitian Pendahuluan	17
3.4.4 Penelitian Utama	19
3.4.5 Pengukuran Parameter	19
3.4.6 Analisa Data	24
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Karakteristik Limbah Cair Pembuatan Tempe Kedelai	26
4.2 Karakteristik Tanaman Eceng Gondok	26
4.3 Parameter Kualitas Air	29
4.3.1 Pengukuran Parameter Fisika	29
4.3.2 Pengukuran Parameter Kimia	32
4.4 Penurunan BOD Limbah Cair Pembuatan Tempe	36
BAB 5. PENUTUP	40
5.1 Kesimpulan	40
5.2 Saran	40
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN	44

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Kandungan nilai gizi tempe kedelai dalam 100 gram tempe	8
2.2 Baku mutu air limbah industri pengolahan kedelai menjadi tempe	9
4.1 Karakteristik limbah cair pembuatan tempe kedelai	26
4.2 Kondisi warna dan jumlah daun eceng gondok selama proses fitoremediasi..	27
4.3 Hasil pengukuran parameter BOD	36



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Proses pembuatan tempe	5
3.1 Diagram alir penelitian	16
3.2 Akuarium proses filtrasi	17
3.3 Akuarium proses fitoremediasi	17
3.4 Mekanisme aliran proses filtrasi	18
4.1 Tanaman eceng gondok yang digunakan selama fitoremediasi dengan panjang akar 30 cm	27
4.2 Kondisi tanaman eceng gondok pada hari ke-1 dan ke-8	28
4.3 Grafik penurunan nilai rata-rata kekeruhan	29
4.4 Grafik efisiensi penurunan kekeruhan	30
4.5 Grafik penurunan nilai rata-rata TSS	31
4.6 Grafik efisiensi penurunan TSS	31
4.7 Grafik perubahan rata-rata pH	32
4.8 Grafik efisiensi penurunan rata-rata COD	33
4.9 Grafik efisiensi penurunan rata-rata N	35
4.10 Grafik perubahan rata-rata BOD	36
4.11 Penurunan BOD	38

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Karakteristik Limbah Cair Sebelum Perlakuan	44
B. Data Pengukuran Mingguan	45
C. Data Pengukuran Harian	46
D. Gambar Data Pengukuran Parameter COD dan N	47
E. Uji Normalitas Data.....	48
F. Uji T	49
G. Dokumentasi Penelitian.....	51

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tempe merupakan makanan yang berbahan dasar kedelai hasil fermentasi (Tim Redaksi AgroMedia, 2007:1). Tempe menjadi salah satu makanan favorit rakyat Indonesia karena harganya yang relatif murah. Selain harganya yang murah, unsur gizi pada kedelai yang sudah difermentasi menjadi tempe juga meningkat. Tempe mengandung vitamin B12 yang biasanya terdapat dalam daging. Tempe juga merupakan sumber protein nabati yang cukup tinggi. Kandungan protein nabati pada tempe kedelai berkisar 35% hingga 43% atau hampir sama dengan kandungan protein pada susu bubuk (Tim Redaksi AgroMedia, 2007:7). Dengan kandungan gizi yang tinggi tersebut, tempe berpotensi dalam meningkatkan kesehatan dan harganya yang relatif murah memberikan alternatif pilihan dalam pengadaan makanan bergizi yang dapat dijangkau masyarakat.

Industri pembuatan tempe menghasilkan limbah organik baik dalam bentuk padat maupun cair. Limbah cair pembuatan tempe berasal dari proses pencucian, perendaman, dan perebusan kedelai. Limbah cair yang berpotensi meningkatkan pencemaran lingkungan yaitu limbah cair hasil proses perebusan dan perendaman. Limbah cair pembuatan tempe dari proses perebusan memiliki nilai konsentrasi BOD sebesar 1.302,03 mg/l, sedangkan dari proses perendaman memiliki nilai konsentrasi BOD sebesar 31.380,87 mg/l (Wiryani, 2007). Konsentrasi BOD tersebut telah melampaui standar baku mutu air limbah yang telah ditetapkan. Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014, kadar maksimum air limbah pengolahan kedelai yaitu BOD sebesar 150 mg/l dan COD sebesar 300 mg/l. Oleh karena itu diperlukan suatu penanganan limbah cair yang mudah diterapkan dan juga ramah lingkungan, salah satunya adalah proses fitoremediasi.

Fitoremediasi adalah penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan, menstabilkan atau menghancurkan bahan pencemar baik senyawa organik

maupun anorganik (Stefhany dkk., 2013). Salah satu tanaman yang dapat digunakan pada proses fitoremediasi adalah eceng gondok. Menurut Zaman dan Sutrisno (2006), eceng gondok mampu menurunkan konsentrasi amonia dalam air limbah dengan penurunan konsentrasi hingga 98,48%. Tanaman eceng gondok memiliki kemampuan dalam mereduksi bahan pencemar yang terdapat di dalam limbah cair. Selain itu, tanaman eceng gondok juga mudah didapatkan di lingkungan karena sebagian merupakan gulma dalam perairan dan pertanian.

Syarat pertumbuhan eceng gondok yang optimum adalah air yang dangkal, ruang tumbuh luas, air yang tenang, cukup unsur hara, dan pH antara 7,0-7,5 (Haryanti dkk., 2009). Menurut Wiryani (2007), pH limbah cair pembuatan tempe pada proses perebusan dan perendaman adalah 6,0 dan 4,16. Nilai pH limbah cair pembuatan tempe tersebut cenderung asam sehingga kurang sesuai dengan kondisi pH optimum pertumbuhan tanaman eceng gondok. Oleh karena itu, kondisi pH limbah cair pembuatan tempe harus disesuaikan dengan kondisi pH yang sesuai dengan tanaman eceng gondok.

Berdasarkan kemampuan tanaman eceng gondok dalam menurunkan tingkat pencemaran limbah cair, maka perlu diketahui pengaruh penggunaan tanaman eceng gondok terhadap penurunan BOD dan karakteristik limbah cair tempe campuran hasil perebusan dan perendaman kedelai pada proses fitoremediasi dengan kondisi pH asli limbah cair dan pH limbah cair yang dinetralkan. Dengan demikian penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi tanaman eceng gondok dalam menangani limbah cair tempe campuran hasil perebusan dan perendaman kedelai pada pH asli dan pH netral limbah cair.

1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang diambil adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana karakteristik limbah cair tempe campuran hasil perebusan dan perendaman kedelai?
2. Bagaimana karakteristik tanaman eceng gondok pada proses fitoremediasi limbah cair tempe campuran hasil perebusan dan perendaman kedelai?

3. Bagaimana pengaruh tanaman eceng gondok terhadap parameter kualitas air dan efisiensinya pada proses fitoremediasi?
4. Bagaimana penurunan BOD limbah cair tempe campuran hasil perebusan dan perendaman kedelai pada proses fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok?

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini pengukuran yang dilakukan dibatasi pada pengukuran parameter harian yaitu BOD, pH, TSS, dan kekeruhan untuk mengetahui penurunan nilai parameter setiap hari selama proses fitoremediasi berlangsung. Pengukuran dilakukan setiap hari, sedangkan pengukuran parameter COD dan N pada awal dan akhir perlakuan proses fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok. Kondisi pH yang digunakan pada penelitian ini adalah pH asli dan pH netral (7,0) limbah cair pembuatan tempe.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui karakteristik limbah cair tempe campuran hasil perebusan dan perendaman kedelai.
2. Mengetahui karakteristik tanaman eceng gondok pada proses fitoremediasi limbah cair tempe campuran hasil perebusan dan perendaman kedelai.
3. Mengetahui pengaruh tanaman eceng gondok terhadap parameter kualitas air pada proses fitoremediasi.
4. Mengetahui penurunan BOD limbah cair tempe campuran hasil perebusan dan perendaman kedelai pada proses fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Sebagai salah satu alternatif dalam penanganan limbah cair tempe yang mudah diterapkan.

2. Mengurangi beban pencemaran lingkungan akibat limbah cair tempe yang setiap hari dihasilkan.
3. Memberikan informasi kepada industri pembuatan tempe dalam upaya penanganan limbah cair tempe dengan menggunakan metode yang ramah lingkungan.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembuatan Tempe Kedelai

Tempe merupakan makanan yang berbahan dasar kedelai hasil fermentasi (Tim Redaksi AgroMedia, 2007:1). Proses pembuatan tempe kedelai terbagi menjadi beberapa proses. Berikut proses pembuatan tempe kedelai disajikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Proses pembuatan tempe (Sumber: Tim Redaksi AgroMedia:31)

Berdasarkan Gambar 2.1 di atas proses pembuatan tempe kedelai dimulai dari proses pencucian hingga fermentasi kedelai. Berikut penjelasan tiap-tiap proses pembuatan tempe kedelai (Tim Redaksi AgroMedia:31).

a. Pencucian pertama

Pencucian kedelai dilakukan untuk membersihkan kedelai dari kotoran dan debu yang menempel, memisahkan kulit, sekaligus penyortiran biji kedelai. Kedelai yang rusak atau tidak ada isinya biasanya akan mengambang. Kedelai tersebut tidak digunakan dan akan dibuang (Tim Redaksi AgroMedia:31).

b. Perebusan pertama

Perebusan pertama dilakukan untuk membuat kedelai matang. Perebusan biasanya dilakukan menggunakan panci atau drum besar. Perebusan sebaiknya menggunakan air sumur bukan air PAM yang mengandung kaporit karena kaporit dapat menghambat proses fermentasi oleh kapang. Biasanya kedelai direbus selama ± 4 jam (Tim Redaksi AgroMedia:32).

c. Penggilingan

Penggilingan bertujuan untuk memecah biji kedelai dan membuat kulit kedelai terkelupas dari bijinya. Penggilingan bisa dilakukan dengan mesin penggiling maupun dengan cara manual yaitu dengan cara diinjak menggunakan kaki. Penggilingan dengan menggunakan mesin biasanya memakan waktu 1 hingga 1,5 jam per 100 kg kedelai (Tim Redaksi AgroMedia:32).

d. Pencucian kedua

Pencucian kedua biasanya dilakukan bersamaan dengan penggilingan. Hal tersebut dilakukan untuk memudahkan kedelai masuk ke dalam mesin penggiling sekaligus memisahkan kulit kedelai. Kulit kedelai yang sudah terpisah dari biji akan mengambang di permukaan air untuk segera dibuang. Selain itu pencucian juga bertujuan untuk menghilangkan bau khas kedelai yang biasanya tidak disukai oleh konsumen (Tim Redaksi AgroMedia:33).

e. Perendaman

Perendaman kedelai ini akan menyebabkan kedelai mengembang. Air rendaman yang digunakan sebaiknya air sumur dan bukan air PAM yang mengandung kaporit. Setelah semalaman dilakukan perendaman kedelai, air rendaman kemudian dibuang. Air bekas rendaman kedelai ini memiliki tingkat kekentalan yang tinggi dibandingkan dengan air yang sudah digunakan saat proses pencucian dan perebusan kedelai (Tim Redaksi AgroMedia:33).

f. Perebusan kedua

Proses perebusan kedelai yang kedua bertujuan untuk menghilangkan bau dan bakteri lain yang bisa mengganggu proses fermentasi. Bau dan bakteri ini biasanya timbul ketika perendaman. Proses perebusan dilakukan sampai air mendidih, kemudian kedelai dibiarkan selama ± 15 menit hingga kuman dan bakteri mati oleh panas (Tim Redaksi AgroMedia:33).

g. Penirisan

Penirisan dilakukan menggunakan serokan. Penirisan ini bertujuan untuk mengambil kacang kedelai tanpa air rebusannya (Tim Redaksi AgroMedia:34).

h. Pendinginan

Kedelai yang sudah ditiriskan akan dihamparkan tipis-tipis dalam tampah. Hal tersebut bertujuan untuk membuat kedelai cepat dingin karena saat peragian kedelai saat masih panas akan membuat kapang mati sehingga tempe tidak akan jadi (Tim Redaksi AgroMedia:34).

i. Peragian

Peragian ini bertujuan untuk membuat kedelai menjadi tempe. Ragi tempe yang bertugas melakukan fermentasi pada kedelai. Peragian dilakukan setelah kedelai kering dan masih dalam keadaan hangat. Kedelai yang masih dalam keadaan terlalu panas akan mematikan kapang, sedangkan kedelai yang terlalu dingin akan menghambat pertumbuhan kapang. Ragi yang dibutuhkan dalam pembuatan tempe adalah sebanyak 2% dari kedelai yang dimasak. Teknik pemberian ragi dilakukan dengan cara menaburkan ragi secara merata di atas kedelai, kemudian diaduk atau dibolak-balik hingga ragi tercampur merata (Tim Redaksi AgroMedia:35).

j. Pencetakan

Pencetakan biasanya menggunakan plastik, daun pisang atau daun jati. Pencetakan kedelai dengan plastik dilakukan dengan mengisikan kedelai ke dalam kantong plastik. Kedelai diisikan ke dalam plastik hingga terisi setengahnya, kemudian plastik direbahkan dan kedelai diratakan sampai plastik membentuk lempengan. Pencetakan kedelai menggunakan daun pisang atau daun jati dilakukan dengan cara meletakkan kedelai yang sudah beragi ke dalam daun

kemudian dibungkus. Hal yang perlu diperhatikan dalam pencetakan adalah plastik atau daun yang digunakan sebaiknya dilubangi terlebih dahulu agar kapang mendapatkan udara untuk melakukan fermentasi dan tempe berwarna putih (Tim Redaksi AgroMedia:36).

k. Fermentasi

Fermentasi biasanya dilakukan dengan cara pemeraman. Pemeraman kedelai dilakukan selama 24 jam. Pemeraman kedelai dilakukan dalam suhu yang hangat supaya kapang atau ragi tempe bekerja dengan maksimal. Perajin tempe biasanya melakukan pemeraman kedelai menggunakan rak-rak kayu dan ditutupi dengan karung goni. Setelah 3 sampai 5 jam dilakukan pemeraman, apabila bungkusan kedelai dipegang terasa hangat tandanya proses fermentasi sedang berlangsung, namun apabila terasa dingin tandanya proses fermentasi yang dilakukan gagal. Setelah proses fermentasi berlangsung 24 jam maka kedelai akan menjadi tempe dan siap dijual (Tim Redaksi AgroMedia:38).

Tempe juga mengandung unsur gizi yang cukup tinggi. Berikut kandungan nilai gizi tempe kedelai disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kandungan nilai gizi tempe kedelai dalam 100 gram tempe

Kandungan	Nilai gizi
Vitamin B1 (mg)	1,5-6,3
Besi (mg)	9,9
Tembaga (mg)	2,87
Seng (gram)	8,05

Sumber: Tim Redaksi AgroMedia (2007:10)

2.2 Limbah Cair Pembuatan Tempe

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014, air limbah adalah sisa dari suatu usaha atau kegiatan yang berwujud cair. Air limbah memiliki baku mutu yang telah ditetapkan oleh pemerintah agar tidak mencemari lingkungan. Baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam media air dari suatu usaha atau kegiatan. Berikut baku mutu air limbah cair pengolahan kedelai menjadi tempe disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Baku mutu air limbah industri pengolahan kedelai menjadi tempe

Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)	Beban (kg/ton)
COD (mg/l)	300	3
BOD (mg/l)	150	1,5
TSS (mg/l)	100	1
pH		6-9
Kuantitas air limbah maksimum (m ³ /ton)		10

Sumber : Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014

Pengolahan kedelai yang besar berdampak pada limbah cair yang semakin banyak pula. Industri pembuatan tempe kedelai menghasilkan limbah cair yang berasal dari proses pencucian, perebusan, dan perendaman. Kebutuhan air pada proses pencucian, perebusan dan perendaman kedelai sekitar 6 liter per kilogram kedelai yang diolah (Lutfi, 2017).

Limbah cair yang berpotensi besar meningkatkan pencemaran adalah limbah cair dari proses perebusan dan perendaman kedelai. Limbah cair tempe dari proses perebusan memiliki nilai konsentrasi BOD sebesar 1.302,03 mg/l dan COD sebesar 4.188,27 mg/l, sedangkan dari proses perendaman nilai konsentrasi BOD sebesar 31.380,87 mg/l dan COD sebesar 35.398,87 mg/l (Wiryani, 2007). Dampak lingkungan yang terjadi dengan meningkatnya BOD dan COD adalah pengurangan oksigen di perairan. Pengurangan oksigen terlarut menyebabkan permintaan oksigen untuk menguraikan bahan organik lebih banyak dari yang tersedia sehingga menyebabkan kondisi anaerobik. Kondisi ini dapat menyebabkan bau, terganggunya kehidupan makhluk yang berada di air, dan masalah kesehatan jika air meresap ke sumber air minum (Sariadi, 2011).

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. Terdapat 3 klasifikasi proses pengolahan air limbah (Kristanto, 2004:191-200).

a. Proses fisika

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

penanganan limbah secara fisik dengan proses penyaringan (filtrasi). Pada proses penyaringan bertujuan untuk memisahkan senyawa kimia padat dan cair dengan melewati media porous menggunakan prinsip gravitasi. Media penyaringan yang biasa digunakan adalah pasir silika dan batu kali. Pasir silika adalah batu alam yang baik untuk memfilter lumpur dan kotoran. Batu kali berfungsi sebagai pengendap dan penyaring material yang besar. Pada proses fisika terdapat beberapa parameter fisik dalam kualitas air yaitu sebagai berikut.

1) Kekeruhan

Kekeruhan digambarkan sebagai sifat optik air yang ditentukan berdasarkan banyaknya cahaya yang diserap dan dipancarkan oleh bahan-bahan yang terdapat dalam air. Kekeruhan disebabkan oleh adanya bahan organik dan anorganik yang tersuspensi dan terlarut, plankton dan mikroorganisme lain. Alat yang digunakan dalam mengukur kekeruhan adalah turbidimeter (Effendi, 2003:60).

2) *Total Suspended Solid* (TSS)

Total Suspended Solid (TSS) merupakan padatan yang menyebabkan kekeruhan air, tidak terlarut, dan tidak dapat langsung mengendap, terdiri atas partikel-partikel yang ukuran maupun beratnya lebih kecil dari sedimen. TSS dapat dinyatakan dengan satuan mg/l (Kristanto, 2004:82).

b. Proses kimia

Proses kimia merupakan proses pengolahan air limbah dengan menggunakan penambahan bahan kimia ke dalam air limbah untuk mengurangi konsentrasi zat pencemar. Pada proses kimia terdapat beberapa parameter kimia dalam kualitas air yaitu sebagai berikut.

1) *Biological Oxygen Demand* (BOD)

Biological Oxygen Demand (BOD) atau Kebutuhan Oksigen Biologis (KOB) adalah suatu analisa empiris yang mencoba mendekati secara global proses-proses mikrobiologis yang benar-benar terjadi di dalam air. Angka BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan hampir semua zat organik yang terlarut dan sebagian zat-zat tersuspensi dalam air (Alaerts dan Santika, 1987:159).

2) *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) atau Kebutuhan Oksigen Kimia (KOK) adalah jumlah yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam sampel air, dimana pengoksidasi $K_2Cr_2O_7$ digunakan sebagai sumber oksigen (Alaerts dan Santika, 1987:149).

3) pH

pH merupakan penggambaran dari konsentrasi ion hidrogen yang terdapat di dalam air. pH yang baik bagi air minum dan air limbah adalah netral (7). Apabila konsentrasi air limbah tidak netral maka akan menyulitkan proses biologis sehingga memungkinkan kehidupan biologis di dalam air tidak berjalan dengan baik (Sugiharto, 1987:31).

4) Nitrogen

Menurut Alaerts dan Santika (1987:184), unsur nitrogen dalam suatu limbah perlu diperhatikan karena unsur nitrogen dapat meningkatkan pertumbuhan alga dan tumbuhan. Kondisi tersebut mengakibatkan oksigen terlarut di dalam air berkurang sehingga dapat mengganggu kehidupan spesies makhluk hidup lain di dalam air. Nitrogen dalam air akan cepat berubah menjadi nitrogen organik atau amoniak nitrogen.

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 sederhana sehingga mudah dalam pengambilannya. Salah satu proses biologi pada penanganan limbah yaitu proses fitoremediasi. Menurut Hartanti dkk. (2013), 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 penanganan limbah menggunakan tanaman tertentu yang bekerja sama dengan mikroorganisme dalam media yang dapat mengubah zat berbahaya menjadi kurang atau tidak berbahaya bagi lingkungan. Sifat hipertoleran terhadap logam

berat mengindikasikan sifat hiperakumulator suatu tumbuhan. Tanaman *Typha angustifolia*, eceng gondok, *Nelubium nelumbo*, kangkung air, dan *Hydrilla verticillata* dapat digunakan sebagai fitoremediator dalam mereduksi merkuri dengan persentase penurunan yaitu 84,18%; 81,19%; 80,78%; 83,84%; dan 83,96%.

Proses fitoremediasi secara umum dibedakan berdasarkan mekanisme fungsi dan struktur tumbuhan. Menurut Rossiana dkk. (2007:11), terdapat beberapa klasifikasi proses dalam fitoremediasi yaitu sebagai berikut.

1. Fitoekstraksi/fitoakumulasi (*phytoextraction/phytoaccumulation*)

Akar tumbuhan memindahkan polutan yang bersifat organik maupun anorganik dengan cara mengakumulasi ke bagian tumbuhan yang lain.

2. Fitodegradasi (*phytodegradation*)

Organ tumbuhan mendegradasi polutan yang diserap oleh tumbuhan melalui proses metabolisme atau secara enzimatis akan diubah dari bentuk yang berbahaya menjadi tidak berbahaya.

3. Rhizofiltrasi (*rhizofiltration*)

Proses penyerapan polutan oleh akar tumbuhan, terutama logam berat dari air dan aliran limbah. Akar tumbuhan akan melakukan adsorpsi larutan polutan di sekitar akar ke dalam akar.

4. Fitostabilisasi (*phytostabilization*)

Proses pemanfaatan tumbuhan untuk mengurangi polutan di lingkungan dengan cara mengakumulasi, mengadsorpsi pada permukaan akar dan mengendapkan polutan di akar.

5. Fitovolatilisasi

Proses penguapan polutan yang telah diserap oleh tumbuhan ke atmosfer. Polutan akan mengalami transformasi sebelum dilepas ke atmosfer.

2.4 Eceng Gondok

Eceng gondok memiliki sifat yang baik dalam menyerap kadar polutan di dalam limbah cair. Penyerapan dan akumulasi zat polutan oleh tumbuhan dapat terjadi melalui biosorpsi oleh akar, translokasi dari akar ke bagian tumbuhan lain,

dan lokalisasi zat tersebut pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut (Suhendrayatna dkk., 2009). Syarat pertumbuhan eceng gondok yang optimum adalah air yang dangkal, ruang tumbuh luas, air yang tenang, cukup unsur hara, dan pH antara 7,0-7,5.

Menurut Zaman & Sutrisno (2006), tumbuhan eceng gondok mampu menurunkan konsentrasi amonia dalam air limbah rumah sakit secara signifikan. Fitoremediasi pada limbah jamu menggunakan eceng gondok juga lebih efektif dibandingkan menggunakan teratai air dalam mengurangi kontaminan (Hadiyanto dan Christwardana, 2012). Tumbuhan eceng gondok juga dapat digunakan dalam fitoremediasi fosfat pada limbah cair industri kecil pencucian pakaian (*laundry*) (Stefhany dkk., 2013). Pada fitoremediasi limbah cair kopi, eceng gondok juga dapat menurunkan kandungan COD, BOD, TSS, dan kekeruhan serta mengubah nilai pH dari asam menjadi netral. Eceng gondok dengan panjang akar 30 cm memiliki nilai efisiensi terbaik dibandingkan dengan panjang akar 20 cm dan 10 cm (Safrizal, 2016).

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Pengambilan data dilaksanakan pada bulan Mei 2017 sampai bulan Juni 2017 di Laboratorium Kualitas Air Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan (TPKL) Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian dan Laboratorium Kesuburan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Jember.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- | | |
|---------------------------------------|-----------------------------|
| a. Akuarium kaca | l. Oven |
| b. Jerigen 25 liter | m. Corong |
| c. Buret | n. Penggaris |
| d. Cawan aluminium | o. Timbangan digital |
| e. Pipet suntik | p. Desikator |
| f. Pipet volumetrik 50 ml | q. Neraca analitik Ohaus |
| g. Kertas saring berpori 0,45 μ m | r. pH meter Trans |
| h. Beaker glass 50 ml | s. TDS meter Hanna |
| i. Erlenmeyer 1000 ml | t. Turbidimeter TN-100 |
| j. Labu ukur 100 ml | u. Reaktor COD HI 839800 |
| k. Botol Winkler 150 ml dan
300 ml | v. Spektofotometer HI 83099 |

3.2.2 Bahan

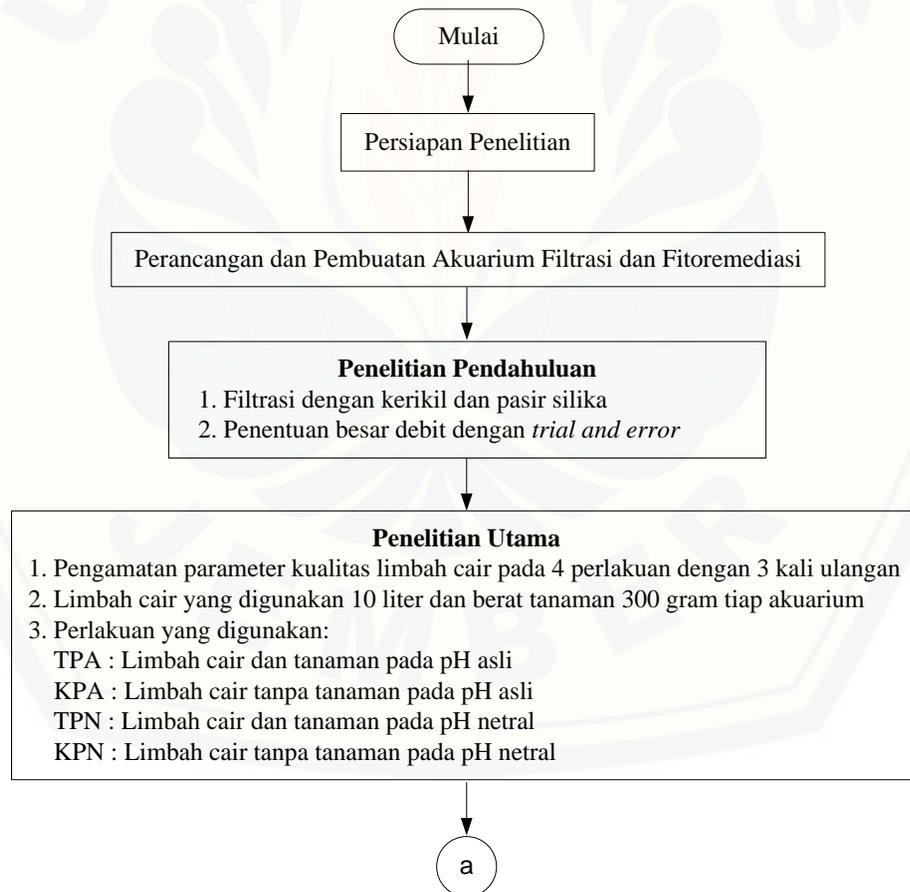
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

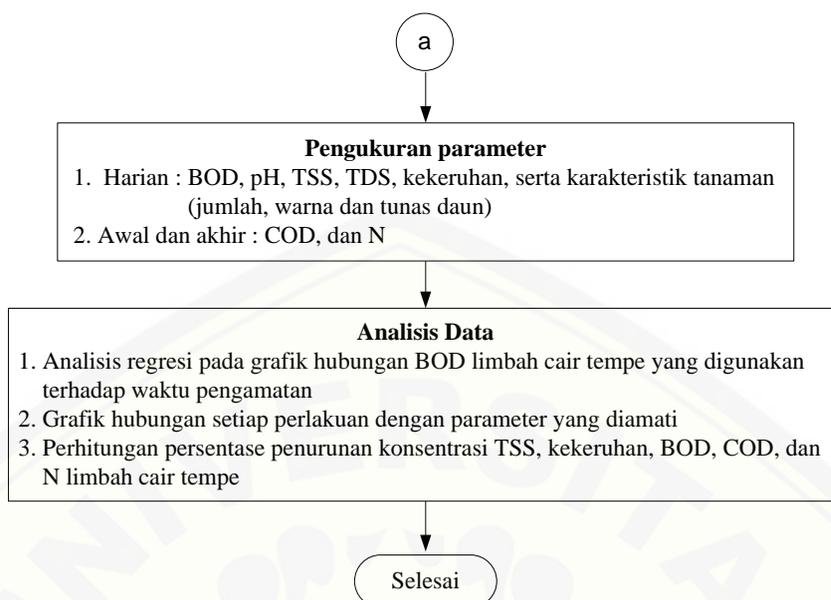
- Limbah cair pembuatan tempe dari proses perebusan dan perendaman kedelai.
- Tanaman eceng gondok.
- Kerikil dengan ukuran diameter butir 1-1,5 cm.

- d. Pasir silika dengan ukuran diameter butir 1-2,5 mm.
- e. Reagent COD HR (*High Range*)
- f. Aquades
- g. Indikator kanji
- h. Kapur Tohor 50%
- i. Larutan $MnSO_4$ 36,4%
- j. Larutan H_2SO_4 pekat 98%
- k. Larutan Tiosulfat 0,025 N
- l. Larutan Alkali Iodida Azida 66%

3.3 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dilakukan seperti pada Gambar 3.1 berikut.





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.4 Tahapan Penelitian

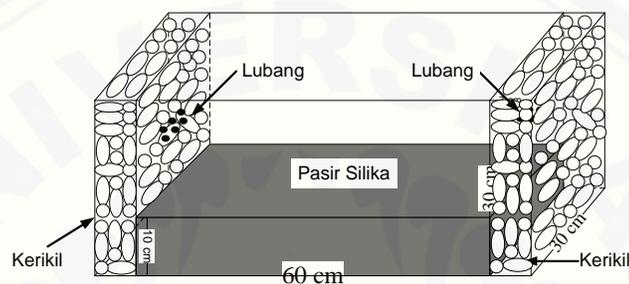
3.4.1 Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian yang dilakukan adalah studi literatur serta persiapan tempat, alat, dan bahan penelitian. Studi literatur dilakukan dengan mencari referensi atau materi terkait dengan penelitian. Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember. Pengambilan tanaman eceng gondok dari rawa-rawa di Desa Gumukmas Kecamatan Gumukmas Kabupaten Jember dan pengambilan limbah cair hasil perebusan dan perendaman kedelai dari *home industry* tempe di Jalan Wahid Hasyim IX, Kelurahan Kepatihan, Kecamatan Kaliwates, Kabupaten Jember.

3.4.2 Perancangan dan Pembuatan Akuarium Filtrasi dan Fitoremediasi

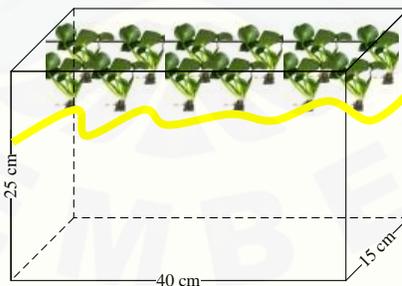
Penanganan limbah cair pembuatan tempe secara fisik dengan cara filtrasi bertujuan untuk mengurangi sifat fisik pada limbah cair seperti kekeruhan dan bau pada limbah cair. Penanganan limbah cair secara fisik dengan filtrasi dilakukan dengan menggunakan media kerikil dan pasir silika yang dimasukkan dalam akuarium filtrasi. Akuarium filtrasi memiliki dimensi panjang 74 cm, lebar

30 cm, dan tinggi 30 cm. Akuarium filtrasi memiliki tiga zona yaitu zona *inlet*, zona pengolahan, dan zona *outlet*. Pada zona *inlet* dan zona *outlet* diisi kerikil dengan jumlah yang sama dan diameter kerikil yaitu 1-1,5 cm pada akuarium dengan lebar 7 cm dan ketinggian 30 cm. Pada zona pengolahan diisi dengan media pasir silika dengan diameter 1-2,5 mm dan ketinggian pasir 10 cm. Berdasarkan penelitian Masfiah (2016) perancangan akuarium proses filtrasi disajikan pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2 Akuarium proses filtrasi

Proses fitoremediasi dilakukan setelah proses filtrasi pada limbah cair. Proses fitoremediasi bertujuan untuk mengurangi kadar zat pencemar yang terkandung dalam limbah cair dari proses filtrasi menggunakan tanaman. Akuarium fitoremediasi yang digunakan berukuran panjang 40 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 25 cm. Perancangan akuarium proses fitoremediasi disajikan pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Akuarium proses fitoremediasi

3.4.3 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan ini bertujuan untuk mengurangi kadar zat organik pada limbah cair perebusan dan perendaman kedelai yang memiliki karakteristik limbah yang pekat dan bau dengan penanganan fisik. Mekanisme aliran proses penanganan fisik disajikan pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 Mekanisme aliran proses filtrasi

Keterangan:

1. tempat penampung limbah cair;
2. kran output limbah cair;
3. zona *inlet*;
4. zona pengolahan;
5. zona *outlet*;
6. kran output limbah setelah pengolahan;
7. tempat penampung limbah setelah pengolahan.

Adapun tahapan mekanisme proses fisik pada penelitian pendahuluan adalah sebagai berikut.

1. Limbah cair ditampung untuk dialirkan menuju akuarium filtrasi melalui kran. Kran akan mengatur volume limbah yang dikeluarkan sehingga akan diketahui nilai debit yang digunakan. Penentuan debit dilakukan dengan *trial and error*. Kategori debit paling kecil yang digunakan yaitu 8,5 ml/detik dan kategori sedang yaitu 13,8 ml/detik. Debit yang sesuai dalam mengalirkan limbah cair tanpa adanya penyumbatan yaitu 13,8 ml/detik. Debit tersebut yang digunakan dalam proses filtrasi.
2. Zona *inlet* (masukan) merupakan bagian yang berisi kerikil. Kerikil berfungsi sebagai pengendap dan penyaring kotoran-kotoran yang terkandung pada air limbah. Limbah akan ditampung pada zona *inlet* dan mengendap.

3. Zona pengolahan merupakan bagian yang berisi pasir silika. Pasir silika berfungsi untuk mengurangi sifat fisik air seperti kekeruhan dan bau.
4. Zona *outlet* (keluaran) berisi kerikil yang berfungsi sebagai penyaring kotoran-kotoran sebelum limbah cair keluar dari akuarium fitoremediasi.

3.4.4 Penelitian Utama

Penelitian Utama ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan tanaman eceng gondok terhadap penurunan BOD dan karakteristik limbah cair tempe hasil perebusan dan perendaman kedelai pada proses fitoremediasi. Pada penelitian utama ini terdapat perlakuan dan kontrol sebagai berikut.

1. TPA : Akuarium berisi limbah cair dan tanaman dengan pH asli.
2. TPN : Akuarium berisi limbah cair dan tanaman dengan pH netral.
3. KPA : Akuarium berisi limbah cair tanpa tanaman sebagai kontrol dengan pH asli.
4. KPN : Akuarium berisi limbah cair tanpa tanaman sebagai kontrol dengan pH netral.

Pada setiap perlakuan dan kontrol terdapat 3 kali pengulangan sehingga total akuarium yang digunakan adalah 12 buah. Limbah cair tempe hasil perebusan dan perendaman kedelai yang digunakan pada masing-masing akuarium yaitu 10 liter dengan perbandingan 1:1. Tanaman eceng gondok yang dimasukkan ke dalam akuarium perlakuan TPA dan TPN yaitu seberat 300 gram dengan panjang akar 30 cm. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Manasika (2015), tanaman eceng gondok dengan densitas 300 gram merupakan perlakuan terbaik dengan efisiensi sebesar 69,07% dibandingkan perlakuan yang lainnya. Tanaman eceng gondok dengan panjang akar 30 cm memiliki *overall* nilai efisiensi terbaik dibandingkan dengan panjang akar 20 cm dan 10 cm (Safrizal, 2016).

3.4.5 Pengukuran Parameter

Pada penelitian ini digunakan beberapa parameter pengukuran kualitas limbah cair selama proses fitoremediasi. Pengukuran parameter-parameter kualitas air untuk parameter COD dan N dilakukan pada awal dan akhir perlakuan

proses fitoremediasi untuk mengetahui karakteristik awal dan akhir limbah cair. Sedangkan pengukuran parameter pH, TSS, kekeruhan, dan BOD dilakukan setiap hari selama proses fitoremediasi. Beberapa parameter yang digunakan adalah sebagai berikut.

a. pH

Pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan alat pH meter. Berikut langkah-langkah pengukuran pH menggunakan pH meter Trans.

- 1) Membuka tutup pH meter dan menyalakan pH meter dengan menekan tombol *on*.
- 2) Memasukkan pH meter ke dalam sampel.
- 3) Menunggu hingga nilai yang tertera pada *display* konstan.
- 4) Mematikan pH meter dengan menekan tombol *off*.
- 5) Mencuci sensor menggunakan aquades, kemudian bersihkan air menggunakan tisu kering.
- 6) Menutup pH meter dan menyimpannya dalam kotak.

b. Kekeruhan (*Turbidity*)

Pengukuran kekeruhan dilakukan dengan menggunakan alat turbidimeter dengan satuan NTU. Berikut langkah-langkah pengukuran kekeruhan.

- 1) Menyalakan turbidimeter dengan menekan tombol *on*.
- 2) Memasukkan sampel pada botol sampel.
- 3) Memasukkan botol sampel pada cuvet, kemudian menutup cuvet.
- 4) Membaca nilai kekeruhan dengan menekan tombol *read* hingga nilai yang tertera konstan.
- 5) Mematikan turbidimeter dengan menekan tombol *off*.

c. *Total Suspended Solid* (TSS)

Total Suspended Solid (TSS) dinyatakan dengan satuan mg/l. Menurut Alaerts dan Santika (1987), prosedur kerja pengukuran TSS adalah sebagai berikut.

- 1) Memanaskan kertas saring dalam oven pada suhu 105 °C selama 1 jam.
- 2) Mendinginkan kertas saring dalam desikator selama 15 menit, kemudian ditimbang.

- 3) Mengulangi prosedur 1) dan 2) untuk mendapatkan berat yang konstan atau kehilangan berat sesudah pemanasan ulang kurang dari 0,5 mg.
- 4) Menyaring limbah cair pembuatan tempe sebanyak 10 ml menggunakan kertas saring yang sudah dipanaskan.
- 5) Memasukkan kertas saring yang sudah digunakan ke dalam oven untuk dipanaskan kembali pada suhu 105 °C selama 1 jam.
- 6) Mendinginkan kertas saring dalam desikator selama 15 menit kemudian ditimbang.
- 7) Mengulangi prosedur 5) dan 6) untuk mendapatkan berat yang konstan atau kehilangan berat sesudah pemanasan ulang kurang dari 0,5 mg.
- 8) Menghitung TSS menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$TSS = \frac{(a-b) \times 1000}{c} \dots\dots\dots(3.1)$$

Keterangan:

TSS : Total padatan tersuspensi (mg/l)

a : Berat kertas saring + residu (mg)

b : Berat kertas saring (mg)

c : Volume sampel air (ml)

d. *Biological Oxygen Demand* (BOD)

Menurut Alaerts dan Santika (1987), prosedur kerja pengukuran BOD adalah sebagai berikut.

- 1) Memasukkan sampel limbah cair ke dalam botol Winkler 300 ml.
- 2) Memasukkan aquades ke dalam botol Winkler tanpa udara hingga penuh.
- 3) Menambahkan 2 ml larutan MnSO₄, kemudian mendinginkan selama beberapa menit untuk menghomogenkan.
- 4) Menambahkan 2 ml alkali iodida-azida, tutup botol Winkler dengan hati-hati agar tidak ada udara yang terperangkap.
- 5) Mengocok botol hingga gumpalan berwarna coklat terbentuk, kemudian mengendapkannya selama ±10 menit.
- 6) Mengeluarkan larutan yang jernih menggunakan pipet volumetrik sebanyak ±100 ml ke dalam erlenmeyer.

- 7) Menambahkan 2 ml H₂SO₄ pekat pada sisa larutan yang mengendap dalam botol Winkler, kemudian tutup kembali botol Winkler.
- 8) Menggoyang-goyangkan botol hingga endapan terlarut, kemudian masukkan seluruh isi botol Winkler ke dalam erlenmeyer.
- 9) Menitrasi dengan larutan Na₂S₂O₃ 0,025 N hingga berwarna coklat muda, kemudian catat volume titrasi.
- 10) Menambahkan indikator kanji 1-2 ml (larutan akan berwarna biru).
- 11) Menitrasi kembali dengan larutan Na₂S₂O₃ 0,025 N hingga berwarna biru menjadi bening untuk pertama kali, kemudian catat volume titrasi.
- 12) Melakukan seluruh prosedur pada hari ke-0 dan ke-5.
- 13) Menghitung DO₀ dan DO₅ menggunakan persamaan berikut:

$$DO = \frac{a \times N \times 8000}{v-4} \dots\dots\dots(3.2)$$

Keterangan:

- DO : Oksigen terlarut (mg O₂/l)
 a : Volume titran Na₂S₂O₃ (ml)
 N : Normalitas Na₂S₂O₃ (ek/l)
 V : Volume botol Winkler (ml)

- 14) Menghitung BOD₅ dengan persamaan berikut:

$$BOD_5 = \frac{(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)(1 - P)}{P} \dots\dots\dots(3.3)$$

Keterangan:

- BOD₅ : Oksigen terlarut (mg O₂/l)
 X₀ : DO sampel pada saat t = 0 hari (mg O₂/l)
 X₅ : DO sampel pada saat t = 5 hari (mg O₂/l)
 B₀ : DO blanko pada saat t = 0 hari (mg O₂/l)
 B₅ : DO blanko pada saat t = 5 hari (mg O₂/l)
 P : Derajat pengenceran

e. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Pengukuran COD dapat menggunakan alat spektrofotometer. Prosedur pengukuran COD berdasarkan SNI 06-6989.2-2004 yaitu sebagai berikut.

- 1) Membuat blanko dengan cara menambahkan 2 ml aquades ke dalam tabung reagen COD *High Range* (HR) kemudian menutup rapat dan mengocoknya.
- 2) Memasukkan 2 ml sampel limbah cair ke dalam tabung reagen COD *High Range* (HR) kemudian menutup rapat dan mengocoknya.
- 3) Memanaskan tabung blanko dan sampel tersebut selama 2 jam dengan menggunakan COD reaktor pada suhu 150°C.
- 4) Mendinginkan tabung blanko dan sampel hingga mencapai suhu ruangan.
- 5) Memasukkan tabung blanko dan sampel secara bergantian ke dalam cuvet spektrofotometer untuk melakukan pembacaan nilai COD.

f. Nitrogen

Analisa unsur nitrogen digunakan untuk mengetahui kandungan unsur nitrogen di dalam limbah cair pembuatan tempe. Pengukuran unsur nitrogen dilakukan pada awal dan akhir perlakuan. Pengukuran unsur nitrogen dilakukan di Laboratorium Tanah Fakultas Pertanian Universitas Jember.

Menurut (Alaerts dan Santika, 1987), metode yang digunakan dalam pengukuran N total (N-Kjeldahl) adalah sebagai berikut.

- a) Tahap pertama adalah destruksi sampel. Sampel halus 1,0 g dimasukkan ke dalam labu kjedahl. Ditambahkan 1 g campuran selen dan 10 ml H₂SO₄.
- b) Destruksi selesai bila keluar uap putih dan didapat ekstrak jernih (sekitar 4 jam), kemudian labu diangkat dan didinginkan.
- c) Ekstrak diencer-kan dengan air hingga 50 ml. Dikocok sampai homogen dan dibiarkan semalam agar mengendap. Ekstrak jernih digunakan untuk pengukuran N. Tahap selanjutnya adalah pengukuran N.
- d) Ekstrak sebanyak 10 ml dimasukkan ke dalam labu didih. Ditambahkan sedikit serbuk batu didih dan aquades hingga setengah volume labu.
- e) Disiapkan penampung NH₃ yang dibebaskan yaitu Erlenmeyer yang berisi 10 ml asam borat 1% ditambah dua tetes indikator metil red (berwarna merah) dihubungkan dengan alat destilasi.
- f) Ditambahkan 10 ml NaOH 40% ke dalam labu didih yang berisi contoh dan di-tutup secepatnya. Didestilasi hingga volume penampung mencapai 50-75

ml (berwarna hijau). Destilat dititrasi dengan HCl 0,05 N hingga berwarna merah muda. Dicatat volume titar sampel (V_c) dan blanko (V_b) kemudian dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Kadar N-Total (\%)} = (V_c - V_b) \times Mr \times 100 \text{ ml/mg sampel} \times f_k \dots\dots\dots(3.4)$$

Keterangan:

$V_{c,b}$ = ml titar sampel dan blanko

N = normalitas larutan baku H_2SO_4

14 = bobot setara N (Mr)

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

3.4.6 Analisa Data

Data diolah dengan menggunakan program *Microsoft Excel* dan akan ditampilkan dalam bentuk grafik yang menunjukkan hubungan antara waktu dan data yang diamati. Data yang dianalisis pada penelitian ini meliputi data pH, kekeruhan, TSS, BOD, COD, dan N. Analisa data yang dilakukan adalah sebagai berikut.

a. Analisis nilai efisiensi

Analisis nilai efisiensi dilakukan untuk mengetahui efisiensi penurunan konsentrasi kandungan limbah cair dengan menggunakan perhitungan efisiensi. Parameter yang dihitung nilai efisiensinya yaitu TSS, kekeruhan, BOD, COD, dan N. Efisiensi parameter TSS, kekeruhan, BOD, COD, dan N dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Eff (\%)} = \frac{\text{Nilai awal} - \text{Nilai akhir}}{\text{Nilai awal}} \times 100\% \dots\dots\dots(3.5)$$

Keterangan :

Eff (%) = Efisiensi

Nilai awal = Nilai parameter sebelum perlakuan

Nilai akhir = Nilai parameter setelah perlakuan (Muljadi, 2009)

b. Analisis penurunan BOD

Pada penelitian ini penurunan BOD ditampilkan dalam bentuk grafik antara penurunan BOD terhadap lama waktu proses fitoremediasi. Grafik akan dianalisis menggunakan regresi linier sederhana yang digunakan untuk mengetahui

penurunan BOD limbah cair tempe terhadap waktu penelitian pada pH asli dan pH netral limbah cair. Analisis regresi linier sederhana akan disajikan dalam bentuk persamaan pada grafik. Persamaan tersebut akan menunjukkan hubungan sebab dan akibat antara penurunan BOD dengan waktu pengamatan. Analisis regresi linier sederhana dapat menghasilkan persamaan sebagai berikut.

$$y = ax + b \dots \dots \dots (3.6)$$

Keterangan :

y = Variabel dependen / variabel terikat

x = Variabel independen / variabel bebas

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

b = Konstanta (Dajan, 2000).

Pada penelitian ini juga dilakukan analisis perbedaan pada tiap perlakuan yang digunakan pada proses fitoremediasi menggunakan uji statistik. Uji statistik yang digunakan adalah uji T. Uji T dilakukan menggunakan aplikasi SPSS 16.0 dan ditampilkan dalam bentuk tabel. Perbandingan perlakuan yang akan digunakan yaitu antara perlakuan TPA dengan KPA, perlakuan TPN dengan KPN, dan TPA dengan TPN. Hipotesis yang akan diuji yaitu 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.

Hipotesis akan dicocokkan dengan kriteria pengambilan keputusan sebagai berikut.

- a) Jika $T \text{ hitung} > T \text{ tabel}$ maka H_0 ditolak.
- b) Jika $T \text{ hitung} < T \text{ tabel}$ maka H_0 diterima (Dajan, 2000).

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut.

1. Kandungan bahan pada limbah cair pembuatan tempe yaitu BOD, COD, TSS, dan pH melampaui ambang batas standar baku mutu air limbah dan perlu dilakukan penanganan lebih lanjut agar tidak mencemari lingkungan.
2. Tanaman eceng gondok dapat bertahan hidup lebih lama pada limbah cair pembuatan tempe dengan pH netral dibandingkan dengan limbah cair dengan pH asli, namun tanaman eceng gondok tidak dapat tumbuh dengan baik pada limbah cair lebih dari 8 hari.
3. Parameter kualitas air seperti kekeruhan, TSS, COD, dan N mengalami penurunan pada proses fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok. Perlakuan TPN merupakan perlakuan dengan efisiensi penurunan tertinggi yaitu kekeruhan sebesar 77,13%; TSS sebesar 72,91%; COD sebesar 63,10%; dan N sebesar 45,45%.
4. BOD limbah cair pembuatan tempe dengan pH netral pada fitoremediasi menggunakan eceng gondok mengalami penurunan yang lebih tinggi dibandingkan dengan limbah cair dengan pH asli.

5.2 Saran

Perlu adanya penelitian mengenai fitoremediasi limbah cair pembuatan tempe menggunakan berbagai tanaman, seperti kiambang dan kangkung air. Selain itu perlu adanya penelitian lanjutan untuk limbah cair pembuatan tempe menggunakan tanaman eceng gondok pada berbagai variasi perlakuan, seperti variasi panjang akar, pergantian tanaman, penggunaan aerasi, dan sistem sirkulasi.

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.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air*. Yogyakarta: Kanisius.
- Felani, M. dan A. Hamzah. 2007. Fitoremediasi limbah cair industri tapioka dengan tanaman eceng gondok. *Jurnal Buana Sains*. 7(1):11-20.
- Hadiyanto dan M. Cristwardana. 2012. Aplikasi fitoremediasi limbah jamu dan pemanfaatannya untuk produksi protein. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 10(1): 32-37.
- Hartanti, P. I., A. T. S. Haji, dan R. Wirosedarmo. 2013. Pengaruh kerapatan tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes*) terhadap penurunan logam chromium pada limbah cair penyamakan kulit. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 1(3): 31-37.
- Haryanti, S., Hastuti, R. B., Hastuti, E. D., dan Nurchayati, Y. 2009. Adaptasi morfologi dan anatomi eceng gondok (*Eichornia crassipes* (Mart) Solms.) di berbagai perairan tercemar. *Jurnal Adaptasi Morfologi Fisiologi dan Anatomi*. 10(1):39-46.
- Kristanto, P. 2004. *Ekologi Industri*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Lutfi. 2017. "Wawancara Proses Pembuatan Tempe" di rumahnya Jalan Wahid Hasyim IX Kaliwates Jember.
- Mahmood, Q., P. Zheng, E. Islam, Y. Hayati, M. J. Hassan, G. Jilani, dan R. C. Jin. 2005. Lab scale studies on water hyacinth (*Eichornia crassipes* (Mart) solms) for biotreatment of textile wastewater. *Caspian Journal Enviromental Science*. 3(2):83-88.
- 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 system *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.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tentang Baku mutu Air Limbah*. 15 Oktober 2014. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2014 Nomor 1815. Jakarta.
- 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.
- Rosmarkam, A. dan N. M. Yuwono. 2002. *Ilmu Kesuburan Tanah*. Yogyakarta: Kanisius.
- 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.
- Rukmi, D. P., Ellyke, dan R. S. Pujiati. 2013. Efektivitas eceng gondok (*Eichornia crassipes*) dalam menurunkan kadar deterjen, BOD, dan COD pada air limbah laundry (Studi di laundry X di Kelurahan Jember Lor Kecamatan Patrang Kabupaten Jember). *Jurnal Ilmiah*. Jember: Universitas Jember.
- Safrizal, M. R. 2016. Pengaruh panjang akar eceng gondok terhadap penurunan konsentrasi limbah cair pengolahan kopi. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Sariadi. 2011. *Pengolahan Limbah Cair Kopi dengan Metode Elektrokoagulasi secara Batch*. Aceh: Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe.
- Stefhany, C. A., M. Sutisna, dan K. Pharmawati. 2013. Fitoremediasi fosfat dengan menggunakan tumbuhan eceng gondok (*Eichornia crassipes*) pada limbah cair industri kecil pencucian pakaian (laundry). *Jurnal Reka Lingkungan*. 1(1): 1-11.

- Sugiharto. 1987. *Dasar-dasar Pengelolaan Air Limbah*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia Press.
- Suhendrayatna, Bahagia, Z. A. Novia, dan Elvitriana. 2009. Pengaruh waktu tinggal dan umur tanaman pada biosorpsi ammonia oleh tanaman air eceng gondok (*Eichornia crassipes*). *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. 7(2): 58-63.
- Tim Redaksi AgroMedia. 2007. *Membuat Tahu dan Tempe*. Jakarta: PT Agromedia Pustaka.
- Wiryani, E. 2007. Analisis kandungan limbah cair pabrik tempe. http://eprints.undip.ac.id/2121/1/ANALISIS_KANDUNGAN_LIMBAH_CAIR_PABRIK_TEMPE.pdf [Diakses pada 16 Januari 2017].
- Zaman, B., dan E. Sutrisno. 2006. Kemampuan penyerapan eceng gondok terhadap amoniak dalam limbah rumah sakit berdasarkan umur dan lama kontak (studi kasus di RS Panti Wilasa, Semarang). *Jurnal Presipitasi*. 1(1): 49-54.

Lampiran A. Karakteristik Limbah Cair Sebelum Perlakuan

Tabel A.1 Karakteristik limbah cair pembuatan tempe awal

No	Parameter Pengukuran	Nilai	Satuan
1	pH	4,2	
2	COD	32.206,67	mg/l
3	BOD	7.123,3	mg/l
4	TSS	17.120,0	mg/l
5	Kekeruhan	3.780,0	NTU
6	Nitrogen	840	mg/l

Tabel A.2 Karakteristik limbah cair pembuatan tempe setelah proses filtrasi

No	Parameter Pengukuran	Nilai	Satuan
1	pH	4,2	
2	COD	27.273,33	mg/l
3	BOD	6.164,38	mg/l
4	TSS	13.620,0	mg/l
5	Kekeruhan	2.693,33	NTU
6	Nitrogen	700	mg/l

Lampiran B. Data Pengukuran Mingguan

Tabel B.1 Pengukuran parameter COD

Minggu ke-	COD (mg/l)			
	TPA	KPA	TPN	KPN
0	32.206,67	32.206,67	32.206,67	32.206,67
1	12.713,33	13.180,00	11.510,00	14.563,33

Tabel B.2 Pengukuran parameter nitrogen

Minggu ke-	Nitrogen (mg/l)			
	TPA	KPA	TPN	KPN
0	840,0	840,0	840,0	840,0
1	606,7	653,3	420,0	490,0

Lampiran C. Data Pengukuran Harian

Tabel C.1 Pengukuran parameter pH

Hari ke-	pH			
	TPA	KPA	TPN	KPN
0	4,23	4,23	4,23	4,23
1	4,27	4,27	7,00	7,00
2	4,27	4,20	6,80	6,83
3	4,33	4,23	6,67	6,80
4	4,33	4,23	6,60	6,73
5	4,47	4,40	6,47	6,67
6	4,57	4,50	6,43	6,57
7	4,67	4,53	6,37	6,40
8	4,70	4,67	6,37	6,33

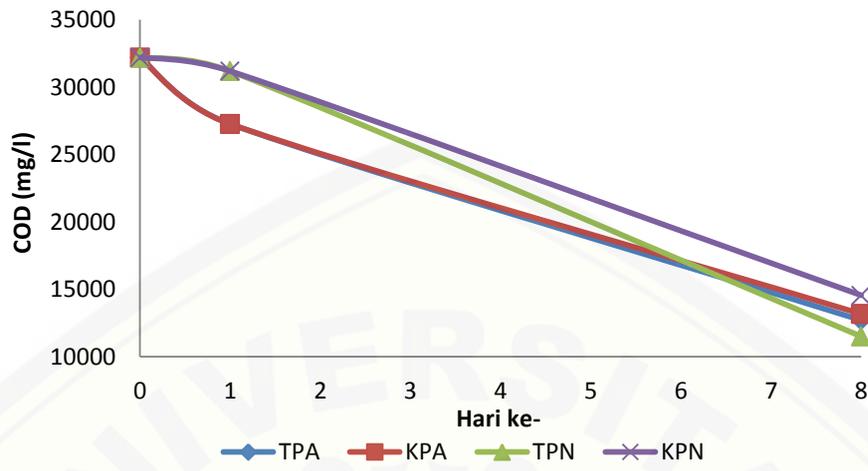
Tabel C.2 Pengukuran parameter kekeruhan

Hari ke-	Kekeruhan (NTU)			
	TPA	KPA	TPN	KPN
0	3.780,00	3.780,00	3.780,00	3.780,00
1	2.693,33	2.693,33	5.426,67	5.426,67
2	1.972,67	2.686,67	4.020,00	4.760,00
3	1.809,33	2.660,00	3.293,33	4.120,00
4	1.644,67	2.646,67	2.396,67	3.716,67
5	1.601,33	2.553,33	1.848,00	3.200,00
6	1.580,67	2.520,00	1.526,00	2.701,33
7	1.536,00	2.152,67	1.394,00	2.566,67
8	1.228,67	1.833,33	1.200,00	2.208,00

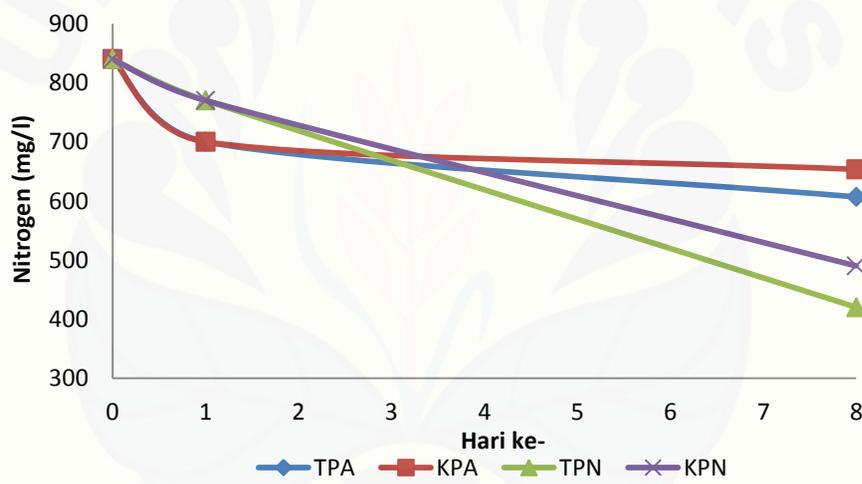
Tabel C.3 Pengukuran parameter TSS

Hari ke-	TSS (mg/l)			
	TPA	KPA	TPN	KPN
0	17.113,33	17.113,33	17.113,33	17.113,33
1	13.620,00	13.620,00	26.606,67	26.606,67
2	11.413,33	13.080,00	22.073,33	23.940,00
3	9.106,67	11.953,33	15.126,67	21.440,00
4	8.820,00	11.120,00	12.440,00	18.133,33
5	8.246,67	10.640,00	10.393,33	17.500,00
6	7.286,67	10.366,67	9.153,33	14.946,67
7	7.173,33	9.940,00	8.033,33	13.213,33
8	6.973,33	7.313,33	7.206,67	9.026,67

Lampiran D. Gambar Data Pengukuran Parameter COD dan N



Gambar D.1 Grafik perubahan rata-rata COD



Gambar D.2 Grafik perubahan rata-rata N

Lampiran E. Uji Normalitas Data

Tabel E.1 Uji normalitas data perlakuan TPA

		BOD
N		18
Normal Parameters	Mean	4,8188
	Std. Deviation	1,3262
Most Extreme Differences	Absolute	0,148
	Positive	0,148
	Negative	-0,116
Kolmogorov-Smirnov Z		0,445
Asymp. Sig. (2-tailed)		0,989

a. *Test distribution is Normal*

Tabel E.2 Uji normalitas data perlakuan KPA

		BOD
N		18
Normal Parameters	Mean	5,2699
	Std. Deviation	1,0767
Most Extreme Differences	Absolute	0,145
	Positive	0,145
	Negative	-0,133
Kolmogorov-Smirnov Z		0,436
Asymp. Sig. (2-tailed)		0,991

a. *Test distribution is Normal*

Tabel E.3 Uji normalitas data perlakuan TPN

		BOD
N		18
Normal Parameters	Mean	5,7253
	Std. Deviation	1,3482
Most Extreme Differences	Absolute	0,158
	Positive	0,099
	Negative	-0,158
Kolmogorov-Smirnov Z		0,473
Asymp. Sig. (2-tailed)		0,979

a. *Test distribution is Normal*

Tabel E.4 Uji normalitas data perlakuan KPN

		BOD
N		18
Normal Parameters	Mean	5,7253
	Std. Deviation	1,3482
Most Extreme Differences	Absolute	0,158
	Positive	0,099
	Negative	-0,158
Kolmogorov-Smirnov Z		0,473
Asymp. Sig. (2-tailed)		0,979

a. *Test distribution is Normal*

Lampiran F. Uji T

Tabel F.1 Uji Independen T-test data perlakuan TPA dan KPA

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	Df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
		Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower
BOD	Equal variances assumed	0,359	0,557	7,92	16	0,440	-0,4511	0,56943	-1,658	0,756
	Equal variances not assumed			7,92	15,352	0,440	-0,4511	0,56943	-1,662	0,760

Tabel F.2 Uji Independen T-test data perlakuan TPN dan KPN

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	Df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
		Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower
BOD	Equal variances assumed	20,09	0,000	12,725	16	0,000	5718,88	449,407	4766,2	6671,5
	Equal variances not assumed			12,725	8,00	0,000	5781,88	449,407	4682,5	6755,2

Tabel F.3 Uji Independen T-test data perlakuan TPA dan TPN

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	Df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
		Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower
BOD	Equal variances assumed	20,088	0,000	12,729	16	,000	5720,51	449,4	-6,673	4,7678
	Equal variances not assumed			12,729	8,00	,000	5720,51	449,4	-6,756	4,6841

Tabel F.4 T-table

Titik Persentase Distribusi t (df = 1 – 40)

Pr	0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001
df	0.50	0.20	0.10	0.050	0.02	0.010	0.002
1	1.00000	3.07768	6.31375	12.70620	31.82052	63.65674	318.30884
2	0.81650	1.88562	2.91999	4.30265	6.96456	9.92484	22.32712
3	0.76489	1.63774	2.35336	3.18245	4.54070	5.84091	10.21453
4	0.74070	1.53321	2.13185	2.77645	3.74695	4.60409	7.17318
5	0.72669	1.47588	2.01505	2.57058	3.36493	4.03214	5.89343
6	0.71756	1.43976	1.94318	2.44691	3.14267	3.70743	5.20763
7	0.71114	1.41492	1.89458	2.36462	2.99795	3.49948	4.78529
8	0.70639	1.39682	1.85955	2.30600	2.89646	3.35539	4.50079
9	0.70272	1.38303	1.83311	2.26216	2.82144	3.24984	4.29681
10	0.69981	1.37218	1.81246	2.22814	2.76377	3.16927	4.14370
11	0.69745	1.36343	1.79588	2.20099	2.71808	3.10581	4.02470
12	0.69548	1.35622	1.78229	2.17881	2.68100	3.05454	3.92963
13	0.69383	1.35017	1.77093	2.16037	2.65031	3.01228	3.85198
14	0.69242	1.34503	1.76131	2.14479	2.62449	2.97684	3.78739
15	0.69120	1.34061	1.75305	2.13145	2.60248	2.94671	3.73283
16	0.69013	1.33676	1.74588	2.11991	2.58349	2.92078	3.68615
17	0.68920	1.33338	1.73961	2.10982	2.56693	2.89823	3.64577
18	0.68836	1.33039	1.73406	2.10092	2.55238	2.87844	3.61048
19	0.68762	1.32773	1.72913	2.09302	2.53948	2.86093	3.57940
20	0.68696	1.32534	1.72472	2.08596	2.52798	2.84534	3.55181
21	0.68635	1.32319	1.72074	2.07961	2.51765	2.83136	3.52715
22	0.68581	1.32124	1.71714	2.07387	2.50832	2.81876	3.50499
23	0.68531	1.31946	1.71387	2.06866	2.49987	2.80734	3.48496
24	0.68485	1.31784	1.71088	2.06390	2.49216	2.79694	3.46678
25	0.68443	1.31635	1.70814	2.05954	2.48511	2.78744	3.45019
26	0.68404	1.31497	1.70562	2.05553	2.47863	2.77871	3.43500
27	0.68368	1.31370	1.70329	2.05183	2.47266	2.77068	3.42103
28	0.68335	1.31253	1.70113	2.04841	2.46714	2.76326	3.40816
29	0.68304	1.31143	1.69913	2.04523	2.46202	2.75639	3.39624
30	0.68276	1.31042	1.69726	2.04227	2.45726	2.75000	3.38518
31	0.68249	1.30946	1.69552	2.03951	2.45282	2.74404	3.37490
32	0.68223	1.30857	1.69389	2.03693	2.44868	2.73848	3.36531
33	0.68200	1.30774	1.69236	2.03452	2.44479	2.73328	3.35634
34	0.68177	1.30695	1.69092	2.03224	2.44115	2.72839	3.34793
35	0.68156	1.30621	1.68957	2.03011	2.43772	2.72381	3.34005
36	0.68137	1.30551	1.68830	2.02809	2.43449	2.71948	3.33262
37	0.68118	1.30485	1.68709	2.02619	2.43145	2.71541	3.32563
38	0.68100	1.30423	1.68595	2.02439	2.42857	2.71156	3.31903
39	0.68083	1.30364	1.68488	2.02269	2.42584	2.70791	3.31279
40	0.68067	1.30308	1.68385	2.02108	2.42326	2.70446	3.30688

Lampiran G. Dokumentasi Penelitian



Akuarium fitoremediasi



Proses fitoremediasi limbah cair pembuatan tempe pada hari pertama



Proses penanganan secara fisik



Tanaman eceng gondok dengan panjang akar 30 cm



Pengukuran kekeruhan dengan turbidimeter



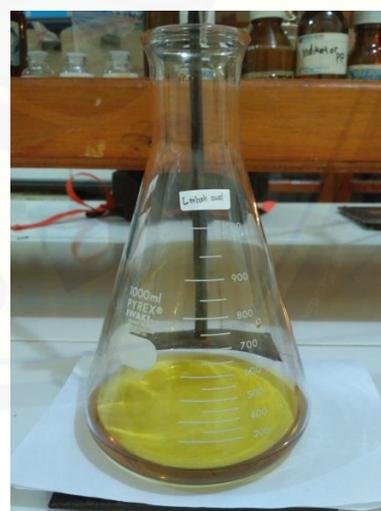
Pengukuran pH dengan pH meter



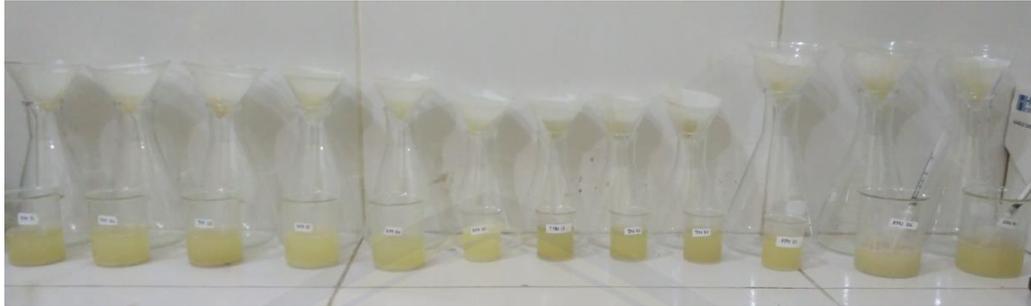
Pengukuran COD dengan Spektrofotometer



Penimbangan kertas saring



Pengukuran oksigen terlarut



Pengukuran TSS dengan gravimetri



Botol inkubasi Winkler



Proses fitoremediasi limbah cair pembuatan tempe pada hari kedelapan