



**PENGOLAHAN LIMBAH CAIR DARI INDUSTRI KOPI
DENGAN TANAMAN ECENG GONDOK (*Eichornia crassipes*
(*Mart.*) *solms*) MENGGUNAKAN SISTEM *BATCH* DAN
SIRKULASI**

SKRIPSI

Oleh

**Silvia Nur Arifin
NIM 121710201002**

**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS JEMBER
2016**



**PENGOLAHAN LIMBAH CAIR DARI INDUSTRI KOPI
DENGAN TANAMAN ECENG GONDOK (*Eichornia crassipes*
(*Mart.*) *solms*) MENGGUNAKAN SISTEM *BATCH* DAN
SIRKULASI**

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

Silvia Nur Arifin
NIM 121710201002

**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS JEMBER
2016**

PERSEMBAHAN

*Kupersembahkan untuk kedua orang tuaku, **Moh. Hafid dan Iib Titatul Jannah**
yang selalu berkorban, memberikan kasih sayang dan doa.*



MOTTO

Sesungguhnya Allah tidak akan merubah keadaan suatu kaum sehingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri.
(Al-ra'd: 11)^{*)}

Tidaklah seorang (hamba) memakan makanan yang lebih baik dari usaha tangannya (sendiri), dan sesungguhnya Nabi Dawud 'alaihissalam makan dari usaha tangannya (sendiri).
(HR Bukhari)

Pikiran kita ibarat parasut, hanya berfungsi ketika terbuka.
(Walt Disney)

^{*)}Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. Al Quran dan Terjemahannya.
Semarang : CV Asy Syifa

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Silvia Nur Arifin

NIM : 121710201002

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah ini yang berjudul **“Pengolahan Limbah Cair dari Industri Kopi dengan Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes (Mart.) solms*) Menggunakan Sistem Batch dan Sirkulasi** “ adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi. Adapun data yang terdapat di dalam tulisan ini dan hak publikasi adalah milik Laboratorium Teknologi Pengendalian dan Konservasi Lingkungan Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

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

Jember, 20 April 2016
Yang menyatakan,

Silvia Nur Arifin
NIM. 121710201002

SKRIPSI

**PENGOLAHAN LIMBAH CAIR DARI INDUSTRI KOPI
DENGAN TANAMAN ECENG GONDOK (*Eichornia crassipes*
(*Mart.*) *solms*) MENGGUNAKAN SISTEM *BATCH* DAN
SIRKULASI**

Oleh:

Silvia Nur Arifin
NIM 121710201002

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Sri Wahyuningsih, S.P., M.T.
Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Elida Novita, S.Tp., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengolahan Limbah Cair dari Industri Kopi dengan Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes (Mart.) solms*) Menggunakan Sistem *Batch* dan Sirkulasi” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember pada :

Hari / tanggal : Kamis / 28 April 2016

Tempat : Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Anggota

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

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

Tim Penguji

Ketua

Anggota

Dr. Ir. Iwan Taruna, M.Eng
NIP. 196910051994021001

Dr. Yeny Dhokhikah S.T.,M.T.
NIP. 197301271999032002

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknologi Pertanian
Universitas Jember

Dr. Yuli Witono, S.TP.,M.P.
NIP 196912121998021001

SUMMARY

Wastewater Treatment from the Coffee Industry with Water Hyacinth (*Eichornia crassipes (Mart.) solms*) using Batch and Circulation System; Silvia Nur Arifin, 121710201002; 2016; 72 pages; Departement Of Agricultural Engineering Faculty Of Agricultural Technology University Of Jember.

Wastewater of coffee containing organic matter can cause pollution if discharged directly into the environment. One of waste treatment techniques that were often applied in developed countries because of its advantages was using hyacinth. To improve the effectiveness of using hyacinth process in reducing pollutant effluent can be modified bioreactor coffee processing and study of the flow rate with provide circulation. Bioreactor used in this study had dimension of length, width and height of 160 cm, 30 cm and 30 cm respectively. Weirs were added in each compartment.

Waste treatment with hyacinth using batch and circulation system need to consider the detention time. Previous study using the 4 treatments of flow rate obtained the best treatment was the category of small flow rate (10.61 ml / s) or the highest detention time was 511 minutes. The flow rate resulted in an average efficiency 82.26%, and it was concluded that the smaller the flow rate and the longer the hydraulic detention time, the more materials - pollutants are absorbed by the roots of water hyacinth. However, if the flow rate used was too small at the wastewater treatment tank with circulation expected will hamper the process of circulation.

The aims of this study was to identify the effect of flow rate circulation of less than 10.09 ml/s to decrease the efficiency of the coffee liquid waste content. This study also aims to determine the optimum flow rate and detention time in phytoremediation bioreactor circulation method. This study uses three treatments flow rate Q_1 , Q_2 and Q_3 (3.1; 4.8; and 5.6 ml/s) or detention time (690; 558, and 435 minutes). Each treatment lasts for seven days. Parameters measured were pH, temperature, turbidity, and TDS as parameters daily, while the measurement of

COD, BOD, NH₃, and PO₄ performed at the beginning and the end of the treatment.

The results obtained from the treatment of coffee wastewater used the flow rate circulation of less than 10ml / s was that this method could decrease the value of the parameters of wastewater, with the value of the highest removal efficiency of 57.81% (COD); 57.94% (BOD); 72.14% (NH₃); 59.49% (PO₄); and 73.30% (turbidity). Based average of efficiency the best treatment value used this method was treatment with detention time 3 or Q3 435 minutes or 7 hours and 15 minutes.

Based on this study as well as previous study, it could be concluded that the treatment of wastewater by using circulation flow will produce a reduction in pollutant concentrations better if it use a flow rate of less than 18.93 ml / s and more than 5.6 ml / s or detention time more than 113 minutes and less than 435 minutes. Flow rate was too small also resulted in the circulation process can not go well or obstructed. The flow that was too small may result in an increase in the flow resistance in the waste outlet. Such constraints caused by sediment in a tank that every day will increase.

RINGKASAN

Pengolahan Limbah Cair dari Industri Kopi Menggunakan Eceng Gondok (*Eichornia crassipes (Mart.) solms*) dengan Sistem Batch dan Sirkulasi; Silvia Nur Arifin, 121710201002; 2016; 72 halaman; Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

Limbah cair kopi mengandung bahan organik yang tinggi dan dapat menyebabkan pencemaran jika dibuang langsung ke lingkungan. Salah satu teknik pengolahan limbah yang kerap dikembangkan di negara-negara maju karena memiliki banyak keuntungan adalah penggunaan tanaman eceng gondok. Untuk lebih meningkatkan keefektifan proses penyerapan eceng gondok dalam menurunkan kandungan limbah cair kopi dilakukan modifikasi bioreaktor pengolahan dan studi laju aliran dengan memberikan sirkulasi. Bioreaktor yang digunakan berukuran panjang, lebar dan tinggi 160 cm, 30 cm dan 30 cm secara berurutan. Terdapat lubang limpasan pada tiap kompartemennya.

Pengolahan limbah dengan eceng gondok menggunakan sistem *batch* dan sirkulasi perlu mempertimbangkan debit dan waktu tinggal. Pada penelitian sebelumnya menggunakan 4 perlakuan debit diperoleh perlakuan terbaik adalah katagori debit kecil (10,61 ml/detik) atau waktu tinggal terbesar yaitu 511 menit. Debit tersebut menghasilkan nilai efisiensi rata-rata sebesar 82,26 %, dan didapatkan kesimpulan bahwa semakin kecil debit dan semakin lama waktu tinggal maka semakin banyak bahan - bahan pencemar yang diserap oleh akar eceng gondok. Namun, jika debit yang digunakan terlalu kecil pada bioreaktor pengolahan limbah dengan sirkulasi diduga akan menghambat proses sirkulasinya.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi pengaruh pemberian debit sirkulasi kurang dari 10 ml/s terhadap efisiensi penurunan kandungan limbah cair kopi. Penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan debit dan waktu tinggal yang tepat dalam bioreaktor sistem *batch* dan sirkulasi. Penelitian ini menggunakan tiga perlakuan debit Q_1 , Q_2 dan Q_3 (3,1; 4,8; dan 5,6 ml/detik) atau waktu tinggal (690; 558, dan 435 menit). Setiap perlakuan

berlangsung selama tujuh hari. Parameter yang diukur adalah pH, suhu, kekeruhan, dan TDS sebagai parameter harian, sedangkan pengukuran COD, BOD, NH_3 , dan PO_4 dilakukan pada awal dan akhir perlakuan.

Hasil yang didapatkan dari pengolahan limbah cair kopi menggunakan sirkulasi dengan debit kurang dari 10,09 ml/detik adalah metode ini dapat menurunkan nilai parameter-parameter air limbah, dengan nilai efisiensi penurunan tertinggi yaitu 57,81% (COD); 57,94% (BOD); 72,14% (NH_3); 59,49% (PO_4); dan 73,30% (kekeruhan). Berdasarkan nilai rata-rata efisiensi penurunannya nilai perlakuan terbaik menggunakan metode pengolahan limbah cair ini adalah perlakuan 3 atau Q_3 dengan waktu tinggal 435 menit atau 7 jam 15 menit. Berdasarkan pada penelitian ini dan sebelumnya dapat disimpulkan bahwa pengolahan limbah cair dengan menggunakan aliran sirkulasi akan menghasilkan penurunan konsentrasi polutan lebih baik jika menggunakan debit kurang dari 18,93 ml/detik dan lebih dari 5,6 ml/detik atau waktu tinggal lebih dari 113 menit dan kurang dari 435 menit. Debit yang terlalu kecil juga mengakibatkan proses sirkulasi tidak dapat berjalan dengan baik atau terhambat. Aliran yang terlalu kecil dapat mengakibatkan terjadinya peningkatan hambatan aliran pada lubang keluaran limbah. Hambatan tersebut disebabkan oleh endapan pada bak penampung yang setiap hari akan meningkat.

PRAKATA

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya sehingga penulis dapat menyelesaikan karya ilmiah tertulis yang berjudul “Pengolahan Limbah Cair dari Industri Kopi dengan Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes (Mart.) solms*) Menggunakan Sistem *Batch* dan Sirkulasi “. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak yang telah bersedia meluangkan waktu arahan dan dukungannya. Ucapan terima kasih ditujukan kepada :

1. Dekan Fakultas Teknologi Pertanian dan Ketua Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember;
2. Dr. Sri Wahyuningsih, S.P., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama (DPU) dan Dr. Elida Novita, S.TP., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota (DPA) yang telah meluangkan banyak waktu, memberikan masukan dan motivasi hingga terselesainya penulisan skripsi ini;
3. Dr. Ir. Iwan Taruna, M.Eng dan Dr. Yeny Dhokhikah S.T.,M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan dan pengarahan dalam penulisan skripsi ini;
4. Ir. Muharyo Pudjojono selaku Ketua Komisi Bimbingan yang telah memberikan pengarahan dalam penulisan skripsi ini;
5. Bapak Suwarno selaku Pimpinan Industri Kopi Sidomulyo, Silo yang telah mengizinkan dan memberi dukungan dalam pelaksanaan penelitian;
6. Kedua orang tuaku, Moh. Hafid dan Iib Titatul Jannah yang selalu memberikan doa restu, kasih sayang, serta selalu berkorban untuk kesuksesanku;
7. Yayan Gozali yang selalu mendukung dan memberikan semangat untuk terus berjuang;

8. Teman-teman TEP angkatan 2012 yang telah memberikan rasa kekeluargaan dan pengalaman yang berharga selama 4 tahun, khususnya (Ika, Mastuki, Amel, Widad, Wawan, Salman, Faris, Ria dan Riski) yang sudah menjadi sahabat baik selama kuliah;
9. Teman-teman Laboratorium Kualitas Air yang telah memberikan bantuan saat penelitian dan rasa kebersamaan;
10. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kesalahan dan kekurangan. Saran dan kritik sangat diharapkan penulis demi kesempurnaan karya tulis ilmiah ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Jember, 20 April 2016

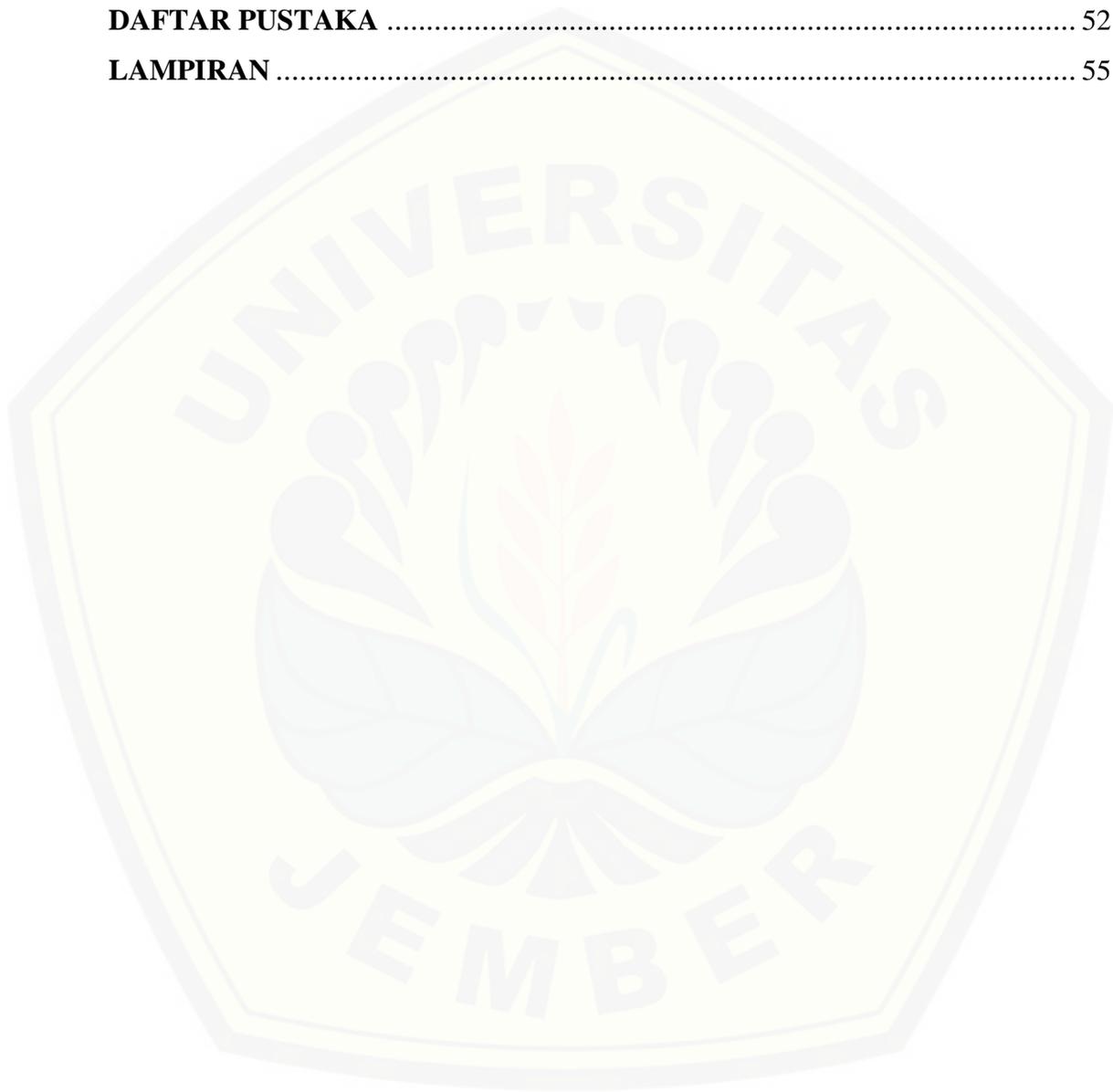
Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
SUMMARY	vii
RINGKASAN	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan dan Batasan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Limbah Cair kopi	4
2.2. Dampak Limbah Cair terhadap Lingkungan	4
2.3. Parameter Kualitas Air	5
2.4. Penanganan Limbah Cair Kopi	6
2.5. Tanaman Eceng Gondok	7
2.6. Bioreaktor pengolahan Limbah Cair Kopi	8
2.7. Sirkulasi	8

2.8. Debit.....	9
2.9. Waktu Tinggal (<i>Detention Time</i>)	9
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	11
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	11
3.2. Alat dan Bahan.....	11
3.3. Tahapan Penelitian	12
3.3.1. Persiapan Penelitian.....	12
3.3.2. Pengukuran Debit.....	13
3.3.3. Penanaman Eceng Gondok.....	14
3.3.4. Penelitian utama.....	15
3.3.5. Pengukuran Parameter.....	15
3.3.6. Diagram Penelitian.....	17
3.3.7. Analisis Data.....	18
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	19
4.1. Bioreaktor Pengolahan Limbah Cair Kopi dengan Sistem Batch dan Sirkulasi.....	20
4.2. Debit Sirkulasi dan Waktu Tinggal Bioreaktor Pengolahan Limbah Cair Kopi.....	22
4.3. Karakteristik Limbah Cair Kopi.....	25
4.4. Pengukuran Parameter Awal dan Akhir.....	26
4.4.1. Pengukuran COD dan BOD.....	26
4.4.2. Pengukuran Amonia (NH ₃) pada N Total.....	29
4.4.3. Pengukuran Fosfat (PO ₄) pada P Total.....	32
4.5. Pengukuran Parameter Harian.....	34
4.5.1. Suhu.....	34
4.5.2. Pengukuran pH	36
4.5.3. Pengukuran Kekeruhan.....	39
4.5.4. Pengukuran TDS.....	43
4.6. Analisis Perlakuan terbaik pada Proses Pengolahan Limbah Cair Kopi dengan Eceng Gondok menggunakan Sistem <i>Batch</i> dan Sirkulasi.....	46

4.7. Keterbatasan Penelitian.....	49
BAB 5. PENUTUP	51
5.1. Kesimpulan	51
5.2. Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	55



DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Baku Mutu Limbah Cair Industri Pengolahan Kopi	4
3.1. Perlakuan Debit pada Bioreaktor Pengolahan Limbah Cair Kopi ...	14
3.2. Analisis Data Penelitian	18
4.1. Waktu Tinggal pada Bioreaktor	23
4.2. Karakteristik Awal Limbah Cair Kopi.....	25
4.3. Baku Mutu Limbah Cair Industri Pengolahan Kopi	25
4.4. Persentase Penurunan COD dan BOD	28
4.5. pH Limbah Kopi Sebelum Perlakuan	36
4.6. Nilai kekeruhan limbah Kopi Sebelum Perlakuan	39
4.7. Nilai TDS limbah Kopi Sebelum Perlakuan	43
4.8. Nilai Persentase Penurunan Parameter.....	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
3.1. Bioreaktor Sebelum dan Sesudah Modifikasi	12
3.2. Rangkaian Bioreaktor dengan Sistem Batch dan Sirkulasi.....	13
3.3 Diagram Penelitian Proses Pengolahan Limbah Cair Kopi	17
4.1. Bioreaktor Sistem Batch dengan Sirkulasi.....	20
4.2. Komponen Bioreaktor Pengolahan Limbah Cair kopi dengan Sistem Batch dan Sirkulasi	22
4.3. Hubungan Waktu Tinggal dengan Nilai pengurangan COD, BOD, NH ₃ dan PO ₄	24
4.4. Nilai Penurunan COD dan BOD	27
4.5. Persentase Penurunan nilai NH ₃	30
4.6. Persentase Penurunan nilai PO ₄	32
4.7. Perubahan Suhu Limbah Cair Kopi	34
4.8. Grafik Pengukuran pH Harian Limbah Cair Kopi pada Tiap Perlakuan Debit.....	37
4.9. Grafik Pengukuran Kekeruhan Harian Limbah Cair Kopi pada Tiap Perlakuan Debit.....	40
4.10. Persentase Penurunan Kekeruhan	42
4.11. Pengukuran TDS Harian Limbah Cair Kopi pada Tiap Perlakuan Debit.....	44
4.12. Peningkatan Nilai TDS pada Pengolahan Limbah Cair Kopi.....	45
4.13. Diagram Batang Hasil Analisis Perlakuan Terbaik	47

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A. Karakteristik Limbah Cair Kopi Sebelum Perlakuan.....	56
B. Pengukuran Debit dan Waktu Tinggal (<i>Detention Time</i>).....	58
C. Data Pengukuran COD.....	59
D. Data Pengukuran BOD.....	60
E. Data Pengukuran Amonia (NH ₃) pada N total.....	61
F. Data Pengukuran Fosfat (Po ₄) pada P total.....	62
G. Data Pengukuran pH.....	63
H. Data Pengukuran Kekeruhan.....	64
I. Data Pengukuran Suhu.....	66
J. Analisis Perlakuan Terbaik.....	67
K. Prosedur Pengukuran COD, BOD, NH ₃ dan PO ₄	69
L. Dokumentasi.....	72

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Limbah cair kopi memiliki komponen utama yang dapat menyebabkan pencemaran yaitu bahan organik yang tinggi. Menurut Yuliastini *et al.* (2014), kandungan bahan organik yang tinggi memiliki kadar BOD dan COD yang tinggi pula. Metode yang digunakan untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan, atau menghancurkan bahan pencemar baik senyawa organik ataupun anorganik yaitu dengan memanfaatkan tumbuhan (Fahrudin, 2010: 141). Menurut Salt *et al.* (1998), konsep pemanfaatan tumbuhan untuk meremediasi tanah yang terkontaminasi polutan adalah pengembangan terbaru dalam teknik pengolahan limbah. Berdasarkan pengamatan diketahui bahwa tanah yang ditanami tumbuhan hijau kandungan senyawa kimia organiknya lebih sedikit dibandingkan di sekitar tanah yang tidak ditanami tumbuhan hijau. Salah satu jenis tanaman yang memiliki kemampuan tersebut adalah eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) solms).

Menurut Rukmawati (2015), bioreaktor pengolahan limbah cair kopi dengan sirkulasi dapat digunakan untuk menurunkan polutan. Untuk ekosistem air buatan seperti bioreaktor dibutuhkan sirkulasi air, karena sirkulasi air dapat meningkatkan kandungan oksigen dalam air. Sirkulasi dan penurunan konsentrasi limbah cair kopi dalam bioreaktor juga dipengaruhi oleh debit aliran limbah. Semakin kecil debit maka semakin lama limbah cair bersentuhan dengan akar eceng gondok sehingga nilai waktu tinggal semakin besar. Debit terkecil yang digunakan adalah 10,09 ml/detik dan mampu menurunkan kandungan BOD dan COD mencapai 97,5%. Diketahui bahwa semakin besar nilai waktu tinggal (*Detention Time*) maka semakin tinggi nilai penurunan parameter COD dan BOD (Rukmawati, 2015). Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dari penelitian sebelumnya mengenai pengaruh variasi debit terhadap penurunan konsentrasi limbah cair kopi, maka perlu dilakukan kajian lanjut sirkulasi dengan memperkecil laju aliran dan menambahkan aliran dari bawah ke atas. Menurut Said dan Wahyono (1999), aliran *up flow* atau aliran dari bawah ke atas

membuat waktu operasi lebih panjang atau lambat. Dengan demikian penelitian ini perlu dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan sistem *batch* dan sirkulasi dengan variasi debit yang lebih kecil dari 10 ml/detik pada bioreaktor terhadap efisiensi penurunan kandungan limbah cair kopi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas didapatkan beberapa rumusan masalah adalah sebagai berikut.

1. Bagaimanakah pengaruh penggunaan sistem *batch* dan sirkulasi dengan variasi debit kurang dari 10 ml/detik pada bioreaktor terhadap kandungan limbah cair kopi (COD, BOD, NH₃, PO₄, suhu, pH, kekeruhan, dan TDS).
2. Berapakah debit dan waktu tinggal (*Detention Time*) yang tepat dalam bioreaktor sistem *batch* dan sirkulasi yang dibutuhkan untuk menurunkan kandungan limbah cair kopi.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini hanya dibatasi pada pengukuran nilai efisiensi penurunan kandungan limbah cair kopi. Parameter yang diamati antara lain COD, BOD, NH₃, PO₄, suhu, pH, kekeruhan, dan TDS. Selain itu juga dilakukan pengamatan debit yang tepat dalam bioreaktor sistem *batch* dan sirkulasi. Aktivitas dan jumlah mikroorganisme diabaikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk mengidentifikasi pengaruh penggunaan sistem *batch* dan sirkulasi dengan variasi debit kurang dari 10 ml/detik pada bioreaktor terhadap efisiensi penurunan kandungan limbah cair kopi (COD, BOD, NH₃, PO₄, dan kekeruhan).

2. Untuk menentukan debit dan waktu tinggal (*Detention Time*) yang tepat dalam bioreaktor sistem *batch* dan sirkulasi dalam menurunkan kandungan limbah cair kopi.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan informasi mengenai salah satu penanganan limbah cair secara alami yaitu pengolahan limbah cair menggunakan bioreaktor dengan sistem *batch* dan sirkulasi.
2. Memberikan pertimbangan mengenai debit yang tepat untuk pengolahan limbah cair menggunakan bioreaktor dengan sistem *batch* dan sirkulasi.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Cair kopi

Air limbah bersumber dari limbah domestik dan industri yang air buangnya membawa sampah, bahan terlarut atau bahan padat tersuspensi. (Suhermanto, 2012). Air limbah banyak mengandung nutrien yang dapat merangsang pertumbuhan mikroorganisme. Limbah cair kopi adalah limbah cair yang berasal dari air buangan pada proses pencucian dan pengupasan kopi. Kandungan BOD dan COD sungai yang menerima buangan limbah industri kopi meningkat yang awalnya 120 dan 176 mg/l meningkat menjadi 7800 dan 9780 mg/l (Haddis dan Devi, 2008). Limbah cair kopi memiliki kandungan zat organik tinggi yang dapat meningkatkan beban pencemaran hingga 80%, dengan nilai BOD mencapai 20.000 mg/l dan COD mencapai 50.000 mg/L.

Tabel 2.1 Baku Mutu Limbah Cair Industri Pengolahan Kopi

Parameter	Kadar Paling Tinggi (mg/L)	Beban Pencemaran Paling Tinggi (kg/ton produk)
TSS	150	4,5
BOD	90	2,7
COD	200	6
pH		6-9
Kualitas Air Limbah		30 m ³ /ton produk

(Sumber : Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, 2014).

2.2 Dampak Limbah Cair terhadap Lingkungan

Menurut Ratnani (2011), limbah yang mengandung zat organik tinggi dapat menyebabkan pesatnya pertumbuhan mikroba dalam air, hal tersebut akan mengakibatkan kadar oksigen dalam air menurun. Jika limbah cair yang mengandung bahan organik tinggi dibuang ke air permukaan maka akan mencemari air sungai. Ketika limbah dibuang ke sungai maka akan terjadi penguraian senyawa kompleks

menjadi senyawa yang lebih sederhana oleh mikroorganisme aerob yang membutuhkan oksigen dalam jumlah besar. Hal itu menyebabkan penurunan konsentrasi oksigen terlarut dalam air.

Limbah cair juga dapat mengakibatkan rusaknya lingkungan sehingga daya dukung alam terhadap kelangsungan hidup manusia menjadi berkurang. Pada pengolahan kopi dampak lingkungan berupa polusi organik limbah kopi yaitu pada perairan dimana influen kopi dikeluarkan. Dampak tersebut berupa pengurangan kandungan oksigen akibat tingginya BOD dan COD (Sariadi, 2011).

2.3 Parameter Kualitas Air

Parameter-parameter yang digunakan dalam pengukuran kualitas air limbah adalah sebagai berikut.

1. Derajat Keasaman (pH)

Menurut Effendi (2003), pH adalah derajat Keasaman, nilai pH sangat mempengaruhi proses biokimiawi perairan. Sebagian besar biota akuatik sensitif terhadap perubahan pH dan menyukai nilai pH sekitar 7-8,5. Nilai pH diperoleh dengan cara mengukur menggunakan alat pH meter.

2. Turbiditas

Turbiditas atau kekeruhan adalah keadaan buram suatu cairan yang disebabkan oleh partikel halus tersuspensi yang menyebabkan cahaya tidak dapat merambat lurus ke air. Sehingga semakin tinggi nilai turbiditas maka semakin keruh keadaan air tersebut. Untuk mengetahui tingkat kekeruhan air (turbiditas) digunakan alat ukur turbidimeter (Hendrizon, 2012).

3. Total Padatan Terlarut (TDS)

Total padatan terlarut adalah istilah dari garam-garaman organik ataupun anorganik berukuran kecil yang hadir dalam larutan air. Kehadiran padatan terlarut dalam air dapat mempengaruhi rasanya (World Health Organization, 1996).

4. *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*

BOD adalah jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan mikroorganisme untuk melarutkan atau mengoksidasi zat yang terkandung dalam air. BOD mengukur secara relatif jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi bahan-bahan buangan. Semakin sedikit kandungan oksigen dalam air, maka semakin besar nilai BOD.

5. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

COD adalah jumlah oksigen (mg O_2) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada di dalam 1 liter sampel air. COD merupakan ukuran persyaratan kebutuhan oksigen sampel yang berada dalam kondisi tertentu yang ditentukan dengan menggunakan suatu oksidan kimiawi. COD berhubungan dengan padatan yang dapat mengendap dalam air bekas yang diturunkan konsentrasinya melalui sedimentasi (Dhokhikah, 2007).

6. N dan P

Nitrogen merupakan nutrisi esensial dalam kehidupan sebagai komponen pembangun utama protein tumbuhan dan hewan. Senyawa nitrogen, dalam lingkungan air biasanya ditemukan dalam bentuk ion amonium (NH_4) (Lei *et al.*, 2008). Menurut Saragih (2009), setiap senyawa fosfat terdapat dalam bentuk terlarut, tersuspensi atau terikat dalam sel organism dalam air. Dalam limbah senyawa fosfat salah satunya dapat berasal dari industri pertanian.

2.4 Penanganan Limbah Cair Kopi

Limbah cair kopi memiliki kandungan bahan organik yang tinggi, untuk itu perlu adanya proses-proses penanganan limbah cair kopi agar aman jika dibuang ke lingkungan. Menurut Novita *et al.* (2015), alternatif penanganan limbah cair proses pengolahan kopi yang ramah lingkungan adalah fitoremediasi. Penanganan limbah cair kopi dilakukan melalui dua rancangan penanganan fitoremediasi pada limbah cair kopi yaitu (1) penanganan fitofiltrasi menggunakan eceng gondok, dan (2) penanganan fitokoagulasi menggunakan biji kelor. Penanganan limbah cair kopi

fitofiltrasi menggunakan eceng gondok dan menambahkan aerasi serta sirkulasi dapat menurunkan konsentrasi pencemaran dengan nilai efisiensi tertinggi bisa mencapai < 90% dalam waktu 14 hari. Penanganan fitokoagulasi menggunakan biji kelor dapat menurunkan kandungan COD sebesar 30%.

Pengolahan limbah cair kopi secara anaerob menggunakan reaktor anaerob sederhana dapat menurunkan konsentrasi kandungan bahan organik (COD) dengan nilai efisiensi mencapai 60% (Sutrisno, 2011). Pengolahan limbah cair kopi dengan metode elektrokoagulasi secara batch dapat menurunkan konsentrasi limbah dengan efisiensi penurunan nilai COD 70,83 %, turbiditas 71,54 %. TDS 28,57 % dan kenaikan pH sebesar 4,11 % (Sariadi, 2011).

2.5 Tanaman Eceng Gondok

Eceng Gondok atau *Eichornia crassipes* (Mart.) solms adalah salah satu tanaman air yang memiliki kemampuan dapat menyerap kontaminan. Eceng gondok mampu menghisap air dan menguapkan ke udara melalui proses evaporasi. Eceng gondok dapat menyerap nitrogen secara langsung sebesar 5850 kg/ha per tahun dan kandungan fosfor sebesar 350-1125 kg/ha per tahun. Sehingga hal ini dapat mengurangi konsentrasi kontaminan pada limbah perairan (McEldowney *et al.* dalam Rossiana *et al.*, 2007).

Hasil penelitian menyebutkan perlakuan dengan menggunakan eceng gondok tua untuk pengolahan limbah lebih efektif dibanding perlakuan dengan menggunakan eceng gondok muda. Hal ini disebabkan oleh struktur tumbuhan eceng gondok tua mempunyai struktur akar, batang, dan daun yang lebih besar sehingga penyerapan terhadap kandungan amonia juga tentunya lebih besar (Zaman dan Sutrisno, 2006). Menurut Suhermanto (2012), eceng gondok mampu menurunkan nilai TSS limbah tahu sebesar 56,37%, BOD sebesar 64,06% dan penurunan nilai COD sebesar 63,87% dalam waktu 10 hari.

2.6 Bioreaktor Pengolahan Limbah Cair Kopi

Pengolahan limbah cair kopi adalah upaya yang dilakukan untuk menanggulangi pencemaran dengan menghilangkan senyawa polutan dari limbah cair kopi sehingga aman dibuang ke lingkungan. Menurut Rukmawati (2015), tahapan mekanisme kerja bioreaktor fitoremediasi pengolahan limbah cair kopi dengan sirkulasi sebagai berikut:

1. Sedimentasi

Sedimentasi pada bioreaktor dimulai ketika limbah dimasukkan ke dalam bak dan dengan adanya gravitasi terjadi pemisahan zat yang mengendap dan zat yang mengambang. Pemisahan tersebut disebabkan zat-zat yang memiliki massa jenis lebih besar dari air akan turun ke dasar bioreaktor.

2. Aktifitas kehidupan mikroorganisme dalam bioreaktor

Dalam bioreaktor pengolahan limbah terjadi aktivitas kehidupan mikroorganisme. Mikroorganisme yang berperan penting dalam degradasi limbah adalah *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*.

3. Sirkulasi dalam bioreaktor

Sirkulasi dalam bioreaktor terbentuk karena adanya sekat-sekat kaca yang diberi lubang setengah lingkaran. Lubang sirkulasi tersebut berfungsi untuk mengalirkan air limbah dari satu kompartemen ke kompartemen yang lain. Selain itu dengan adanya sirkulasi dapat mencegah stratifikasi termal dan kimia.

2.7 Sirkulasi

Aliran air dibutuhkan untuk pertumbuhan biota air. Untuk ekosistem air buatan seperti akuarium dibutuhkan sirkulasi air, karena sirkulasi air dapat meningkatkan kandungan oksigen dalam air. Sirkulasi air akan membuat air terus mengalir. Aliran air disebabkan karena adanya perbedaan tinggi, dari elevasi tinggi ke rendah atau sebaliknya. Namun untuk mengalirkan air dari elevasi rendah ke tinggi akan membutuhkan sebuah alat untuk mendorong air yaitu pompa air.

Sirkulasi air sangat penting untuk ekosistem air bumi juga di akuarium dan kolam. Untuk kebanyakan sistem, pola aliran yang baik adalah air yang bergerak lembut atau tidak bergerak cukup cepat. Aliran air dapat membantu terjadinya pertukaran gas. Aliran air dapat bergerak dari bagian bawah tangki atau kolam menuju ke atas (*up flow*) atau sebaliknya (Wood, 2015)

2.8 Debit

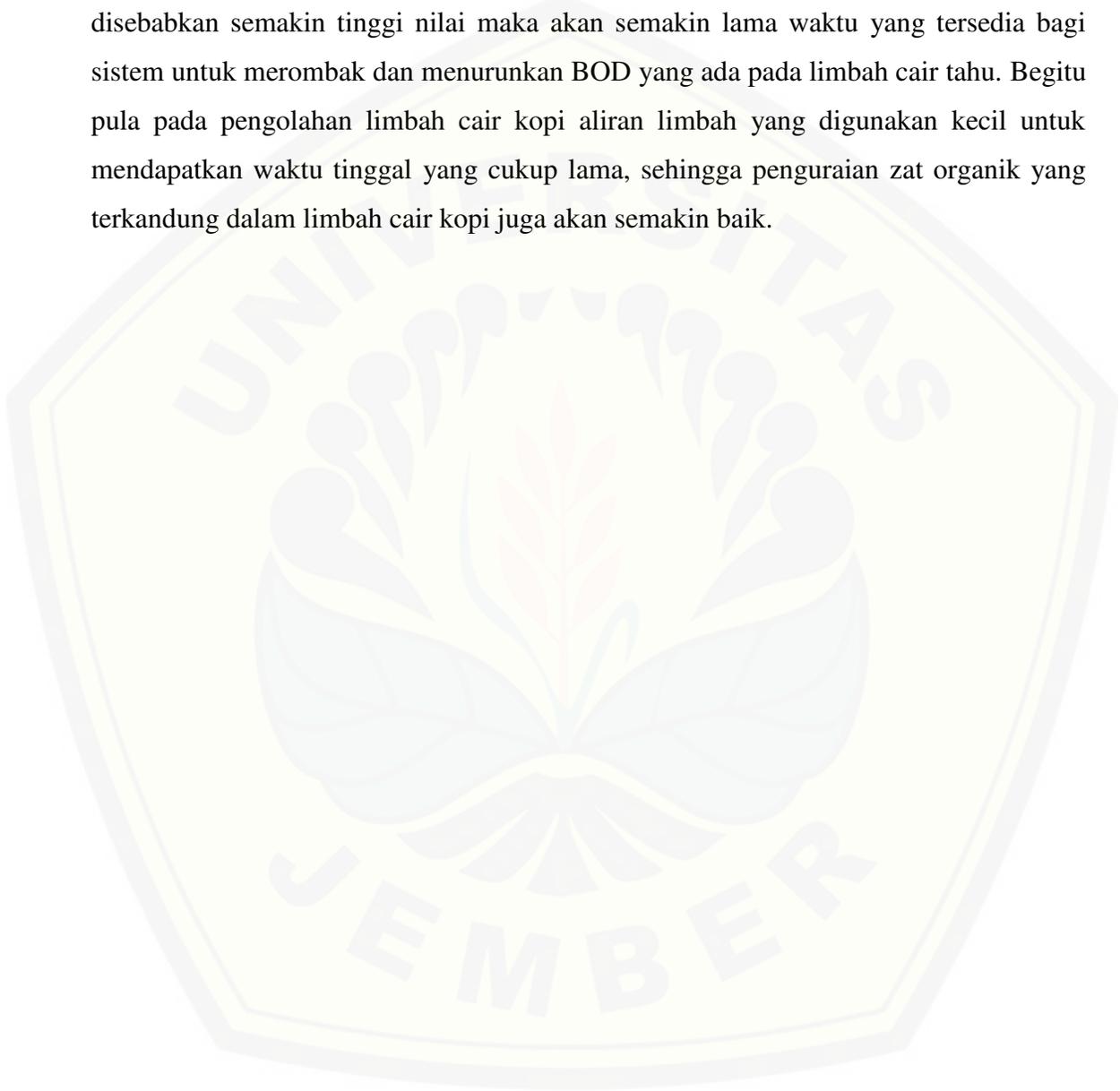
Debit adalah kecepatan aliran zat cair per satuan waktu. Debit aliran adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang per satuan waktu. Didalam satuan SI, besar debit dinyatakan dalam satuan m^3/detik . Menurut Rukmawati (2015), debit masuk berpengaruh juga terhadap waktu tinggal atau *detention time* pada bioreaktor sirkulasi serta pada parameter-parameter dalam pengolahan limbah cair kopi.

Pada pengolahan limbah cair kopi, air limbah yang tertampung dalam bak penampungan awal akan keluar melalui lubang kecil pada sisi bawah bak. Zat cair yang keluar dari lubang pada bagian bawah tangki akan mengalami aliran jatuh bebas. Kecepatan jatuhnya aliran zat cair ke bawah secara teoritis dapat dicari dengan rumus $V = \sqrt{2gh}$. Berdasarkan rumus tersebut diketahui bahwa tinggi atau volume zat cair dalam tangki juga mempengaruhi kecepatan aliran atau debitnya. Untuk menghasilkan kecepatan aliran yang diinginkan perlu besar kecilnya lubang pada bak serta ketinggian atau volume air limbah yang tertampung.

2.9 Waktu Tinggal (*Detention Time*)

Lama waktu tinggal atau *detention time* merupakan jumlah waktu atau lamanya waktu yang dibutuhkan air untuk mengalir melalui suatu proses satuan. Perubahan waktu tinggal dapat mempengaruhi aktivitas biologis zat yang ada dalam tangki. Lama waktu tinggal ditentukan dengan menghitung panjang air waktu dipertahankan dalam wadah atau periode waktu air memasuki cekungan menetap sampai mengalir keluar dari ujung lainnya

Menurut Nugrahini *et al.* (2008), waktu tinggal yang cukup lama dalam limbah cair membuat degradasi atau pengurai terhadap zat organik akan semakin baik. Lama waktu tinggal secara langsung berpengaruh nyata pada penurunan BOD, hal ini disebabkan semakin tinggi nilai maka akan semakin lama waktu yang tersedia bagi sistem untuk merombak dan menurunkan BOD yang ada pada limbah cair tahu. Begitu pula pada pengolahan limbah cair kopi aliran limbah yang digunakan kecil untuk mendapatkan waktu tinggal yang cukup lama, sehingga penguraian zat organik yang terkandung dalam limbah cair kopi juga akan semakin baik.



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juni 2015 sampai Februari 2016 di Laboratorium Kualitas Air Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember. Pengamatan dan penanaman eceng gondok dilakukan di *Greenhouse* Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember.

Sempel limbah cair kopi diambil dari Desa Sidomulyo, Kecamatan Silo, Jember. Analisa BOD, COD, NH_3 dan PO_4 dilakukan di Laboraturium Analisa Kualitas Lingkungan, Teknik Lingkungan, Institut Sepuluh November Surabaya.

3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- | | |
|-----------------------------------|-------------------|
| 1. Bioreaktor kaca (160x30x30) cm | 9. Meja kayu |
| 2. Lem kaca | 10. Saringan |
| 3. Lem PVC | 11. Jerigen 30ltr |
| 4. Bak plastik | 12. Gelas ukur |
| 5. Pompa | 13. Botol sampel |
| 6. Selang | 14. pH meter |
| 7. Pipa | 15. TDS meter |
| 8. Keran 0,5 inci | 16. Turbidimeter |

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

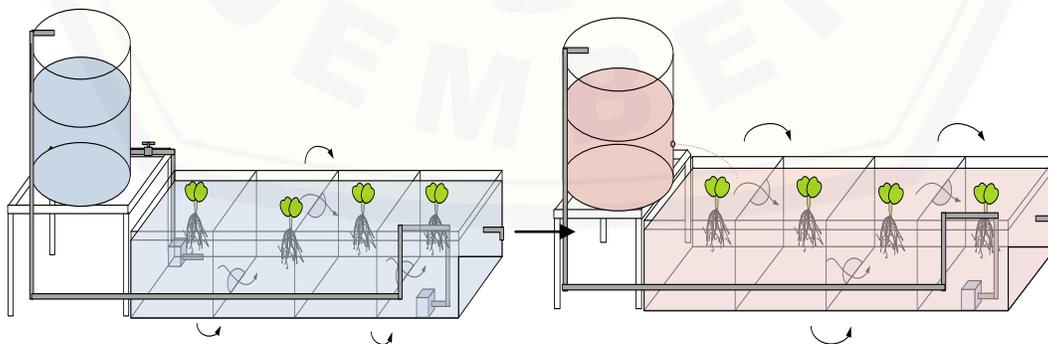
1. Limbah cair kopi
2. Eceng gondok
3. Aquades

3.3 Tahapan Penelitian

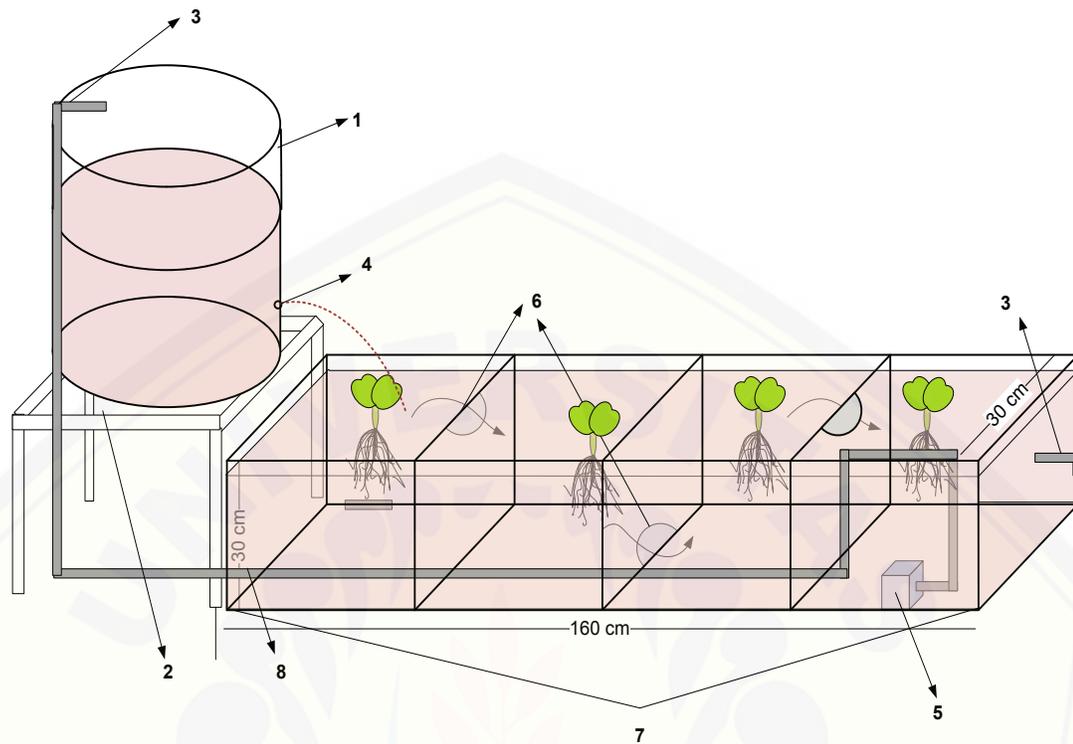
3.3.1 Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian yang dilakukan adalah dengan melakukan modifikasi alat yang akan digunakan dalam penelitian. Berdasarkan penelitian sebelumnya Bioreaktor fitoremediasi dengan sirkulasi memiliki ukuran 160 x 30 x 30 cm. Pemilihan tinggi bioreaktor 30 cm disesuaikan dengan panjang akar eceng gondok. Panjang akar eceng gondok dalam bioreaktor adalah 20 cm. Penambahan sedikit kedalaman yaitu 10 cm pada bioreaktor untuk sedimentasi dan pengendapan lumpur selama proses fitoremediasi berlangsung.

Pemberian sekat dan lubang bertujuan untuk membentuk aliran sirkulasi dalam bioreaktor. Pemberian 3 sekat berukuran 30 x 30 pada bioreaktor membuat bioreaktor terbagi menjadi 4 kompartemen. Lubang sirkulasi pada tiap sekat berbentuk setengah lingkaran dengan diameter 5 cm diberikan pada bagian bawah atau atas sekat. Menurut Rukmawati (2015), sekat pada bioreaktor pengolahan limbah kopi pada kompartemen pertama diberi lubang sirkulasi pada bagian bawah, kompartemen kedua diberi lubang sirkulasi pada bagian atas, dan kompartemen ketiga diberi lubang di bagian bawah. Modifikasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah peletakan lubang pada tiap sekat, pada sekat pertama diberi lubang pada bagian atas, sekat kedua pada bagian bawah, dan sekat ketiga pada bagian atas. Peletakan lubang tersebut agar terbentuk aliran dari bawah keatas yang lebih banyak. Aliran tersebut membuat aliran air semakin pelan sehingga semakin lama bersentuhan dengan akar eceng gondok.



Gambar 3.1 Bioreaktor Sebelum dan Sesudah Modifikasi



Gambar 3.2 Rangkaian Bioreaktor dengan Sistem *Batch* dan Sirkulasi

Keterangan:

- | | |
|---------------------------|-----------------------------|
| 1. Bak Penampung limbah | 5. Pompa |
| 2. Meja | 6. Lubang Sirkulasi |
| 3. kerankeluaran limbah | 7. Bioreaktor Fitoremediasi |
| 4. Lubang Keluaran limbah | 8. Selang |

3.3.2 Pengukuran Debit

Limbah cair kopi yang tertampung dalam bak bervolume 80 liter keluar melalui 1 lubang kecil pada sisi samping bawah bak kemudian air limbah keluar dengan aliran jatuh bebas ke dalam bioreaktor. Limbah cair kopi yang keluar dari lubang bak penampung tersebut dihitung debitnya dengan cara air limbah ditampung dalam gelas ukur dalam waktu beberapa menit sehingga didapatkan nilai volume dan waktu. Kemudian limbah cair mulai mengisi bioreaktor hingga terisi penuh dan dilakukan perhitungan lama waktu tinggal. Diketahui bahwa semakin kecil debit maka nilai waktu

tinggal akan semakin besar. Setelah diketahui lama waktu tinggal kemudian limbah pada kompartemen terakhir dipompa menuju bak penampung, untuk membentuk aliran sirkulasi. Nilai debit tersebut dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$Q = \frac{v}{t} \dots \dots \dots (3. 1)$$

Keterangan : Q = debit (ml/detik)

v = volume (ml)

t = waktu (detik)

Nilai debit yang digunakan dalam penelitian ini ditampilkan pada **Table 3.1** berikut:

Tabel 3.1 Perlakuan Debit Pada Bioreaktor Pengolahan Limbah Cair Kopi

Perlakuan	Debit
Q ₁	3,1 ml/detik
Q ₂	4,8 ml/detik
Q ₃	5,6 ml/detik

Sumber : Data Primer (diolah 2015)

Berdasarkan **Tabel 3.1** di atas penelitian ini menggunakan 3 variasi debit yaitu Q₁, Q₂, dan Q₃. Debit – debit yang digunakan tersebut merupakan debit yang sangat kecil, hal tersebut bertujuan untuk menghasilkan nilai waktu tinggal (*detention time*) yang lama. Pemilihan debit – debit tersebut berdasarkan pada penelitian Rukmawati (2015) yang menggunakan debit terkecil yaitu 10 ml/detik.

3.3.3 Penanaman Eceng Gondok

Eceng gondok yang dipilih adalah eceng gondok yang memiliki panjang akar 20 cm. Sebelum ditanam pada bioreaktor eceng gondok ditimbang terlebih dahulu. Menurut Rahmah (2014), berat eceng gondok yang optimal dalam menurunkan limbah adalah 300 g/10 ltr. Eceng gondok ditanam pada tiap kompartemen bioreaktor yang telah terisi limbah cair kopi. Penanaman dilakukan setelah limbah cair mengisi setengah bagian kompartemen pada bioreaktor hal tersebut ditujukan agar tidak terjadi limpasan air yang terlalu besar menuju kompartemen selanjutnya. Limpasan air yang terlalu besar akan mempengaruhi kekeruhan pada kompartemen dikarenakan endapan pada kompartemen tersebut akan pecah dan terbawa pada kompartemen selanjutnya.

3.3.4 Penelitian Utama

Penelitian utama meliputi pengamatan pengaruh penggunaan sistem *batch* dan sirkulasi pada bioreaktor fitoremediasi dengan variasi debit terhadap efisiensi penurunan kandungan limbah cair kopi. Selain itu juga untuk mengetahui debit dan waktu tinggal tepat dalam proses fitoremediasi dengan sirkulasi. Menurut Rukmawati (2015), semakin lama waktu tinggal / semakin kecil debit maka semakin tinggi penurunan parameter COD, BOD dan $\text{NH}_3\text{-N}$ dan debit kecil yang digunakan adalah 10 ml/detik. Dalam penelitian ini perlakuan yang digunakan adalah dengan memberikan debit yang lebih kecil dari penelitian sebelumnya atau lebih kecil dari 10 ml/detik. Penelitian ini menggunakan 3 perlakuan pemberian debit yaitu Q_1 , Q_2 dan Q_3 . Pengamatan yang dilakukan antara lain pengamatan harian meliputi suhu, pH, TDS dan kekeruhan. Untuk pengamatan awal dan akhir adalah suhu, pH, turiditas, TDS, COD, BOD, NH_3 dan PO_4 .

3.3.5 Pengukuran Parameter

Pengukuran nilai pH limbah cair kopi dilakukan dengan menggunakan alat pH meter. Pengukuran nilai pH dilakukan pada tiap kompartemen. Cara penggunaan pH meter untuk mengukur limbah cair kopi sebagai berikut.

- a. pH meter dinyalakan kemudian dimasukkan pada kompartemen pertama bioreaktor limbah cair kopi.
- b. Nilai pH pada alat akan berubah-ubah. Menunggu hingga angka pada alat berhenti/ tidak berubah lagi, dan itulah nilai pH limbah cair kopi.
- c. pH meter dimatikan, cuci bagian probe dengan aquades dan bersihkan hingga kering.
- d. Pengukuran dilanjutkan pada tiap kompartemen.

Pengukuran nilai TDS dan suhu limbah cair kopi diukur dengan menggunakan TDS meter. Pengukuran nilai TDS dan suhu dilakukan pada tiap kompartemen. Cara pengukuran nilai suhu dan TDS dengan TDS meter sebagai berikut.

- a. TDS meter dinyalakan dan dimasukkan pada kompartemen pertama bioreaktor limbah cair kopi.

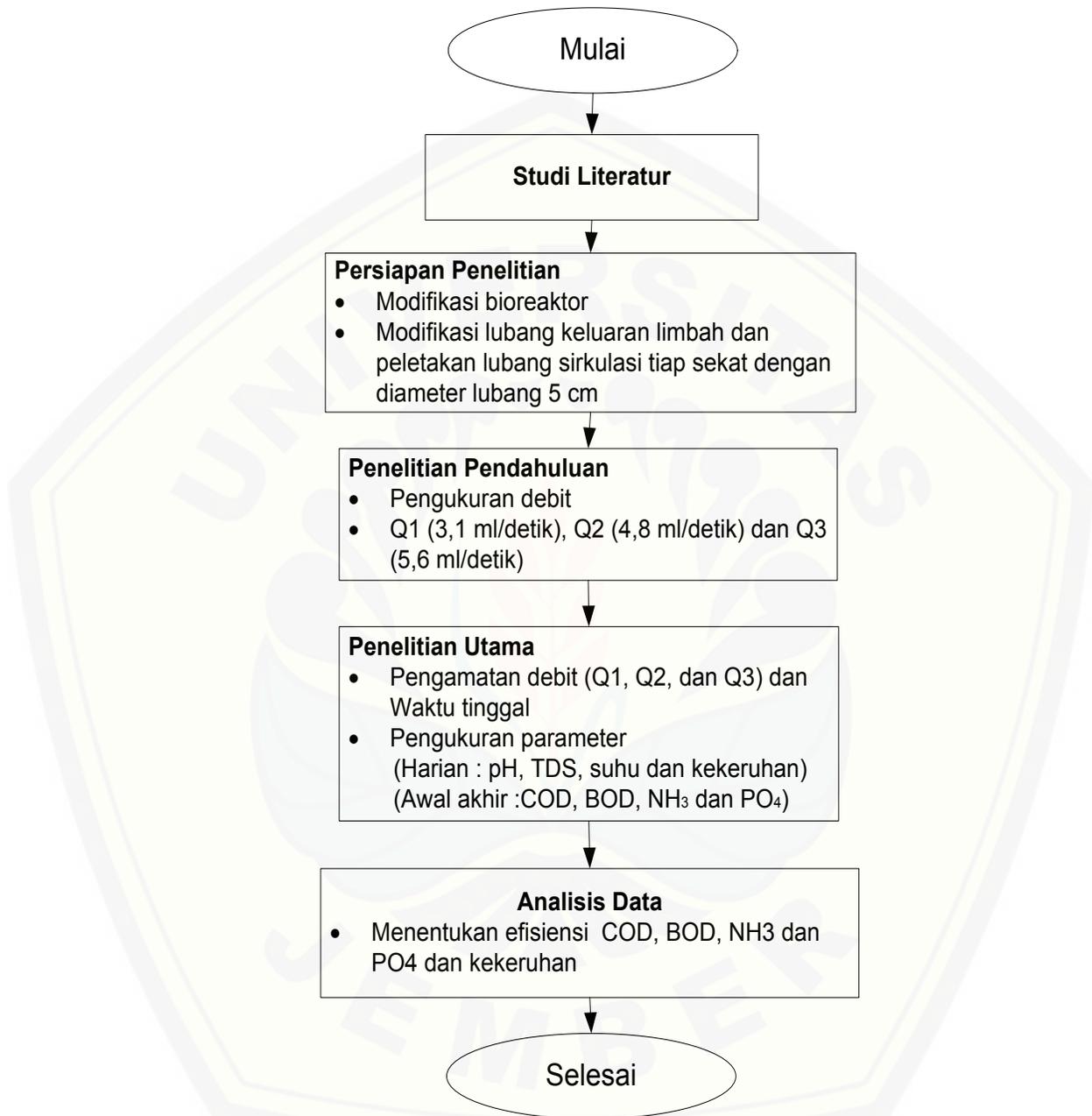
- b. Nilai suhu dan TDS dilakukan pembacaan pada layar TDS meter ketika simbol clock pada pojok atas layar TDS meter hilang.
- c. TDS meter dimatikan, cuci bagian probe dengan aquades dan bersihkan hingga kering.
- d. Pengukuran dilanjutkan pada tiap kompartemen.

Pengukuran nilai kekeruhan limbah cair kopi diukur dengan menggunakan *turbidimeter*. Pengukuran nilai kekeruhan dilakukan pada tiap kompartemen dengan 2 kali pengambilan sampel pada tiap kompartemennya. Cara pengukuran nilai kekeruhan menggunakan *turbidimeter* sebagai berikut.

- a. Sampel limbah cair kopi diambil pada kompartemen pertama bioreaktor.
- b. limbah cair kopi dimasukkan ke dalam cuvet hingga batas yang ada pada cuvet tersebut.
- c. Alat dinyalakan dan masukkan cuvet yang telah terisi limbah cair kopi ke dalam alat *turbidimeter*.
- d. Tombol “READ” pada *turbidimeter* ditekan, kemudia baca nilai kekeruhan yang muncul alat
- e. Pengukuran dilanjutkan pada tiap kompartemen.

Pengukuran BOD, COD, N dan P dilakukan di Laboraturium Lingkungan dan Rekayasa Proses, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya. Pengukuran BOD adalah untuk mengetahui banyaknya oksigen yang dibutuhkan bakteri untuk menguraikan (mengoksidasi) zat yang organik yang ada pada limbah cair kopi. Begitu juga dengan COD, COD merupakan salah satu indicator pencemaran. Pengukuran tersebut bertujuan untuk mengetahui jumlah kandungan oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan zat organik pada limbah cair kopi secara kimiawi. Pengukuran N dan P bertujuan untuk mengetahui kandungan nitrogen dan phospat yang ada pada limbah cair kopi tersebut. Limbah yang digunakan untuk mengukur nilai COD, BOD, N dan P adalah limbah yang keluar dari keran yang berada pada kompartemen 4.

3.3.6 Diagram Penelitian



Gambar 3.3 Diagram Penelitian Proses Pengolahan Limbah Cair Kopi

3.3.7 Analisis Data

Data yang dianalisis dalam penelitian ini adalah data hasil pengamatan yaitu pH, COD, BOD, NH₃, PO₄, TDS, dan kekeruhan. Data hasil pengamatan tersebut diolah menggunakan program excel kemudian dihitung nilai efisiensi penurunannya. Untuk mengetahui perlakuan terbaik juga dilakukan analisis nilai debit yang tepat. Analisis perlakuan terbaik dilakukan dengan cara menghitung nilai rata-rata efisiensi penurunan dari nilai COD, BOD, NH₃, PO₄ dan kekeruhan.

Nilai efisiensi penurunan atau efisiensi dapat diukur menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Eff} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\% \dots\dots\dots (3. 2)$$

Keterangan: Eff = Nilai efisiensi

C₀ = Nilai parameter awal pada limbah

C₁ = nilai parameter akhir pada limbah

Selain itu juga dilakukan analisis deskriptif, yang dilakukan dengan memaparkan mengenai perhitungan waktu tinggal atau *detention Time* yang ditampilkan dalam bentuk tabel. Setelah itu juga dilakukan penjelasan mengenai penggambaran grafik berdasarkan data yang telah didapatkan yaitu nilai suhu, pH, COD, BOD, NH₃, PO₄, TDS, dan kekeruhan yang telah diolah dengan program excel.

Data yang diambil dan dianalisis pada saat penelitian adalah sebagai berikut.

Tabel 3.2 Analisis Data pada Penelitian

No	Analisis Awal dan Akhir	Analisis Harian
1	Suhu	Suhu
2	pH	pH
3	Kekeruhan	Kekeruhan
4	TDS	TDS
5	COD	
6	BOD	
7	NH ₃	
8	PO ₄	

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, dapat diperoleh kesimpulan antara lain sebagai berikut.

1. Lama waktu tinggal dalam proses pengolahan limbah cair kopi menggunakan eceng gondok dengan sistem batch dan sirkulasi berturut-turut adalah 11 jam 10 menit (670 menit); 9 jam 18 menit (558 menit); dan 7 jam 15 menit (435 menit) serta dapat menurunkan nilai parameter-parameter air limbah, dengan nilai efisiensi penurunan yaitu (COD) 57,81%; BOD (57,94%); NH_3 (72,14%); PO_4 (59,49 %); dan kekeruhan (73,30%).
2. Perlakuan terbaik dalam proses pengolahan limbah cair kopi menggunakan eceng gondok dengan sistem *batch* dan sirkulasi yaitu pada perlakuan Q_3 . Perlakuan Q_3 merupakan perlakuan dengan debit terbesar atau waktu tinggal paling kecil. Berdasarkan penelitian ini dan sebelumnya pengolahan limbah cair dengan menggunakan aliran sirkulasi akan menghasilkan penurunan konsentrasi polutan lebih baik jika menggunakan debit kurang dari 18,93 ml/detik dan lebih dari 5,6 ml/detik atau lama waktu tinggal lebih dari 113 menit dan kurang dari 435 menit.

5.2 Saran

Untuk jenis limbah yang memiliki nilai COD dan BOD sangat tinggi lebih cocok jika menggunakan metode pengolahan limbah secara anaerob. Untuk jenis limbah yang memiliki pH rendah perlu adanya penambahan kapur untuk meningkatkan pH sebelum dilakukan proses pengolahan dengan menggunakan tanaman. Selain itu untuk pengolahan limbah menggunakan sirkulasi perlu mempertimbangkan ketinggian air limbah dalam bak penampung untuk mendapatkan debit yang konstan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggriawan, D., Arisya, Y., dan Hanifah, H. 2013. Oksigen Terlarut. Tidak Diterbitkan. Laporan Penelitian. Bandung: Universitas Padjajaran.
- Anwar. 2005. Laju Produksi Biogas pada Proses Pengolahan Limbah Cair Tahu dengan Menggunakan Anaerobik *Baffled Reactor (ABR)*. FTP UGM. Yogyakarta
- Bahri, A.F. 2010. Analisis Kandungan Nitrat dan Fosfat pada Sedimen Mangrove yang Termanfaatkan di Kecamatan. Mallusetasi Kabupaten. Barru. Tidak Diterbitkan. Laporan Penelitian. Sumatra Selatan
- Dhokhikah, Y. 2007. Pengolahan Air Bekas Domestik dengan Sistem Constructed Wetland untuk Menurunkan COD dan Deterjen (LAS). *Jurnal Teknik*. Vol
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius
- Fahrudin. 2010. *Bioteknologi Lingkungan*. Bandung: Penerbit Alfabeta
- GTZ-PPP Project. 2002. Limit Enviromental Damage by Basic Knowledge of Coffee wastewater. <http://www.venden.de/pdfs/CoffeeWasteWatertreatmentV4.pdf> [11 Februari 2016]
- Haddis, A., dan Devi, R. 2008. Effect of Influent Generated from Coffee Processing Plant on The Water Bodies and Human Healt in its Vicinity. *Journal of Hazardous Materials*. Vol 152 (1): 259-262
- Hapsari, I.N. 2014. *Pemodelan Data Car Menggunakan Logistic Regression*. Tidak Diterbitkan. Laporan Penelitian. Bandung : Institut Teknologi Bandung
- Harahap, S. 2013. Pencemaran Perairan Akibat Kadar Amoniak yang Tinggi dari Limbah Cair Industri Tempe. *Jurnal Akuatika*. Vol. IV (2): 184
- Hasyimi, W. 2013. Pengapuran dan Prinsip dalam *Aquaculture*. <http://wahidhasyimi.blogspot.co.id/2013/03/pengapuran-dan-prinsip-dalam-aquaculture.html>. [11 Mei 2016]
- Hendrizon, Y. 2012. Rancang Bangun Alat Ukur Tingkat Kekeruhan Zat Cair Berbasis Mikrokontroller At89s51 Menggunakan Sensor Fototransistor dan Penampil Lcd. *Jurnal Fisika Unand*. Vol 1(1)

- Isard, S.A., dan Gage, S.H. 2001. *Flow of Life in The Atmosphere: An Airspace Approach to Understanding Invasive Organisms*. East Lancing: Michigan State University
- Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. 2014. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 1815/MENLH/5/2014 tentang Baku Mutu Air Limbah*. Republik Indonesia: Menteri Lingkungan Hidup
- Kordi, K.M.G., dan Tancung, A.B.2007. *Pengelolaan Kualitas Air dalam Budidaya Perairan*. Jakarta: Rineka Cipta
- Kristanto, P. 2004. *Ekologi Industri*. Yogyakarta: Penerbit Andi
- Lei, L., Xiaojuan, L., dan Xingwang, Z. 2008. Ammonium Removal from Aqueous Solutions using Microwave Treated Natural Chinese Zeolite. *Jurnal Separation and Purification Technology*. Vol. 58
- Mahida, U.N. 1993. *Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri*. Jakarta: PT. Raja Grafindo Persada
- Manasika, A.P. 2015. Analisis Pengaruh Variasi Densitas Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes* (Mart.) Solm) pada Fitoremediasi Limbah Cair Kopi. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember: Universitas Jember
- Novita, E., Sri, W., dan Siswoyo, S. 2014. Teknologi Penanganan Limbah Cair untuk Mewujudkan Lingkungan Perkebunan Kopi Rakyat yang Sehat dan Berkelanjutan. Tidak Diterbitkan. *Abstrak dan Executive Summary Penelitian Strategis Nasional*. Jember: Universitas Jember
- Nugrahini, P., Habibi., dan Anita, D.S. 2008. *Penentuan Parameter Kinetika Proses Anaerobik Campuran Limbah Cair Industri Menggunakan Reaktor Up flow Anaerobic Sludge Blanked (UASB)*. Lampung: Seminar Nasional Sains dan Teknologi
- Parwaningtyas, E., Sumiyati, S., dan Sutrisno, E. 2012. Efisiensi Teknologi Fito-Biofilm dalam Penurunan Kadar Nitrogen dan Fosfat pada Limbah Domestik dengan Agen Fitotreatment Teratai (*Nymphaea, Sp*) dan Media Biofilter Bio-Ball . Semarang: Universitas Diponegoro
- Rahmah, H. 2014. *Fitoremediasi Limbah Cair Mocaf dengan Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (Eichornia Crassipes (Mart) Solms)*. Tidak diterbitkan. Skripsi. Jember: Universitas jember

- Ratnani, R.D. 2011. Pemanfaatan Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) untuk Menurunkan Kandungan COD (*Chemical Oxygen Demand*), Ph, Bau dan Warna pada Limbah Cair Tahu. *Jurnal Momentum*. Vol 7 (1): 41-47
- Rossiana, N., Supriatun, T., dan Dhahiyat, Y. 2007. *Fitoremediasi Limbah Cair dengan Eceng Gondok (Eichhornia Crassipes (Mart) Solms) dan Limbah Padat Industri Minyak Bumi dengan Sengon (Paraserianthes Falcataria L. Nielsen) Bermikoriza*. Tidak Diterbitkan. Laporan Penelitian. Bandung : FMIPA-Universitas Padjajaran.
- Rukmawati, B.S. 2015. *Perbaikan Kualitas Limbah Cair Pengolahan Kopi Menggunakan Sistem Sirkulasi pada Proses Fitoremediasi*. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember: Universitas Jember
- Said, N.I., dan Wahyono. 1999. *Teknologi Pengolahan Air Bersih dengan Proses Saringan Pasir Lambat "Up Flow"*. Jakarta: Direktorat Teknologi Lingkungan, Deputi Bidang Teknologi Informasi, Energi, Material dan Lingkungan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
- Salmin. 2005. Oksigen Terlarut (DO) dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) Sebagai Salah Satu Indikator untuk Menentukan Kualitas Perairan. *Jurnal Oseana*, vol 30 (3): 21-26
- Salt, D.E., R.D. Smith dan I. Raskin. 1998. Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology: Phytoremediation. *Annual Reviews*. USA: 501-662
- Saragih, R. 2009. *Penentuan Kadar Fosfat pada Air Umpan Recovery Boiler dengan Metode Spektrofometri UV-VIS Di PT Toba Pulp Lestari, Tbk Porsea*. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Medan: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan
- Sariadi. 2011. Pengolahan Limbah Cair Kopi dengan Metode Elektrokoagulasi secara Batch. *Jurnal Teknologi*, 11(2):72-76
- Sarwono, J. 2015. *Prosedur - Prosedur Populer Statistik untuk Mempermudah Riset Skripsi*. Jakarta: Elex Media Komputindo
- Suhermanto. 2012. *Pemanfaatan Eceng Gondok (Eichornia crassipes) dalam Menurunkan Zat Organik Air Limbah Tahu*. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Universitas Sumatra Utara

- Sulaeman, Suparta dan Eviati. 2005. *Petunjuk Teknis: Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk*. Bogor: Balai Penelitian Tanah Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian.
- Sumada, K. 2012. *Pengolahan Air Limbah secara Fisik*. Jawa Timur: Universitas Pembangunan Nasional
- Sutrisno, R.H. 2011. Peningkatan Keamanan Pengolahan Kopi Biji secara Semi Basah dengan Perlakuan Anaerob. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember: Universitas Jember
- Tusepu, R. 2012. Laju Penurunan Logam Berat Plumbum (Pb) dan Cadmium (Cd) oleh *Eichornia Crassipes* dan *Cyperus Papyrus*. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*. Vol 19 (1): 37-45
- Widyaningsih, V. 2011. *Pengolahan Limbah Cair Kantin Yongma Fisip UI*. Tidak diterbitkan. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia
- Wright, A.D. and M.F. Purcell. 1995. *Eichhornia crassipes* (Mart) Solms-Laubach. In Groves, R.H., R.C.H. Sheperd and R.G. Richardson (Eds.). *The Biology of Australian Weeds*. Volume 1. R.G. and F.J. Richardson, Melbourne
- Wood, J. 2015. *Optimizing an Aquarium's Water Flow*. Hawaii: Institute of Marine Biology
- World Health Organization. 1996. Health Criteria and Other Supporting Information . Geneva: *Originally published in Guidelines for drinking-water quality*, 2nd ed. Vol. 2.
- Yuliastini, S.M., Hasanudin, U., dan Suroso, E. 2014. Kajian Seleksi Sumber Mikroorganisme Pembentuk Biogas dari Air Limbah Industri Sagu. *Jurnal Teknologi Industri dan Hasil Pertanian*. Vol 19 (2): 153
- Yusnandar, M.E. 1999. *Penggunaan Fungsi 'Proc GLM' pada SAS (Statistical Analysis System) dalam Menganalisa Data*. Bogor: Balai Penelitian Ternak
- Zaman, B., dan Sutrisno, E. 2006. Kemampuan Penyerapan Eceng Gondok terhadap Amoniak dalam Limbah Rumah Sakit Berdasarkan Umur dan Lama Kontak (*Studi Kasus: Rs Panti Wilasa, Semarang*). *Jurnal Presipitasi*. Vol 1 (1): 51-53

LAMPIRAN A. KARAKTERISTIK LIMBAH CAIR KOPI SEBELUM PERLAKUAN

A.1 Tabel Karakteristik Limbah Cair Kopi Sebelum Perlakuan (Q₁)

No	Parameter Pengukuran	Nilai	Satuan
1	COD	3200	mg/l
2	BOD	2021	mg/l
3	N	45,01	mg/l
4	P	13,4	mg/l
5	pH	3,9	
6	Kekeruhan	821	NTU
7	TDS	342	mg/l

A.2 Tabel Karakteristik Limbah Cair Kopi Sebelum Perlakuan (Q₂)

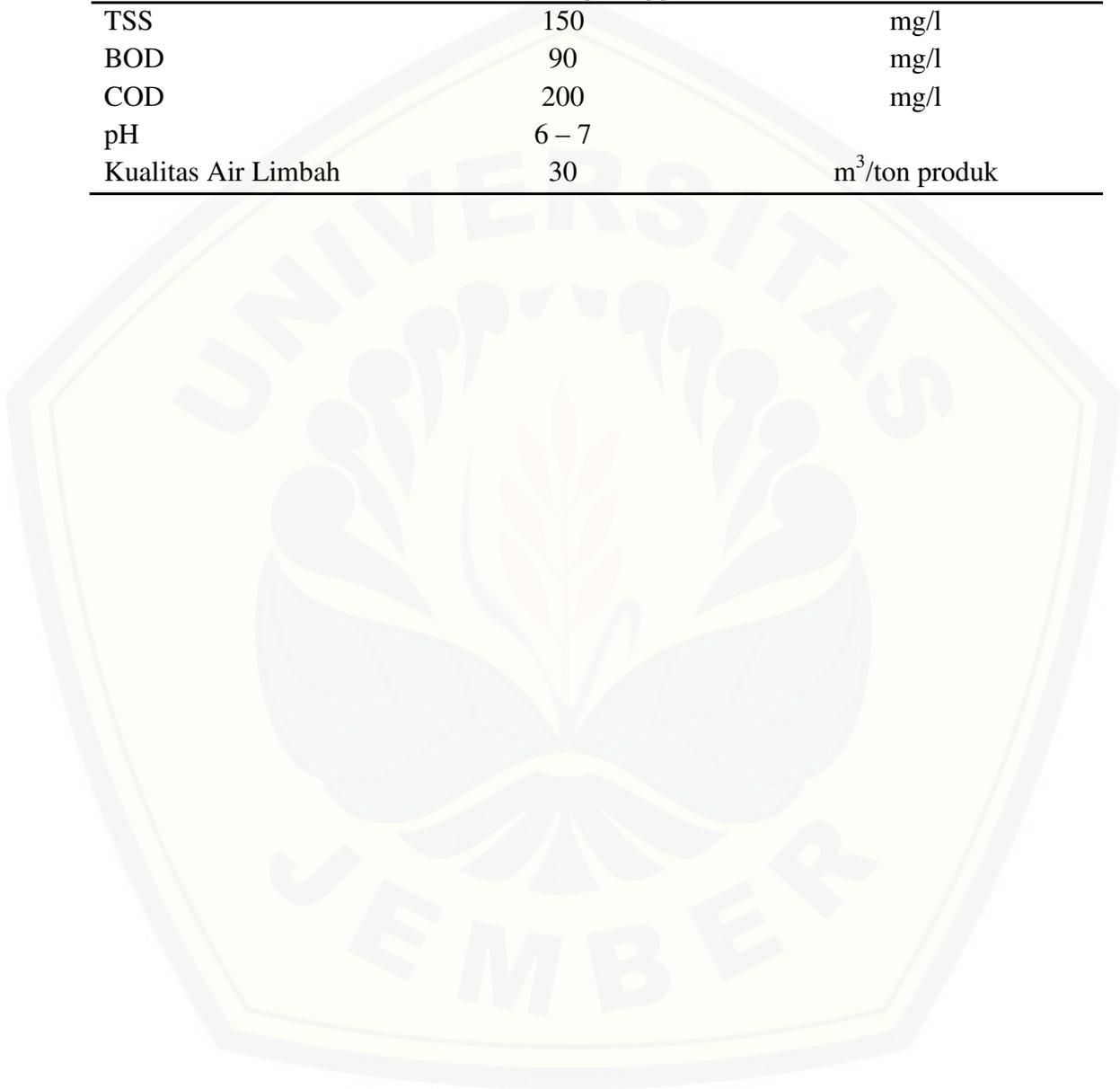
No	Parameter Pengukuran	Nilai	Satuan
1	COD	2114	mg/l
2	BOD	1330	mg/l
3	N	130,91	mg/l
4	P	10,8	mg/l
5	pH	4	
6	Kekeruhan	352	NTU
7	TDS	355	mg/l

A.3 Tabel Karakteristik Limbah Cair Kopi Sebelum Perlakuan (Q₃)

No	Parameter Pengukuran	Nilai	Satuan
1	COD	3278	mg/l
2	BOD	2060	mg/l
3	N	151,28	mg/l
4	P	25,35	mg/l
5	pH	4,8	
6	Kekeruhan	847	NTU
7	TDS	346	mg/l

A.4 Baku Mutu Kualitas Air Limbah Cair Pengolahan Kopi Menurut Kementerian Republik Indonesia Tahun 2014

Parameter	Kadar Paling Tinggi	Satuan
TSS	150	mg/l
BOD	90	mg/l
COD	200	mg/l
pH	6 – 7	
Kualitas Air Limbah	30	m ³ /ton produk



**LAMPIRAN B. PENGUKURAN DEBIT DAN WAKTU TINGGAL
(DETENTION TIME)**

B.1 Tabel Nilai Pengukuran Debit dan Waktu Tinggal (Q₁)

Pengulangan	Debit (ml/detik)	Rata-rata debit (ml/detik)	Waktu Tinggal	Waktu Tinggal (menit)
1	3,23	3,1	11 jam 10 menit	670
2	2,94			

B.2 Tabel Nilai Pengukuran Debit dan Waktu Tinggal (Q₂)

Pengulangan	Debit (ml/detik)	Rata-rata debit (ml/detik)	Waktu Tinggal	Waktu Tinggal (menit)
1	4,65	4,8	9 jam 18 menit	558
2	4,87			

B.3 Tabel Nilai Pengukuran Debit dan Waktu Tinggal (Q₃)

Pengulangan	Debit (ml/detik)	Rata-rata debit (ml/detik)	Waktu Tinggal	Waktu Tinggal (menit)
1	6,25	5,6	7 jam 15 menit	435
2	5			

LAMPIRAN C. DATA PENGUKURAN COD

Debit	Awal (mg/l)	Akhir (mg/l)	Pengurangan (mg/l)	Efisiensi penurunan COD (%)
Q1	3200	1350	1850	57,81
Q2	2114	1250	864	40,87
Q3	3278	1483	1795	54,76

Perhitungan Nilai Efisiensi penurunan atau efisiensi:

Rumus :

$$\text{Eff} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

Keterangan: Eff = Nilai efisiensi

C_0 = Nilai parameter awal pada limbah

C_1 = nilai parameter akhir pada limbah

Perlakuan Q1

$$\frac{3200 - 1350}{3200} \times 100\% = 57,81 \%$$

Perlakuan Q2

$$\frac{2114 - 1250}{2114} \times 100\% = 40,87 \%$$

Perlakuan Q3

$$\frac{3278 - 1483}{3278} \times 100\% = 54,76 \%$$

LAMPIRAN D. DATA PENGUKURAN BOD

Debit	Awal (mg/l)	Akhir (mg/l)	Pengurangan (mg/l)	Efisiensi penurunan BOD (%)
Q1	2021	850	1171	57,94
Q2	1330	788	542	40,75
Q3	2060	930	1130	54,85

Perhitungan Nilai Efisiensi penurunan atau Efisiensi:

Rumus :

$$\text{Eff} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

Keterangan: Eff = Nilai efisiensi

C_0 = Nilai parameter awal pada limbah

C_1 = nilai parameter akhir pada limbah

Perlakuan Q1

$$\frac{2021 - 850}{2021} \times 100\% = 57,94 \%$$

Perlakuan Q2

$$\frac{1330 - 788}{1330} \times 100\% = 40,75 \%$$

Perlakuan Q3

$$\frac{2060 - 930}{2060} \times 100\% = 54,85 \%$$

LAMPIRAN E. DATA PENGUKURAN AMONIA (NH₃) PADA N

Debit	Awal (mg/l)	Akhir (mg/l)	Pengurangan (mg/l)	Efisiensi penurunan(%)
Q1	45,01	46,11	-1,1	-2,44
Q2	130,91	36,47	94,44	72,14
Q3	151,28	110,71	40,57	26,82

Perhitungan Nilai Efisiensi penurunan atau Efisiensi:

Rumus :

$$\text{Eff} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

Keterangan: Eff = Nilai efisiensi

C₀ = Nilai parameter awal pada limbah

C₁ = nilai parameter akhir pada limbah

Perlakuan Q2

$$\frac{45,01 - 46,11}{45,01} \times 100\% = -2,44 \%$$

Perlakuan Q3

$$\frac{130,91 - 36,47}{130,91} \times 100\% = 72,14 \%$$

Perlakuan Q4

$$\frac{151,28 - 110,71}{151,28} \times 100\% = 26,82 \%$$

LAMPIRAN F. DATA PENGUKURAN FOSFAT (PO₄) PADA P

Debit	Awal (mg/l)	Akhir (mg/l)	Pengurangan (mg/l)	Efisiensi penurunan (%)
Q1	13,4	8,26	5,14	38,36
Q2	10,8	7,04	3,76	34,81
Q3	25,35	10,27	15,08	59,49

Perhitungan Nilai Efisiensi penurunan atau Efisiensi:

Rumus :

$$\text{Eff} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

Keterangan: Eff = Nilai efisiensi

C₀ = Nilai parameter awal pada limbah

C₁ = nilai parameter akhir pada limbah

Perlakuan Q2

$$\frac{13,4 - 8,26}{13,4} \times 100\% = 38,36 \%$$

Perlakuan Q3

$$\frac{10,8 - 7,04}{10,8} \times 100\% = 34,81 \%$$

Perlakuan Q4

$$\frac{25,35 - 10,27}{25,35} \times 100\% = 59,49 \%$$

LAMPIRAN G. PENGUKURAN pH**G.1 Tabel Nilai Pengukuran pH (Q₁)**

hari	Kompartemen pada Bioreaktor				Rata-Rata
	1	2	3	4	
1	4	3,9	4	4	3,975
2	4,2	4,3	4,2	4,3	4,25
3	4,7	4,8	4,7	4,8	4,75
4	4,8	4,8	4,7	4,4	4,675
5	5,1	5	5,3	6,7	5,525
6	5,6	5,6	5,3	5,5	5,5
7	5,6	5,7	5,3	5,8	5,6

G.2 Tabel Nilai Pengukuran pH (Q₂)

hari	Kompartemen pada Bioreaktor				Rata-Rata
	1	2	3	4	
1	3,7	3,7	3,7	3,8	3,725
2	3,8	3,9	3,7	3,7	3,775
3	4	4	3,9	3,9	3,95
4	4,1	4,1	4,1	4	4,075
5	4,1	4,1	4,1	4	4,075
6	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
7	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2

G.3 Tabel Nilai Pengukuran pH (Q₃)

hari	Kompartemen pada Bioreaktor				Rata-Rata
	1	2	3	4	
1	4,7	4,6	4,6	4,7	4,65
2	4,6	4,6	4,6	4,7	4,625
3	4,8	4,8	4,7	4,7	4,75
4	5,1	5,3	5,2	5	5,15
5	5,7	5,7	5,7	5,8	5,725
6	6,1	6	5,9	5,9	5,975
7	6	6,1	6,1	6	6,05

LAMPIRAN H. PENGUKURAN KEKERUHAN**H.1 Tabel Nilai Pengukuran Kekeruhan (Q_1)**

hari	Kompartemen Bioreaktor (NTU)				Rata-Rata (NTU)
	1	2	3	4	
1	182	184,5	180	186	183,125
2	142	217,5	151	154	166,125
3	154,5	142	140	174	152,625
4	195,5	154	167,5	161	169,5
5	126	126,5	127,5	132	128
6	134,5	113,5	126	119,5	123,375
7	141,5	137,5	137,5	133,5	137,5

H.2 Tabel Nilai Pengukuran Kekeruhan (Q_2)

hari	Kompartemen pada Bioreaktor (NTU)				Rata-Rata (NTU)
	1	2	3	4	
1	177	228,5	154	184,5	186
2	167	159	172	189,5	171,875
3	154,5	163	162,5	78,05	139,513
4	167	175	179,5	106,5	157
5	152,5	145	133,5	50,95	120,488
6	159	124,5	114,65	145,5	135,913
7	244	122	95,75	66,15	131,975

H.3 Tabel Nilai Pengukuran Kekeruhan (Q_3)

hari	Kompartemen Bioreaktor (NTU)				Rata-Rata (NTU)
	1	2	3	4	
1	486	542	492,5	474	498,625
2	459	447	424	418	437
3	318,5	336,5	351	329	333,75
4	317,5	360,5	358,5	331	341,875
5	352	344	320	337,5	338,375

6	404	417	381	367,5	392,375
7	285,5	290	301,5	286	290,75

Perhitungan Nilai Efisiensi penurunan atau Efisiensi:

Rumus :

$$\text{Eff} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

Keterangan: Eff = Nilai efisiensi

C_0 = Nilai parameter awal pada limbah

C_1 = nilai parameter akhir pada limbah

Perlakuan Q1

$$\frac{515 - 137,5}{515} \times 100\% = 73,30 \%$$

Perlakuan Q2

$$\frac{352 - 131,97}{325} \times 100\% = 62,51 \%$$

Perlakuan Q3

$$\frac{847 - 290,7}{847} \times 100\% = 65,68 \%$$

LAMPIRAN I. PENGUKURAN SUHU

I.1 Tabel Nilai Pengukuran Suhu (Q_1)

Hari	Komparteme n 1 °C	Komparteme n 2 °C	Komparteme n 3 °C	Komparteme n 4 °C	Rata- rata °C
h1	16,9	26,4	26,4	26,7	24,1
h2	28,3	27,7	27,1	27,9	27,75
h3	28,1	27,7	27,1	27,9	27,7
h4	22,2	23,3	21,4	21,4	22,07 5
h5	27,6	27,3	26,9	27,7	27,37 5
h6	27,7	27,5	27,1	28,3	27,65
h7	28,3	28,2	27,7	27,4	27,9

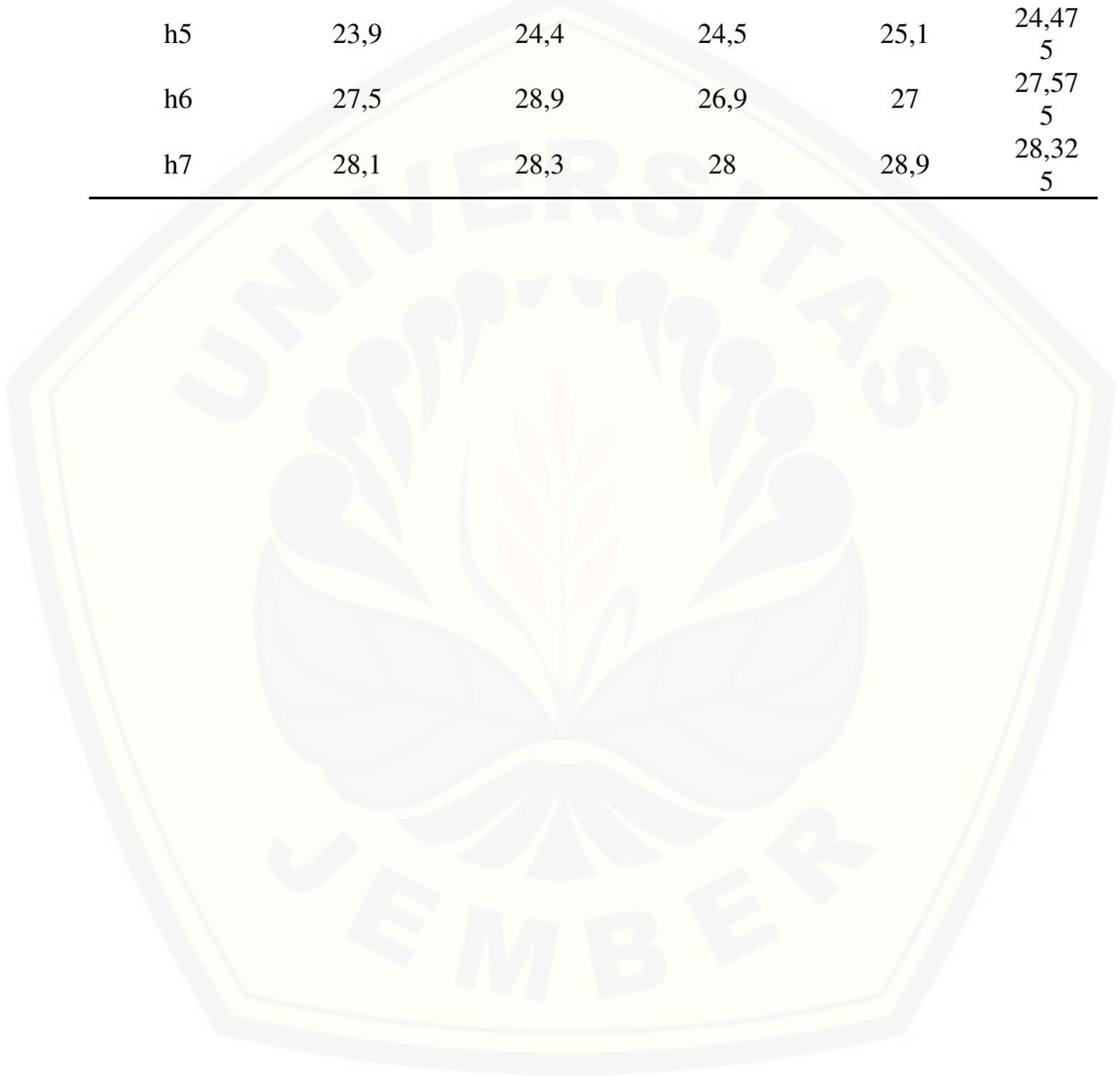
I.2 Tabel Nilai Pengukuran Suhu (Q_2)

Hari	Komparteme n 1 °C	Komparteme n 2 °C	Komparteme n 3 °C	Komparteme n 4 °C	Rata- rata °C
h1	24,7	24,6	24,8	25,5	24,9
h2	24,8	25,1	25,1	25,3	25,07 5
h3	24,9	25,4	25,7	27,2	25,8
h4	25,2	25,8	25,2	26	25,55
h5	26	26,2	26,3	27	26,37 5
h6	25,1	25,5	25,6	25,6	25,45
h7	26,1	26,1	26,2	26,2	26,15

I.3 Tabel Nilai Pengukuran Suhu (Q_3)

Hari	Komparteme n 1 °C	Komparteme n 2 °C	Komparteme n 3 °C	Komparteme n 4 °C	Rata- rata °C
h1	27,5	27,6	27	27,8	27,47 5

h2	26,3	26,5	26,3	27	26,52 5
h3	25,5	25,5	26,1	26,5	25,9
h4	26,5	26,4	26,2	26,9	26,5
h5	23,9	24,4	24,5	25,1	24,47 5
h6	27,5	28,9	26,9	27	27,57 5
h7	28,1	28,3	28	28,9	28,32 5



LAMPIRAN J. ANALISIS PERLAKUAN TERBAIK

Perlakuan	Debit (ml/detik)	Waktu Tinggal (menit)	Nilai Efisiensi penurunan (%)				
			COD	BOD	NH ₃	PO ₄	Kekeruhan
Q ₁	3,1	690	57.81	57.94	-2.44	38.36	73.30
Q ₂	4,8	558	40.87	40.75	72.14	34.81	62.51
Q ₃	5,6	435	54.76	54.85	26.82	59.49	65.68

Efisiensi penurunan Rata-Rata

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= \frac{\text{Eff COD} + \text{Eff BOD} + \text{Eff NH}_3 + \text{Eff PO}_4 + \text{Eff Kekeruhan}}{5} \\
 &= \frac{57,81 + 57,94 + (-2,44) + 38,36 + 73,3}{5} \\
 &= 44,99 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_2 &= \frac{\text{Eff COD} + \text{Eff BOD} + \text{Eff NH}_3 + \text{Eff PO}_4 + \text{Eff Kekeruhan}}{5} \\
 &= \frac{40,87 + 40,75 + 72,14 + 34,81 + 62,51}{5} \\
 &= 50,22 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_3 &= \frac{\text{Eff COD} + \text{Eff BOD} + \text{Eff NH}_3 + \text{Eff PO}_4 + \text{Eff Kekeruhan}}{5} \\
 &= \frac{54,76 + 54,85 + 26,82 + 59,49 + 65,68}{5} \\
 &= 52,32 \%
 \end{aligned}$$

LAMPIRAN K. PROSEDUR PENGUKURAN COD, BOD, NH₃ DAN PO₄

Prosedur kerja untuk pengukuran nilai BOD adalah

- Memasukkan sampel limbah cair kopi pada botol winkler tanpa udara hingga penuh.
- Menambahkan 2 ml larutan MnSO₄ 40%, dan diamkan selama beberapa menit untuk menghomogenkan larutan tersebut.
- Menambahkan 2 ml alkali iodida azida, kemudian diamkan hingga muncul endapan berwarna coklat dan pindahkan larutan ke gelas kimia kemudian kocok.
- Menambahkan 2 ml H₂SO₄ pekat hingga endapan larut, lalu mengambil 100 mL dan pindahkan larutan ke dalam erlenmeyer
- Menitrasi larutan yang terdapat di dalam erlenmeyer dengan larutan Na₂ S₂ O₃ 0,025 N.
- Menambahkan indikator amilum dan melanjutkan kembali dengan titrasi hingga warna biru hilang, kemudian catat volume titrasi.

$$\text{Perhitungan : } BOD_5 = \frac{(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)(1 - P)}{P}$$

Keterangan : BOD_5 = mg O₂/liter

X_0 = DO (oksigen terlarut) sampel pada saat t = 0 (mg O₂ /l)

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

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

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

P = derajat pengenceran

Prosedur kerja untuk pengukuran nilai COD adalah :

- Membuat blanko dengan cara menambahkan 2 ml aquades ke dalam tabung reagent HR (*Hard Range*) kemudian tutup rapat dan kocok.

- b. Kemudian untuk membuat sampel, 2 ml limbah cair kopi ditambahkan ke dalam tabung reagent HR (*Hard Range*) kemudian tutup rapat dan dikocok.
- c. Memanaskan tabung blanko dan sampel tersebut selama 2 jam dengan menggunakan COD reaktor pada suhu 150⁰ C.
- d. Kemudian setelah pemanasan selesai, tabung sampel tersebut didinginkan dalam suhu ruangan hingga mencapai suhu ruangan.
- e. Menuangkan sampel tersebut ke dalam kuvet dan kemudian melakukan pembacaan dengan spektrofotometri .

Prosedur kerja yang digunakan dalam pengukuran N total adalah sebagai berikut.

Menurut (Sulaeman *et al.*, 2005), 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. Didestruksi dan 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 ditutup 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 (Vc) dan blanko (Vb) kemudian dihitung:

$$\text{Kadar N-Total (\%)} = (Vc - Vb) \times Mr \times 100 \text{ ml/mg sampel} \times fk$$

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

Prosedur kerja yang digunakan dalam pengukuran *phospor* adalah sebagai berikut.

Larutan Ammonium Molibdate

Larutkan 25 gram $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ dalam 175 ml aquades + 280 ml H_2SO_4 pekat, encerkan dengan aquades sampai 1 liter.

2. Larutkan $SnCl_2$

Larutkan 2,5 gram $SnCl_2 \cdot H_2O$ dalam 100 ml glycerol.

3. Larutan Stock Fosfat 1 ml = 0,5 mg PO_4^{3-}

Larutkan 0,7165 gram KH_2PO_4 dalam labu 1 liter dengan aquades. Standar 200 ml stock dengan 1 liter aquades (1ml = 0,1 mg).

4. Strong Acid Solution

Campurkan 400 ml H_2SO_4 pekat dengan 4 ml HNO_3 pekat, encerkan dengan 1 liter aquades.

1. Memasukkan 50 ml sampel kemudian menambah strong acid solution 1 ml.
2. Selanjutnya sampel dipanaskan dalam ruang asam sampai volume $\frac{1}{2}$ -nya, biarkan dingin, tambahkan 20 tetes indikator phenolphthalein dan larutan NaOH sampai warna merah tambahkan aquades sampai kembali pada volume sampel.
3. Kemudian dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer sebagai berikut.
 - a. Menambahkan 2 ml larutan ammonium molibdat
 - b. Menambahkan 3 tetes larutan $SnCl_2$ dalam glycerol
 - c. Mengkocok dan membiarkan selama 10 menit
 - d. Membaca absorbansinya pada spektrofotometer dengan γ 650.
 - e. Membaca hasil pembacaan spektrofotometer pada hasil kalibrasi atau kurva kalibrasi.

LAMPIRAN L. DOKUMENTASI



Pengambilan Limbah bioreaktor



Panjang Akar eceng gondok



Debit dari Bak ke



pH meter



Kondisi Awal Perlakuan



Kondisi Akhir Perlakuan