



**PERBAIKAN KUALITAS LIMBAH CAIR PENGOLAHAN
KOPI MENGGUNAKAN SISTEM SIRKULASI PADA
PROSES FITOREMEDIASI**

SKRIPSI

Oleh:

**Betty Siska Rukmawati
NIM 111710201026**

**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS JEMBER
2015**



**PERBAIKAN KUALITAS LIMBAH CAIR PENGOLAHAN
KOPI MENGGUNAKAN SISTEM SIRKULASI PADA
PROSES FITOREMEDIASI**

SKRIPSI

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

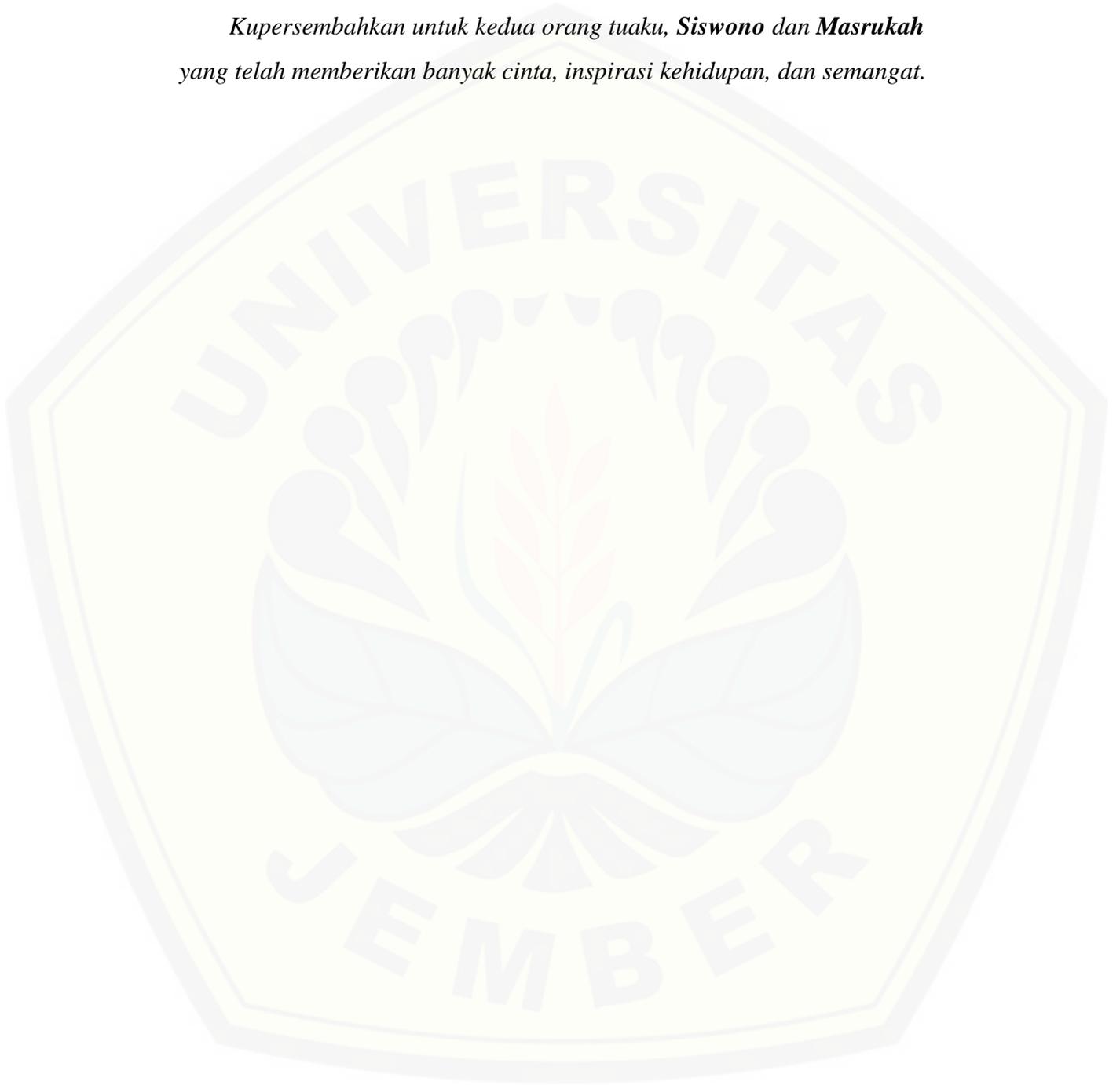
Oleh

Betty Siska Rukmawati
NIM 111710201026

**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS JEMBER
2015**

PERSEMBAHAN

*Kupersembahkan untuk kedua orang tuaku, **Siswono dan Masrukah** yang telah memberikan banyak cinta, inspirasi kehidupan, dan semangat.*



MOTO

Barangsiapa yang membawa kebaikan, maka ia memperoleh (balasan) yang lebih baik daripadanya, sedang mereka itu adalah orang-orang yang aman tentram dari kejutan yang dasyat pada hari itu.
(Al-Qasas: 89)^{*}

Atau

Pekerjaan besar tidak dihasilkan dari kekuatan melainkan oleh ketekunan
(Samuel Johnson)

Atau

The future belongs to those who believe in the beauty of their
dreams
(Eleanor Roosevelt)

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

PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Betty Siska Rukmawati

NIM : 111710201026

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “**Perbaikan Kualitas Limbah Cair Pengolahan Kopi Menggunakan Sistem Sirkulasi pada Proses Fitoremediasi**” adalah benar - benar hasil karya sendiri, kecuali dalam 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. 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 mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 6 Mei 2015

Yang menyatakan,

Betty Siska Rukmawati
NIM 111710201026

SKRIPSI

**PERBAIKAN KUALITAS LIMBAH CAIR PENGOLAHAN
KOPI MENGGUNAKAN SISTEM SIRKULASI PADA
PROSES FITOREMEDIASI**

Oleh

Betty Siska Rukmawati
NIM 111710201026

Pembimbing:

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

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Perbaikan Kualitas Limbah Cair Pengolahan Kopi Menggunakan Sistem Sirkulasi Pada Proses Fitoremediasi” telah diuji dan disahkan pada:

hari : Rabu

tanggal : 6 Mei 2015

tempat : Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua

Anggota

Ir. Muharjo Pudjojono
NIP. 195206281980031002

Dr. Hidayat Teguh Wiyono M.Pd.
NIP.195805281988021002

Mengesahkan

Dekan,

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

SUMMARY

Quality Improvement of Coffee Wastewater Using Circulation System on Phytoremediation Process; Betty Siska Rukmawati, 111710201026; 2015: 85 pages; Department Of Agricultural Engineering Faculty Of Agricultural Technology University Of Jember.

Water in coffee wet processing causes the wastewater if discarded into waterbody or the environment may cause the pollution. So that the necessary to treatment the wastewater before being dumped in the water. One of the wastewater treatment that done is phytoremediation. Study about flow rate on phytoremediation wastewater treatment is indispensable for minimised the diversity of flow rate

The purpose of this research is conducting a study of the flow rate by giving the circulation in the aquarium water hyacinth to reduce the content of COD, BOD, turbidity, TSS, nitrogen and phosphate coffee wastewater and knowing the value of Hydraulic Retention Time (HRT) required wastewater to pass through holes in the circulation of the aquarium with the variation of debit.

This research uses the phytoremediation aquarium coffee wastewater with dimensions of length 160 cm, width 30 cm high and 30 cm with hole semicircular circulation as a medium to conduct a study of the flow rate. In addition some variation of debit used to determine the influence of the circulation flow on phytoremediation process to decrease the content of pollutants in the coffee wastewater. This research takes place during seven days by measuring water quality at the beginning and end of treatment as well as measurements per day for seven days.

The work mechanism of aquarium phytoremediation coffee wastewater with the circulation is sedimentation, the influence of microorganisms life activity and circulation in the aquarium. Variation of discharge does have an impact on the value of the aquarium, as well as HRT effect on decreasing some of the parameters of the polluters.

The value of the highest decline in COD and BOD is on HRT 8 hours 31 minutes 50 seconds with the number of successive decline in COD and BOD is 6250 mg/L and mg/L 4.056. Decline in the value of the content of the COD and BOD is high on the retention time of 8 hours 31 minutes 50 seconds is suspected because the longer the HRT then the number of deposits of COD and BOD are absorbed by the roots of water hyacinth more.

Value decrease of ammonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) highest is 168, 85 mg/l i.e. at time of discharge Q_B . While the lowest loss rate was 8.75 mg/l i.e. at a time when treatment of the Q_C . On the contrary, the increase occurred in the value of phosphate (PO_4) at time of discharge Q_A and Q_B . Increase the value of phosphate (PO_4) at the end of this treatment was allegedly due to phosphate are dissolved in the waste caused by temperature, pH and water hyacinth plants decay.

The value of efficiency decrease TSS on each discharge Q_A , Q_B , Q_C and Q_D row is 35,67%; 41,84%; 57,80%; 58,44%. Decline of the TSS occurred because the roots of water hyacinth roots absorb contaminants through a natural process, one that attracts contaminants into the roots, where there are microbes that serve to eliminate hazardous materials.

The pH value of the coffee wastewater after the treatment changed from neutral to acid which amounted to 6,8; 7,8; 7, 9; 8, 22. The pH value is accordance with a defined quality standard established by the decision of governors No. 72 of 2013 in the amount of 6,0 to 9,0. Provision of circulation on phytoremediation process also affects the value of pH. PH value in the Aquarium each box increase and decrease in value every day that is allegedly due to turbulence flow in the aquarium. However, at the end of treatment turbidity decreased

RINGKASAN

Perbaikan Kualitas Limbah Cair Pengolahan Kopi Menggunakan Sistem Sirkulasi pada Proses Fitoremediasi; Betty Siska Rukmawati, 111710201026; 2015: 85 halaman; Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

Air cucian pada pengolahan basah menyebabkan limbah cair yang jika dibuang ke badan air atau lingkungan dapat menyebabkan pencemaran sehingga diperlukan pengolahan limbah sebelum dibuang di perairan. Salah satu pengolahan limbah secara alami yang sering dilakukan adalah dengan fitoremediasi. Studi laju aliran pada pengolahan limbah dengan fitoremediasi diperlukan untuk meminimumkan keragaman laju aliran

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan studi laju aliran dengan memberikan sirkulasi pada akuarium eceng gondok untuk menurunkan kandungan COD, BOD, kekeruhan, TSS, nitrogen dan fosfat limbah cair kopi serta mengetahui nilai *Hydraulic Retention Time* (HRT) yang dibutuhkan limbah untuk melewati lubang sirkulasi pada akuarium dengan variasi debit yang berbeda.

Penelitian ini menggunakan akuarium fitoremediasi limbah cair kopi dengan dimensi panjang 160 cm, lebar 30 cm dan tinggi 30 cm dengan lubang sirkulasi berbentuk setengah lingkaran sebagai media untuk melakukan studi laju aliran. Selain itu digunakan beberapa variasi debit untuk mengetahui pengaruh aliran sirkulasi pada proses fitoremediasi terhadap penurunan kandungan bahan pencemar dalam limbah cair kopi. Penelitian ini berlangsung selama tujuh hari dengan mengukur kualitas air pada awal dan akhir perlakuan serta pengukuran setiap hari selama tujuh hari.

Tahapan mekanisme kerja pada akuarium fitoremediasi pengolah limbah cair kopi dengan sirkulasi meliputi tahapan sedimentasi, aktifitas kehidupan mikroorganisme dan pengaruh sirkulasi pada akuarium. Variasi debit yang dilakukan berdampak pada nilai HRT akuarium, serta berpengaruh terhadap penurunan beberapa parameter pencemar.

Nilai penurunan tertinggi COD dan BOD adalah pada HRT 8 jam 31 menit 50 detik dengan jumlah penurunan COD dan BOD berturut-turut adalah 6.250 mg/L dan 4.056 mg/L. Penurunan nilai kandungan COD dan BOD yang tinggi pada waktu tinggal 8 jam 31 menit 50 detik diduga karena semakin lama HRT maka jumlah kandungan COD dan BOD yang terserap oleh akar eceng gondok lebih banyak.

Nilai penurunan amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) tertinggi adalah 168,85 mg/l yaitu pada saat debit Q_B . Sedangkan nilai penurunan terendah adalah 8,75 mg/l yaitu pada saat perlakuan Q_C . Sebaliknya, kenaikan terjadi pada nilai fosfat (PO_4) pada saat debit Q_A dan Q_B . Kenaikan nilai fosfat (PO_4) pada akhir perlakuan ini diduga karena adanya fosfat yang terlarut dalam limbah yang disebabkan oleh suhu, pH serta pembusukan tanaman eceng gondok.

Nilai efisiensi penurunan TSS pada masing-masing debit Q_A , Q_B , Q_C , dan Q_D berturut-turut adalah 35,67%; 41,84%; 57,80%; 58,44%. Penurunan TSS tersebut terjadi karena akar-akar eceng gondok menyerap kontaminan melalui proses alami salah satunya yaitu menarik kontaminan ke dalam akar, dimana terdapat mikroba yang berfungsi untuk menghilangkan bahan berbahaya.

Nilai pH limbah cair kopi setelah perlakuan berubah dari asam menjadi netral yaitu sebesar 6,8; 7,8; 7,9; 8,2. Nilai pH tersebut sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan berdasarkan keputusan gubernur no 72 tahun 2013 yaitu sebesar 6,0-9,0. Pemberian sirkulasi pada proses fitoremediasi juga berpengaruh terhadap nilai pH. Nilai pH pada setiap kotak akuarium mengalami kenaikan dan penurunan nilai setiap harinya yang diduga karena adanya aliran turbulensi didalam akuarium. Namun, pada akhir perlakuan kekeruhan mengalami penurunan.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Perbaikan Kualitas Limbah Cair Pengolahan Kopi Menggunakan Sistem Sirkulasi pada Proses Fitoremediasi”. Skripsi ini disusun guna 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. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Dr. Elida Novita, S.TP., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Dr. Sri Wahyuningsih, S.P., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan penuh perhatian serta kesabaran berusaha memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikannya penulisan skripsi ini;
2. Dr. Yuli Witono S.TP., M.P. selaku Dekan Fakultas Teknologi Pertanian, Dr. Ir. Bambang Marhaenanto, M. Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian, dan Ir. Muharjo Pudjojono selaku Komisi Bimbingan Teknik Pertanian;
3. Ir. Muharjo Pudjojono dan Dr. Hidayat Teguh Wiyono, M.Pd. yang telah banyak memberikan kritik dan saran yang membangun pada saat ujian;
4. Kedua orang tuaku, Siswono dan Masrukah yang telah mencurahkan perhatian, kasih sayang, semangat, dan memberi doa restu;
5. Kakakku Wahyudin Setyono yang selalu memberikan inspirasi dan semangat belajar;
6. Teman-teman seperjuangan Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember angkatan 2011 yang telah memotivasi saya;
7. Rekan satu tim penelitian limbah cair kopi (Wendy, Mbak Rini, Mbak Riga, Mas Ardi, dan Mas Faris) dan teman-teman diskusi (Tanjung, Alfian, Rizki, Wildan, dan Gagah) yang sudah memberikan banyak bantuan saat penelitian dan semangat kekeluargaan;

8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

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, 10 April 2015

Penulis

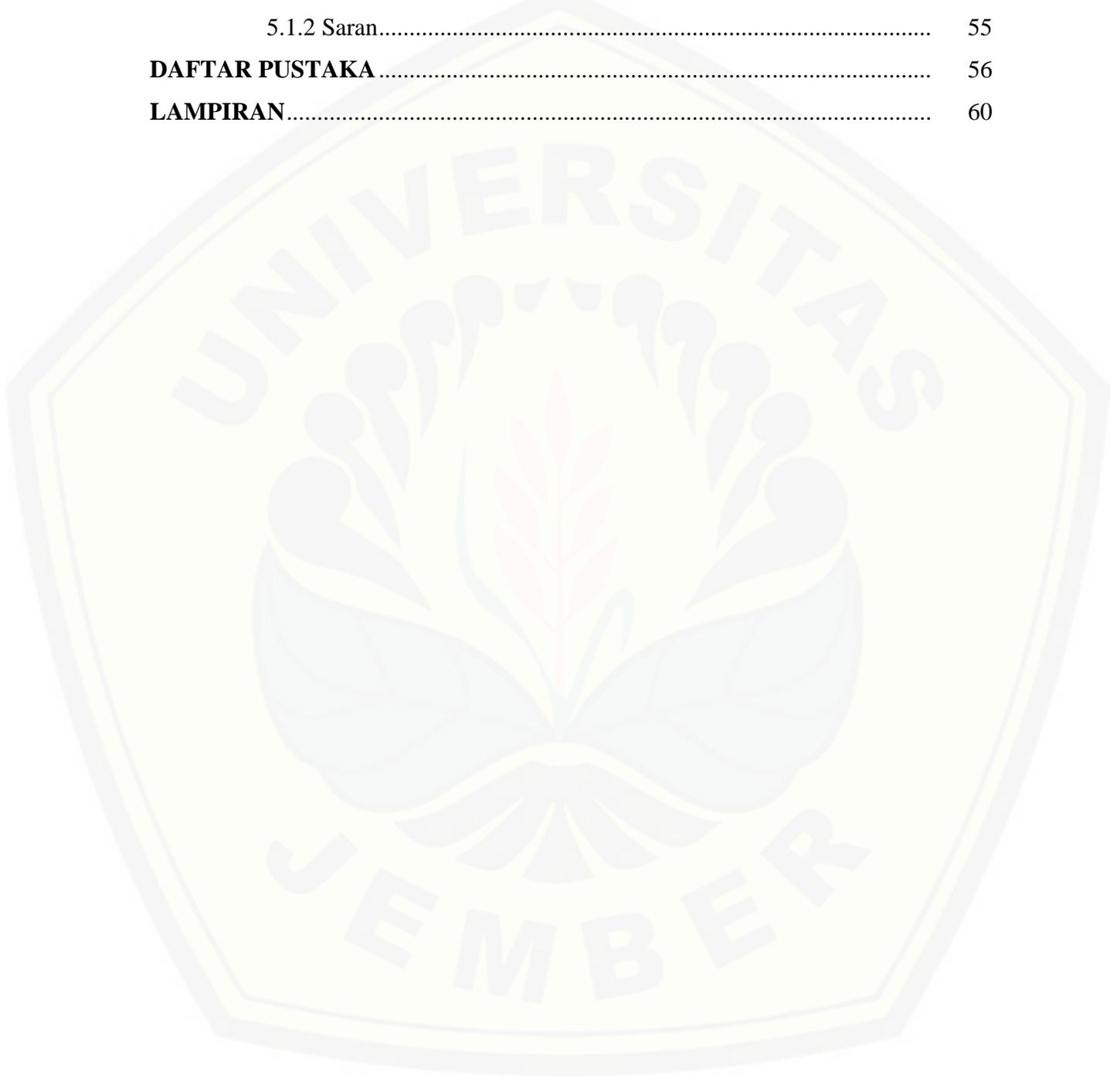


DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
SUMMARY	vii
RINGKASAN	ix
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Limbah Cair Kopi	4
2.2 Karakteristik Limbah Cair	5
2.3 Fitoremediasi	6
2.4 Eceng Gondok	7
2.5 Pengolahan Limbah dengan Kolam Eceng Gondok	8
2.5.1 Mekanisme Kerja Kolam Eceng Gondok	8

2.5.2 Petunjuk Konstruktif Kolam Eceng Gondok	9
2.6 Hydraulic Retention Time (HRT)	10
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	11
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	11
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	11
3.2.1 Alat	11
3.2.2 Bahan	12
3.3 Tahapan Penelitian	12
3.3.1 Perancangan Akuarium Fitoremediasi dengan Sirkulasi	12
3.3.2 Prinsip Kerja Akuarium Fitoremediasi dengan Sirkulasi	13
3.3.3 Mekanisme Pengaliran Limbah Cair	15
3.3.4 Aklimatisasi Tanaman Eceng Gondok	17
3.3.5 Pengukuran Parameter	18
3.4 Analisis Data.....	21
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	22
4.1 Mekanisme Kerja Akuarium Sistem Sirkulasi.....	23
4.2 Hydraulic Retention Time (HRT) pada Akuarium Sirkulasi	27
4.3 Karakteristik Limbah Cair Kopi.....	28
4.4 Pengukuran Parameter Awal dan Akhir.....	30
4.4.1 Pengukuran COD dan BOD	30
4.4.2 Amonia (NH ₃) pada N Total.....	34
4.4.3 Fosfat (PO ₄) pada P Total.....	37
4.4.4 Pengukuran TSS.....	39
4.5 Pengukuran Parameter Harian	41
4.5.1 Derajat Keasaaman atau pH	42
4.5.2 Pengukuran Kekeruhan	45
4.5.3 Morfologi Tanaman Eceng Gondok.....	48
4.6 Analisa Perlakuan Terbaik Sistem Sirkulasi.....	41

BAB 5. PENUTUP	54
5.1.1 Kesimpulan.....	54
5.1.2 Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN	60



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Neraca Massa Proses Perlakuan Minimasi Air.....	5
3.1 Rangkaian Komponen Akuarium Fitoremediasi dengan Sirkulasi.....	13
3.2 Penampang 3 Dimensi Rancangan Akuarium.....	15
3.3 Sirkulasi Aliran Limbah Cair Kopi.....	16
4.1 Akuarium Pengolahan Limbah dengan Sirkulasi	22
4.2 Hasil Perancangan Akuarium Fitoremediasi dengan Sirkulasi.....	23
4.3 Komponen Akuarium Fitoremediasi dengan Sirkulasi.....	25
4.4 Hubungan HRT dengan Nilai Parameter Pencemar.....	28
4.5 Grafik Pengaruh HRT Terhadap Penurunan COD dan BOD.....	31
4.6 Grafik Pengaruh HRT Terhadap Penurunan NH ₃ -N.....	35
4.7 Grafik Pengaruh HRT Terhadap Penurunan PO ₄ -P.....	37
4.8 Grafik Pengaruh HRT Terhadap Penurunan TSS.....	40
4.9 Grafik Pengukuran pH Harian.....	42
4.10 Grafik Pengukuran Kekeruhan Harian.....	45
4.11 Grafik Efisiensi Kekeruhan.....	47
4.12 Morfologi Daun Eceng Gondok	49
4.13 Morfologi Bunga Eceng Gondok	50
4.14 Analisis Perlakuan Terbaik dengan GLM.....	52
4.15 Diagram Batang Hasil Analisis Terbaik dengan GLM.....	53

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Karakteristik Limbah Cair Kopi Sebelum Perlakuan	60
B. Nilai Pengukuran Debit Masuk dari Bak ke akuarium.....	62
C. Data Pengukuran <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD).....	63
D. Data Pengukuran <i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD)	64
E. Data Pengukuran pH.....	65
F. Data Pengukuran NH ₃	66
G. Data Pengukuran PO ₄	67
H. Data Pengukuran <i>Total Suspended Solid</i> (TSS)	68
I. Data Pengukuran Kekerusuhan.....	69
J. Data Pengukuran Suhu.....	72
K. Pengamatan Tanaman Eceng Gondok.....	74
L. Prosedur Analisis N dan P.....	78
M. Analisis <i>General Linier Model</i> (GLM).....	81
N. Dokumentasi Penelitian.....	86

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Nilai Pengukuran Untuk Kolam Eceng Gondok.....	6
3.1 Debit Masuk Pada Akuarium	16
3.2 Metode Aklimatisasi Eceng Gondok	19
3.3 Analisa yang Dilakukan Saat Penelitian	20
4.1 HRT pada Akuarium Fitoremediasi dengan Sirkulasi.....	27
4.2 Karakteristik Limbah Cair Pengolahan Kopi.....	29
4.3 Baku Mutu Limbah Cair Untuk Industri Kopi.....	29
4.4 Efisiensi penurunan COD dan BOD.....	32
4.5 Efisiensi Penurunan $\text{NH}_3\text{-N}$	35
4.6 Efisiensi Penurunan $\text{PO}_4\text{-P}$	38
4.7 Efisiensi Penurunan TSS.....	40

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jumlah produksi kopi di Kabupaten Jember pada tahun 2012 sebanyak 3.178 ton dengan lahan yang digunakan seluas 5.608 ha (BKPM, 2013). Metoda pengolahan kopi yang dapat memberikan kualitas biji yang lebih baik adalah pengolahan basah. Jumlah produksi kopi yang besar dengan metoda pengolahan basah akan membutuhkan air cucian dalam jumlah yang banyak. Air cucian pada pengolahan basah menyebabkan limbah cair yang jika dibuang ke badan air atau lingkungan dapat menyebabkan pencemaran. Menurut Widyotomo (2012) jika mengikuti proses pengolahan basah secara penuh, konsumsi air dapat mencapai 7-9 ton m³ per ton buah kopi yang diolah sedangkan kebutuhan air untuk proses pencucian saja berkisar antara 5-6 m³ per ton biji kopi berkulit cangkang. Jumlah limbah kopi yang perlu ditangani sebesar 44,6% dari berat buah kopi kering. Limbah cair kopi memiliki komponen utama berupa bahan organik yang sangat resisten menaikkan beban pencemaran 80 % dengan nilai COD 50.000 mg/l dan BOD mencapai 20.000 mg/l (Sariadi, 2011). Tingginya kandungan bahan organik pada limbah cair kopi dapat menyebabkan pencemaran berupa polusi organik pada perairan di mana limbah kopi tersebut dibuang. Oleh karena itu limbah cair kopi perlu diolah agar aman dibuang dan sesuai dengan baku mutu limbah cair yang ditetapkan.

Salah satu alternatif pengolahan limbah cair adalah dengan fitoremediasi. Fitoremediasi adalah pengubahan zat kontaminan berbahaya menjadi tidak berbahaya yang dilakukan oleh tanaman (Mangkoedihardjo, 2005). Tumbuhan hiperkumulator yang sering digunakan untuk fitoremediasi adalah eceng gondok (*Eichornia crassipes* (Mart) Solms). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Rahma (2014) eceng gondok mampu menurunkan nilai COD, kekeruhan, dan TSS pada limbah cair mocaf. Selama ini fitoremediasi banyak dilakukan dengan menggunakan metode batch padahal Jenie dan Rahayu (1993:47), menyatakan

bahwa laju dan keragaman aliran merupakan faktor penting dalam suatu rancangan proses. Sejumlah unit dalam kebanyakan sistem penanganan limbah harus dirancang berdasarkan puncak laju aliran. Hal ini membutuhkan studi laju aliran dan memberikan pertimbangan untuk meminimumkan keragaman laju aliran bilamana mungkin. Meskipun fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok di kolam penampungan dengan metode *batch* banyak dilakukan namun belum ada upaya untuk memodifikasi dan melakukan studi laju aliran pada kolam eceng gondok guna meningkatkan kinerja eceng gondok untuk menurunkan kandungan limbah cair kopi. Salah satu langkah untuk melakukan studi laju aliran adalah dengan memberikan sirkulasi.

Berdasarkan uraian di atas penelitian ini menggunakan eceng gondok untuk fitoremediasi limbah cair kopi. Untuk meningkatkan kemampuan kolam eceng gondok menurunkan kandungan organik dalam limbah cair kopi dilakukan modifikasi pada akuarium eceng dengan pemberian sekat sebagai lubang sirkulasi untuk meminimumkan laju aliran. Selain itu Navarro *et al.* (2011) juga menyatakan bahwa sirkulasi air bermanfaat karena mencegah stratifikasi termal dan kimia.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian di atas dapat ditarik beberapa rumusan masalah yaitu :

1. Bagaimanakah aliran sirkulasi dan tahapan mekanisme kerja pada akuarium fitoremediasi dalam menurunkan kandungan limbah cair kopi?
2. Bagaimanakah nilai *Hydraulic Retention Time* (HRT) pada akuarium fitoremediasi dengan variasi debit yang berbeda?
3. Bagaimanakah pengaruh pemberian sirkulasi di akuarium fitoremediasi pengolahan limbah cair kopi terhadap nilai penurunan kandungan COD, BOD, kekeruhan, TSS, nitrogen dan fosfat limbah cair kopi?
4. Bagaimanakah pengaruh pemberian sirkulasi di akuarium fitoremediasi pengolahan limbah cair kopi terhadap parameter harian (pH, kekeruhan, morfologi tanaman eceng gondok)

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini ruang lingkup permasalahan hanya dibatasi pada:

1. Pengukuran penurunan kandungan COD, BOD, TSS, nitrogen dan fosfat pada awal dan akhir perlakuan. Pengukuran harian hanya dilakukan untuk pH, kekeruhan, dan kondisi tanaman eceng gondok
2. Pengukuran *Hidraulic Retention Time* (HRT) dilakukan setiap perlakuan debit dan debit yang diukur hanya dua kategori yaitu kecil dan sedang.
3. Konsentrasi nitrogen yang diuji dalam penelitian ini dalam bentuk senyawa NH_3 (amonia) dan konsentrasi fosfor yang diuji hanya dalam bentuk senyawa PO_4 (fosfat)

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini meliputi :

1. Mengetahui laju aliran sirkulasi dan tahapan mekanisme kerja pada akuarium eceng gondok dalam menurunkan kandungan limbah cair kopi
2. Mengetahui nilai *Hidraulic Retention Time* (HRT) pada akuarium fitoremediasi dengan variasi debit yang berbeda dan mengetahui nilai perlakuan yang terbaik berdasarkan efisiensi penurunan parameter pencemar
3. Untuk menganalisis pengaruh sirkulasi di akuarium fitoremediasi pengolahan limbah cair kopi pada efisiensi penurunan kandungan parameter akhir limbah (COD, BOD, kekeruhan, TSS, nitrogen dan fosfat)
4. Untuk menganalisis pengaruh sirkulasi di akuarium fitoremediasi pengolahan limbah cair kopi terhadap parameter harian (pH, kekeruhan, dan kondisi tanaman eceng gondok selama perlakuan)

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini meliputi :

1. Sebagai salah satu alternatif pengolahan limbah cair kopi

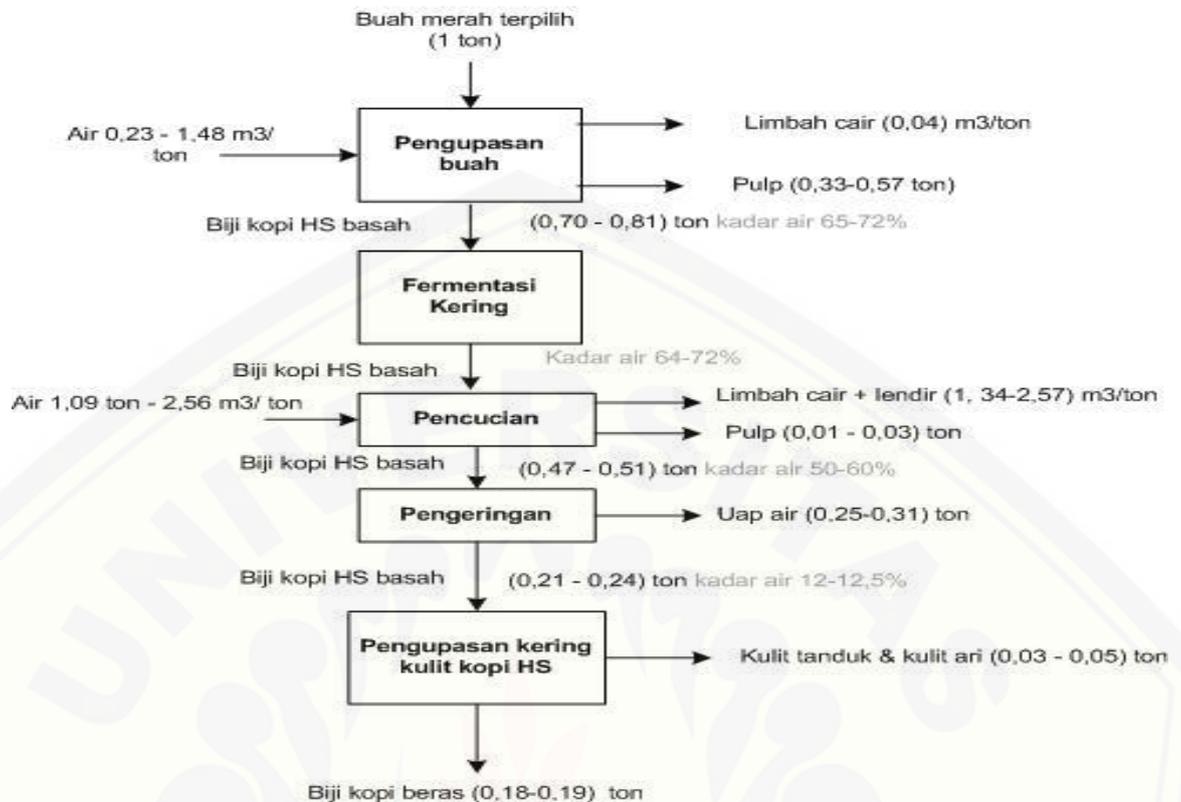
2. Memberikan informasi tingkat efektifitas pemberian sirkulasi di kolam penampungan limbah bagi petani kopi



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Cair Kopi

Secara garis besar terdapat dua cara pengolahan buah kopi yaitu pengolahan kopi cara basah dan cara kering (Supriyadi, 2010). Pengolahan basah merupakan perbaikan proses pengolahan kering. Penggunaan air pada proses pengolahan dengan modifikasi olah basah adalah; (1) sebagai media untuk mengklasifikasi kualitas buah kopi melalui sortasi rambang, (2) media pengaliran buah kopi untuk memudahkan proses pengupasan buah (*pulping*), dan (3) untuk membersihkan biji kopi dari lendir yang terdegradasi (*washing*) setelah proses fermentasi sekaligus mencegah proses fermentasi berlebih (*over fermentation*). Potensi limbah cair terbesar terutama dihasilkan dari proses pencucian biji kopi setelah fermentasi (Novita, 2012). Air yang digunakan di dalam pengolahan kopi yang tersisa adalah air limbah dengan tingkat polusi tinggi. Komponen utama air limbah adalah bahan organik yang sangat resisten menaikkan beban pencemaran 80 % dengan nilai COD 50.000 mg/l dan BOD dari bahan-bahan organik biodegradabel dapat mencapai 20.000 mg/l. Dampak lingkungan berupa polusi organik limbah kopi yang paling berat adalah pada perairan dimana effluen kopi dikeluarkan. Dampak itu berupa pengurangan oksigen karena tingginya BOD dan COD. Kondisi ini dapat berakibat fatal untuk makhluk yang berada dalam air dan juga bisa menyebabkan bau, lebih jauh lagi, bakteri yang dapat menyebabkan masalah kesehatan dapat meresap ke sumber air minum (Sariadi, 2011). Sesuai dengan asalnya, maka air limbah mempunyai komposisi yang sangat bervariasi dari setiap tempat dan setiap saat. Limbah cair kopi dihasilkan dari beberapa proses saat pengolahan basah berlangsung. Neraca massa hasil perlakuan minimisasi air tahap pengupasan (*pulping*) dan pencucian (*washing*) adalah sebagai berikut :



Gambar 2.1 Neraca massa proses perlakuan minimasi air (Novita, 2012)

2.2 Karakteristik Limbah Cair

Pengetahuan mengenai sifat-sifat limbah akan sangat membantu dalam penetapan metode penanganan dan atau pembuangan limbah yang efektif. Selain itu informasi dan mutu limbah yang dikeluarkan juga diperlukan untuk merancang fasilitas yang diperlukan untuk mengelola keluaran yang konstan atau sewaktu-waktu (Jenie dan Rahayu, 1993:19). Beberapa karakteristik atau indikator kualitas air yang disarankan untuk dianalisis sehubungan pemanfaatan sumberdaya air untuk berbagai keperluan, antara lain parameter fisika, kimia dan biologi (Effendi, 2003:27). Parameter-parameter yang digunakan dalam pengukuran kualitas air limbah yaitu:

1. pH adalah ekspresi adanya ion H^+ dalam air. pH dapat mempengaruhi kehidupan biologi dalam air. Bila terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat mematikan kehidupan mikroorganisme. pH normal untuk kehidupan air adalah 6-8.

2. *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau mg/l yang dipergunakan untuk menguraikan bahan organik oleh mikroorganisme.
3. *Chemical Oxygen Demand* (COD) adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau mg/l yang dibutuhkan untuk menguraikan bahan organik secara kimiawi
4. *Total Suspended Solid* (TSS) adalah total padatan tersuspensi, yaitu padatan yang menyebabkan kekeruhan air, tidak larut dan tidak mengendap langsung.
5. Kekeruhan adalah banyaknya zat yang tersuspensi dan tidak larut pada suatu perairan yang menyebabkan hamburan dan absorpsi cahaya yang datang sehingga menghalangi cahaya menembus air (Gusrina, 2012).
6. Nitrogen dan fosfat merupakan salah satu bahan pencemar yang biasanya terdapat di dalam limbah domestik. Keberadaan nitrogen dan fosfat di badan air dalam konsentrasi tinggi akan menyebabkan *eutrofikasi*. Kondisi *eutrofik* mengakibatkan perbembangbiakan alga pesat. Semakin banyak alga tumbuh maka semakin banyak oksigen didalam badan air yang digunakan untuk pernafasan alga. Kondisi tersebut mengakibatkan oksigen didalam air berkurang sehingga berakibat buruk bagi spesies makhluk hidup didalam air (Parwaningtyas *et al.*, 2012)

2.3 Fitoremediasi

Fitoremediasi dapat didefinisikan sebagai efisiensi penggunaan tanaman untuk menghapus, detoksifikasi atau melumpuhkan kontaminan lingkungan dalam matriks pertumbuhan (tanah, air atau sedimen) melalui biologis, kimia atau fisik kegiatan alam dan proses tanaman. Tanaman adalah organisme yang unik dilengkapi dengan metabolisme dan penyerapan kemampuan yang luar biasa, serta sistem transportasi yang dapat mengambil nutrisi atau kontaminan selektif dari pertumbuhan matriks, tanah atau air. Untuk fitoremediasi tanaman dapat dipanen kemudian, diproses dan dibuang (Mason, 2004:60).

Pengertian lain dari fitoremediasi adalah pemanfaatan tumbuhan, mikroorganisme untuk meminimalisasi dan mendetoksifikasi polutan, karena mikroorganisme dapat mendegradasi dan tumbuhan mempunyai kemampuan

menyerap logam dan mineral atau sebagai *fitoakumulator* dan *fitochelator*. Konsep pemanfaatan tumbuhan dan mikroorganisme untuk meremediasi tanah yang terkontaminasi polutan adalah pengembangan terbaru dalam teknik pengolahan limbah. Fitoremediasi dapat diaplikasikan pada limbah organik maupun anorganik dalam bentuk padat, cair, dan gas (Salt *et al.*, 1998:89)

2.4 Eceng Gondok

Jenis tanaman yang disenangi untuk kolam air limbah di negara-negara berkembang ialah eceng gondok. Pada iklim tropis dan subtropis, tanaman eceng gondok merupakan gulma yang hampir tidak dapat diatasi. Eceng gondok adalah tanaman yang kuat terhadap air limbah. Eceng gondok memiliki akar yang bercabang halus. Permukaan akarnya digunakan oleh mikroorganisme sebagai tempat pertumbuhan. Dengan demikian kepadatan organisme dalam sistem meningkat. Terutama nitrifikasi yang peka menemukan tempat pertumbuhan yang sesuai pada akar eceng gondok. Nitrifikasi yang dihasilkan serta denitrifikasi yang kemudian berlangsung dalam sendimen, diamati sebagai proses yang memisahkan zat lemas dalam kolam-kolam eceng gondok (Orth, 1989:195).

Tempat tumbuh yang ideal bagi tanaman eceng gondok adalah perairan yang dangkal dan berair keruh, dengan suhu berkisar antara 28-30 derajat celsius dan kondisi pH berkisar 4-12. Di perairan yang dalam dan berair jernih di dataran tinggi, tanaman ini sulit tumbuh. Eceng gondok mampu menghisap air dan menguapkannya ke udara melalui proses evaporasi. Tumbuhan ini dapat beradaptasi dengan perubahan yang ekstrem dari ketinggian air, arus air, dan perubahan ketersediaan nutrisi, pH, temperatur dan racun-racun dalam air (Ramey dan Piecel, 2001).

2.5 Pengolahan Limbah dengan Kolam Eceng Gondok

Penggunaan tanaman air untuk membersihkan air telah dikenal lama dalam kasus-kasus khusus terbukti bahwa penempatan tanaman dapat memperbaiki efisiensi kolam-kolam air limbah dalam situasi tertentu, dan kolam tanaman dari sisi ekologi pada umumnya.

2.5.1 Mekanisme Kerja Kolam Eceng Gondok

Kolam eceng gondok adalah sistem alami yang kerjanya melakukan pembersihan berdasarkan proses-proses biologi, kimia dan fisika. Tahapan mekanisme kerja dari kolam eceng gondok yaitu :

a. Sedimentasi

Beban permukaan hidraulik dan kecepatan dalam kolam eceng gondok sangat rendah dibandingkan kolam pengendapan. Semua zat yang dapat mengendap dan semua zat mengambang dapat dipisahkan. Kolam eceng gondok dilengkapi dengan pembersih awal, yang membuang sebagian besar bahan-bahan yang mengendap dari arus air yang masuk.

b. Aktivitas Kehidupan mikroorganisme

Mikroorganisme memegang peranan penting dalam menentukan penghancuran BOD dan juga untuk nitrifikasi/denitrifikasi bakteri. Jenis mikroorganisme yang ikut ambil bagian dalam kolam eceng gondok lebih banyak dibanding dengan kilang pengaktifan lumpur.

c. Pemisahan kimiawi dan penyerapan

Pemisahan kimiawi, penyerapan dan penumpukan dalam sendimen diamati sebagai proses yang sesuai untuk pemisahan fosfor dan logam berat.

d. Pengaruh Waktu Mengendap

Untuk menilai arti daya serap tanaman terhadap zat isi air limbah, selanjutnya perlu diperhatikan segi operasionalnya. Jika ingin memakai daya serap tanaman untuk membuang zat-zat berbahaya secara terarah maka pertumbuhan tanaman harus dipertahankan pada tingkat yang tinggi. Untuk itu tanaman eceng gondok harus dipanen secara teratur, karena pertumbuhan eceng gondok berkurang atau malah berhenti sama sekali jika kepadatan pertumbuhannya meningkat (Orth, 1989:201).

Tabel 2.1 Nilai Pengukuran Untuk Kolam Eceng Gondok

Parameter	Nilai Pengukuran	Keterangan
Air limbah mentah		
Waktu menetap	>50 hari	
Beban hidraulik	200m /(ha hari)	
Beban BOD5	<30 kg	
Kedalaman	<1,5 m	Mutu saluran yang diharapkan
Panjang:lebar	3:1	
Temperatur	>10 C	BOD<30 mg/l Zat mengambang – 30 mg/l
Air limbah yang dibersihkan secara biologis		
Waktu menetap	>6 hari	
Beban hidraulik	800 m/ (ha hari)	
Beban BOD5	<50 kg/(ha hari)	
Kedalaman	<0,91 m	
Panjang:lebar	3:1	
Temperatur	20 C	
Beban zat lemas (TKN)	<15 kg/(ha hari)	BOD5 < 10MG/L Zat mengambang < 10 mg/l Seluruh p<5 mg/l Seluruh N<5 mg/l

Sumber: Middlebrooks *et al.* (1982:208)

2.5.2 Petunjuk Konstruktif Kolam Eceng Gondok

Dalamnya kolam dibatasi oleh panjang akar, yang di dalam kolam air limbah jarang mencapai lebih dari 20 cm. Karena sebanyak mungkin air limbah harus mengalir dari ruang akar, maka hanya diperlukan sedikit tambahan kedalaman untuk sedimentasi dan penumpukan lumpur, yang sangat penting ialah kondisi arus. Penelitian Tracer memperlihatkan bahwa di kebanyakan kolam, waktu menetap yang sebenarnya berada sangat jauh di bawah waktu menetap yang diperhitungkan (Middlebrooks *et al.*, 1982:209). “Tabrakan arus” (*short circuit streams*) dapat dapat dihindari melalui arus masuk limbah yang dibagi-bagi atau melalui perbandingan panjang-lebar yang besar. Perbandingan panjang lebar sedikitnya harus 3:1. Untuk mencegah terjadinya arus yang berlapis-lapis, disarankan untuk memakai penyekat, sebab arus berlapis dapat muncul mulai pada perbedaan temperatur antara 1-2°C (Orth, 1989:208).

2.6 Hydraulic Retention Time (HRT)

Hydraulic Retention Time (HRT) adalah salah satu parameter desain kunci mengendalikan efisiensi penyisihan kontaminan dan nutrisi dalam stormwater dan air limbah lahan basah (Feng, 2008). Waktu retensi hidrolis atau HRT juga dapat dinyatakan sebagai jumlah waktu dalam jam untuk air limbah saat melewati tangki, seperti tangki aerasi. Perubahan HRT dari proses lumpur aktif dapat mempengaruhi sebuah aktivitas biologis. Misalnya, penurunan HRT yang buruk mempengaruhi nitrifikasi, ketika meningkatkan HRT nitrifikasi dan solublization dari koloid BOD dan partikel BOD.

HRT dari tangki aerasi ditentukan dengan membagi volume dari tangki aerasi dalam jutaan galon dengan laju alir melalui tangki aerasi. Laju aliran melalui aerasi tank dinyatakan sebagai galon per jam (GPH). HRT dapat dihitung sebagai berikut (Gerardi, 2002) :

$$\text{HRT (hours)} = \frac{\text{Volume of aeration tank (m}^3\text{)}}{\text{Influen flow rate (m}^3\text{/hour)}}$$

Keterangan :

HRT	: Waktu resistensi hidrolis
Volume of aeration tank	: Volume aerasi tangki (m ³)
Influent flowrate	: influen debit (m ³ /hour)

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni 2014 sampai dengan Oktober 2014. Preparasi sampel dan bahan serta pengujian sampel dilaksanakan di Laboratorium Kualitas Air Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan (TPKL), Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember. Untuk Perancangan alat dan aklimatisasi dilaksanakan di Greenhouse Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember.

Analisis COD, BOD, NH_3 dan PO_4 dilakukan di Laboratorium Analisis Kualitas Lingkungan, Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah :

- | | |
|--------------------------|-----------------------------|
| a. Akuarium kaca | m. Meja kayu |
| b. Pompa akuarium vosso | n. Jirigen |
| c. Pompa akuarium yamano | o. Kertas saring 0,45 μ |
| d. Keran | p. Cawan aluminium |
| e. Pipa T 1/2' | q. Oven |
| f. Stop keran 1/2' | r. Neraca analitik |
| g. Selang plastik | s. Gelas ukur |
| h. Saringan | t. pH meter |
| i. Lem PVC | u. TDS meter |
| j. Lem kaca | v. Termometer |
| k. Tabung plastik | w. Turbidimeter |
| l. Kayu balok | x. Stopwatch |

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

a. Limbah cair kopi

Limbah cair kopi diperoleh dari perkebunan kopi rakyat di Desa Sidomulyo Kecamatan Silo Kabupaten Jember

b. Eceng gondok (*Eichornia crassipes (Mart) solms*)

Eceng gondok diperoleh dari rawa-rawa Desa Gumukmas Kecamatan Gumukmas Kabupaten Jember. Eceng gondok yang digunakan pada akuarium adalah eceng gondok yang telah ditimbang dengan berat 90-100 gr hal ini berdasarkan penelitian dari Eddy (2009). Penanaman eceng gondok dilakukan dengan kerapatan 200 gram per 10 liter limbah (Rahma, 2014).

c. Aquades

d. Kapur tohor

3.3 Tahapan Penelitian

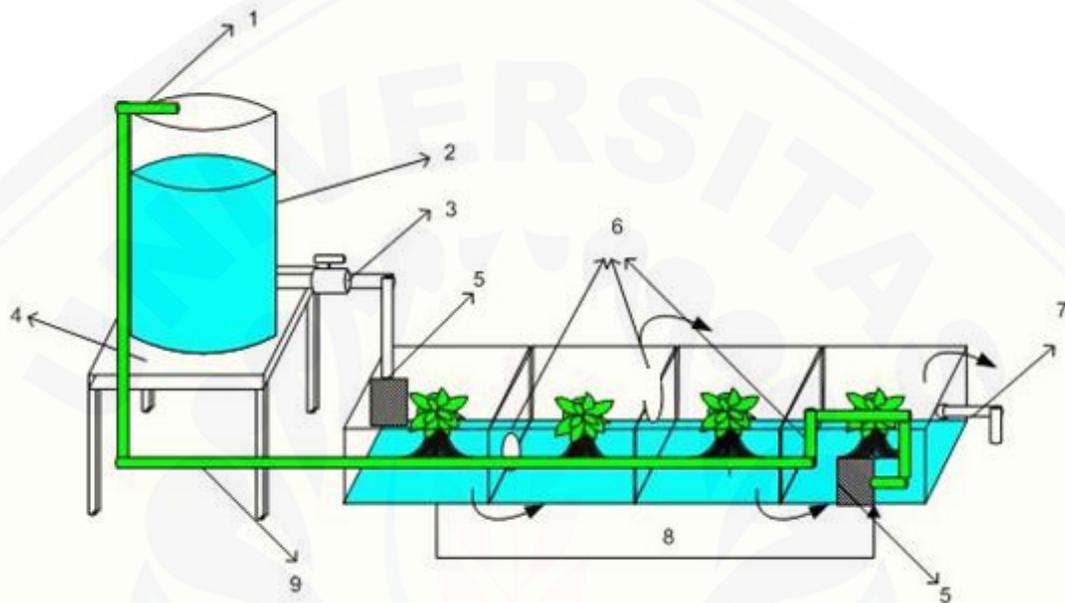
3.3.1 Perancangan Akuarium Fitoremediasi dengan Sirkulasi

Akuarium fitoremediasi dengan sirkulasi dibuat menggunakan bahan dari kaca bening dengan dimensi panjang 160 cm, lebar 30 cm, tinggi 30 cm. Tinggi kolam dibuat 30 cm karena menurut Orth (1989:196) kedalaman fitoremediasi dibatasi oleh panjang akar dari eceng gondok. Panjang akar eceng gondok di dalam kolam air limbah jarang mencapai lebih dari 20 cm. Karena sebanyak mungkin air limbah harus mengalir dari ruang akar, maka hanya diperlukan sedikit tambahan kedalaman untuk sedimentasi dan penumpukan lumpur sehingga diputuskan dimensi tinggi atau kedalaman pada kolam 30 cm.

Panjang akuarium ini selanjutnya dibagi menjadi empat ruang dan diberi sekat. Sekat terbuat dari kaca dan diberi lubang sirkulasi setengah lingkaran dengan diameter 5 cm. Kotak pertama diberi lubang sirkulasi dibawah, kotak kedua diberi lubang sirkulasi dibagian atas, dan kotak ketiga diberi lubang dibagian bawah. Lubang-lubang sirkulasi ini dibuat secara berselang-seling dengan tujuan air dapat mengalir dari bawah dan atas akuarium sehingga air limbah dapat disebarkan secara merata dan juga terjadi sirkulasi.

Drum penampung dibuat dari bahan plastik karena tahan karat, tahan perubahan suhu serta lebih murah dari bahan aluminium. Untuk mengeluarkan

limbah ditempatkan pipa PVC yang disambung dengan keran outlet. Lubang sirkulasi dibuat dari sekat kaca yang diberi lubang setengah lingkaran dengan diameter 5 cm pada bagian bawah atau atas dari akuarium seperti pada Gambar 3.1. Rangkaian komponen akuarium fitoremediasi dengan sirkulasi beserta bagian-bagiannya dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini :



Gambar 3.1 Rangkaian Komponen Akuarium Fitoremediasi dengan Sirkulasi

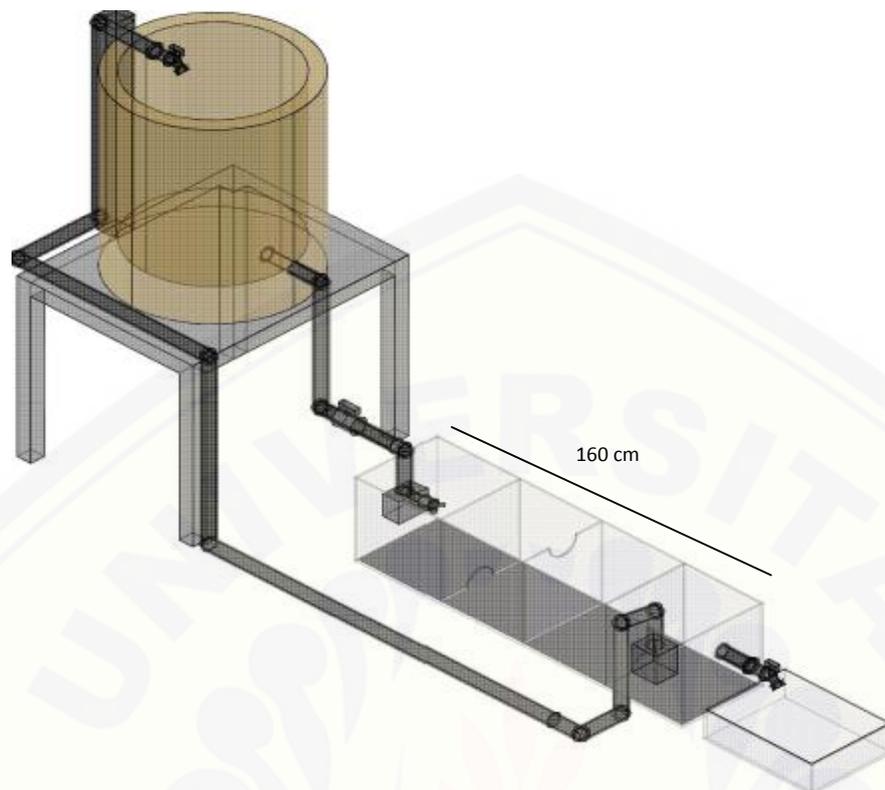
Keterangan :

1. Keran keluaran limbah
2. Drum penampung limbah cair kopi sebelum dilakukan pengolahan
3. Stop kran pengatur debit dari drum
4. Meja
5. Pompa akuarium
6. Lubang sirkulasi
7. Keran pengurasan
8. Akuarium kaca
9. Bak penampung limbah akhir

3.3.2 Prinsip Kerja Akuarium Fitoremediasi dengan Sirkulasi

Prinsip kerja akuarium fitoremediasi dengan sirkulasi adalah sebagai berikut :

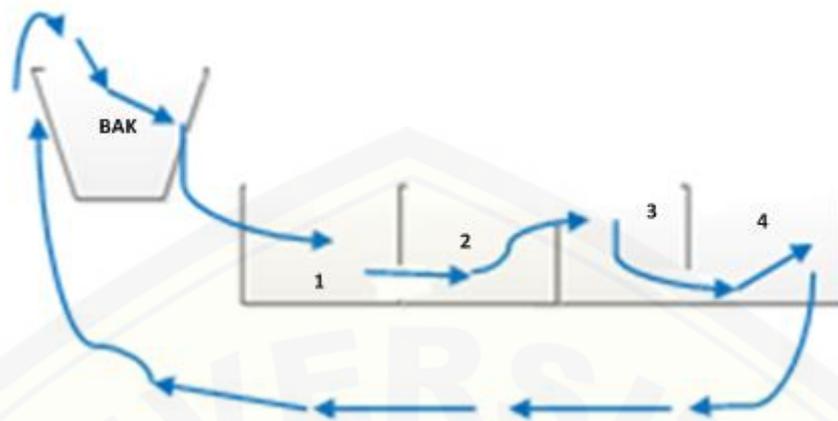
- a. Limbah ditampung dalam sebuah drum yang diberi outlet. Outlet ini dapat dibuka dan ditutup untuk mengatur debit keluaran dari limbah cair kopi yang masuk ke dalam akuarium yang ditanami eceng gondok.
- b. Dilakukan perhitungan debit saat air dari outlet dibuka untuk pertama kalinya. Untuk menjaga agar debit konstan pada dinding kaca akuarium diberi pompa yang berfungsi membantu menyedot air dari dalam bak plastik yang diletakkan lebih tinggi dari akuarium kaca.
- c. Selanjutnya, limbah cair kopi akan dialirkan dari drum ke dalam akuarium. Limbah yang telah melewati lubang sirkulasi dapat dihitung dengan menggunakan *stopwatch*.
- d. Setelah HRT limbah diketahui dan pengisian air limbah pada aquarium selesai maka limbah disirkulasi pada akuarium kaca yang telah diberi eceng gondok sampai seluruh limbah yang ada dalam bak penampung tersirkulasi seluruhnya. Waktu sirkulasi limbah juga ditentukan dari hasil aklimatisasi yang dilakukan sebelum penelitian utama.
- e. Kemudian sampel dari masing-masing aquarium 1,2,3 dan 4 dianalisis pH, kekeruhan, suhu dan kondisi tanaman eceng gondok dengan menghitung jumlah daun kering eceng gondok.
- f. Pada awal dan akhir pengolahan limbah juga dilakukan analisis kandungan COD, BOD, TSS, NH_3 dan PO_4 . Limbah yang berada di drum plastik sebelum diberi perlakuan sirkulasi dianggap sebagai limbah awal dan limbah yang sudah disirkulasi dianggap sebagai limbah akhir. Penampang tiga dimensi rancangan akuarium fitoremediasi dengan sirkulasi dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Penampang Tiga Dimensi Rancangan Aquarium Fitoremediasi dengan Sirkulasi

3.3.3 Mekanisme Pengaliran Limbah Cair

Limbah cair kopi mengalir melalui bak penampungan kemudian mengalir ke dalam beberapa kotak yang berisi eceng gondok, selanjutnya di kotak yang ke-4 (terakhir) limbah cair kopi kembali mengalir ke dalam bak penampungan begitu seterusnya sehingga terjadi sirkulasi. Sirkulasi berlanjut sesuai dengan waktu kemampuan eceng gondok hidup di dalam limbah cair kopi saat aklimatisasi. Sirkulasi aliran limbah cair kopi dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut ini :



Gambar 3.3 Sirkulasi Aliran Limbah Cair Kopi

Aliran limbah cair kopi dimulai dari bak penampungan kemudian mengalir dengan adanya grafitasi dan bantuan hisapan dari pompa akuarium. Selanjutnya, aliran limbah ini masuk ke dalam kotak 1 dan kemudian masuk ke lubang sirkulasi yang ada di bawah kotak 1 dengan kotak 2. Setelah kotak 1 dan kotak 2 penuh, limbah cair mengalir karena ada limpasan dari lubang sirkulasi yang berbentuk setengah lingkaran dari kotak 2 ke kotak 3. Saat kotak 3 terisi limbah cair maka secara otomatis kotak 4 juga terisi limbah karena antara kotak 3 dan kotak 4 terdapat lubang sirkulasi. Lalu ketika kotak 4 terisi maka limbah akan dialirkan dengan bantuan pompa ke atas bak penampungan awal limbah dan tersirkulasi kembali.

Pengaliran limbah cair ini menggunakan 4 macam perlakuan debit (Q_A , Q_B , Q_C , dan Q_D) yang ditentukan berdasarkan kemampuan nilai debit kecil dan debit sedang yang dapat dikeluarkan oleh akuarium fitoremediasi dengan sirkulasi. Perlakuan dengan beberapa debit ini bertujuan untuk mengetahui debit dengan nilai HRT mana yang paling baik efisiensinya untuk menurunkan beberapa parameter yang ada dalam limbah cair kopi. Nilai debit yang masuk pada akuarium ditampilkan pada Tabel 3.1 berikut ini :

Tabel 3.1 Debit Masuk pada Akuarium

Perlakuan	Kategori Debit Keluaran	Debit masuk (ml/s)
Q _A	Kecil	10.09
Q _B		10.61
Q _C	Sedang	18.93
Q _D		19.22

Sumber : Data Primer (diolah 2015)

3.3.4 Aklimatisasi Tanaman Eceng Gondok

Sebelum penelitian dilakukan maka terlebih dahulu dilakukan aklimatisasi sebagai upaya penyesuaian eceng gondok terhadap lingkungan yang berbeda. Selain itu aklimatisasi ini juga bertujuan untuk mengetahui lama kemampuan eceng gondok hidup pada limbah cair kopi yang selanjutnya akan digunakan sebagai lama waktu sirkulasi. Aklimatisasi pada penelitian ini menggunakan beberapa metoda. Metoda yang pertama berdasarkan penelitian Hardyanti dan Rahayu (2007) dengan menumbuhkan eceng gondok ke dalam aquades. Metoda kedua berdasarkan penelitian dari Haryati *et al.* (2009:39) dengan menumbuhkan eceng gondok pada limbah cair kopi dengan konsentrasi 25%, 50% dan 75%. Namun pada perlakuan ini akan digunakan rentang pH yaitu pada pH 4, pH 5, pH 6, dan pH 7 dengan cara menambahkan kapur tohor pada limbah hingga pH yang diinginkan tercapai. Metoda ketiga menumbuhkan eceng gondok dengan menggunakan air sumur. Masing-masing metoda aklimatisasi akan dilakukan pengamatan dan dipilih metoda terbaik untuk aklimatisasi pada penelitian ini. Metoda aklimatisasi tersaji dalam Tabel 3.2 berikut ini:

Tabel 3.2 Metoda Aklimatisasi Eceng Gondok

Metoda I	Metoda II	Metoda III
Menumbuhkan eceng gondok dalam akuades	Menumbuhkan eceng gondok pada limbah	Menumbuhkan eceng gondok dengan air sumur
	pH limbah 4	
	pH limbah 5	
	pH limbah 6	
	pH limbah 7	

3.3.5 Pengukuran Parameter

Dalam penelitian ini digunakan beberapa parameter pengukuran kualitas limbah setelah dilakukan fitoremediasi. Beberapa parameter yang digunakan antara lain:

1. Pengukuran *Total Suspended Solid* (TSS)

TSS merupakan jumlah berat dalam mg/l kering lumpur yang ada dalam air limbah setelah mengalami penyaringan dengan membran berukuran 0,45µm (Sugiharto, 1987:7). Pengukuran TSS menggunakan metoda gravimetri. Langkah-langkah yang dilakukan untuk pengukuran TSS :

- a) Sampel disaring dengan kertas saring 0,45µm yang sebelumnya telah ditimbang menggunakan neraca ohaus
- b) Endapan yang tersaring kemudian dikeringkan dengan oven pada temperature 103-105 °C selama 1 jam. Endapan didinginkan dalam desikator dan ditimbang. Namun pemanasan perlu diulang sampai didapatkan berat yang konstan atau kehilangan berat sesudah pemanasan ulang kurang dari 0,5 mg.
- c) Selisih berat antara kertas saring kosong dengan kertas saring ditambah endapan dicatat dengan rumus :

$$TSS = \frac{(\text{Berat kertas saring+endapan}) - (\text{Berat kertas kosong})}{\text{Volume sampel}} \dots\dots\dots(3.1)$$

2. Pengukuran *Chemical Oxygen Demand* (COD)

COD adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau miligram per liter yang dibutuhkan dalam kondisi khusus untuk menguraikan benda organik secara kimiawi (Sugiharto, 1987:6). Penghitungan COD dilakukan dengan menggunakan alat COD reaktor dan spektrofotometer.

3. Pengukuran pH

Pengukuran kemasaman atau kebasaaan limbah dapat diketahui dengan pengukuran nilai pH. Nilai pH diperoleh dengan cara mengukur limbah cair dengan menggunakan alat pH meter. Pengukuran pH dilakukan di setiap kotak akuarium (1, 2, 3, 4, dan bak). Pengukuran pH dilakukan pada setiap kotak untuk mengetahui apakah ada stratifikasi kimia yang terjadi di dalam akuarium.

4. Pengukuran *Biological Oxygen Demand* (BOD)

BOD₅ merupakan salah satu indikator pencemaran organik pada suatu perairan. Perairan dengan nilai BOD₅ tinggi mengindikasikan bahwa air tersebut tercemar oleh bahan organik. Bahan organik akan distabilkan secara biologik dengan melibatkan mikroba melalui sistem oksidasi aerobik dan anaerobik. Cara pengukuran BOD₅ adalah :

- a) Sampel limbah cair kopi dimasukkan ke dalam botol winkler hingga tumpah lalu tutup pelan-pelan untuk menghindari adanya gelembung udara pada botol. Kemudian disimpan selama 5 hari pada lemari es. Setelah 5 hari botol dikeluarkan dan dilakukan analisis.
- b) Buka kembali tutup botol lalu 2 tetes larutan MnSO₄ ditambahkan ke dalam botol winkler kemudian didiamkan agar larutan homogen
- c) Menambahkan 2 ml larutan alkali iodida azida ke dalam botol kemudian didiamkan hingga muncul endapan berwarna coklat.
- d) Larutan dipindahkan ke dalam gelas kimia kemudian dikocok hingga tidak ada endapan coklat
- e) 2 ml larutan H₂SO₄ ditambahkan ke dalam botol kemudian sebanyak 100 ml sampel diambil dan dipindah ke dalam erlenmeyer
- f) Larutan yang berada di erlenmeyer dititrasi dengan Na₂SO₂O₃, larutan amilum ditestaskan kedalam erlenmeyer kemudian dilakukan titrasi lagi sampai warna biru menghilang. Rumus perhitungan BOD₅ adalah :

$$BOD_5 = \frac{(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)(1 - P)}{P} \dots\dots\dots 3.2$$

Keterangan : BOD₅ = mg O₂/liter

X₀ = DO (oksigen terlarut sampel pada saat t = 0 (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

5. Pengukuran Tingkat Kekeruhan

Salah satu sifat fisik air yang disebabkan oleh adanya bahan organik dan anorganik yang tersuspensi dan terlarut (seperti lumpur, pasir) dan juga bahan

organik dan anorganik yang berupa sisa tanaman, plankton dan mikroorganisme disebut sebagai kekeruhan. Kekeruhan dari air limbah kopi setiap harinya dan dilakukan pada setiap kotak akuarium (1, 2, 3, 4, dan bak). Pengukuran kekeruhan ini dilakukan per hari pada setiap kotak untuk mengetahui system sirkulasi yang terjadi di dalam akuarium fitoremediasi. Pengukuran kekeruhan dilakukan dengan menggunakan alat turbidimeter dan membaca berapakah nilai kekeruhan dalam air limbah.

6. Pengukuran NH_3 dan PO_4

Analisis NH_3 dan PO_4 digunakan untuk mengetahui kandungan Nitrogen dan fosfat yang berada dalam limbah cair kopi setelah ditreatment pada akuarium fitoremediasi eceng gondok yang diberi sirkulasi. Analisis NH_3 dan PO_4 dilakukan di laboratorium Laboratorium Analisis Kualitas Lingkungan, Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.

3.4 Analisis Data

Analisis data yang akan dilakukan pada penelitian ini antara lain yaitu :

1. Perhitungan efisiensi

Perhitungan efisiensi dilakukan untuk mengetahui nilai efisiensi penurunan indikator pencemar limbah cair kopi pada awal dan akhir perlakuan. Nilai efisiensi tersebut dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Eff} = \frac{AC-AB}{AC} \times 100\% \dots\dots\dots 3.3$$

Keterangan :

Eff = Nilai efisiensi (100%)

AC = Nilai parameter awal pada limbah

AB = Nilai parameter akhir pada limbah

2. Analisis deskriptif

Analisis deskriptif yang dilakukan adalah penggambaran dalam bentuk grafik dengan program microsoft excel dari data hasil pengamatan COD, BOD, TSS, suhu, pH, kekeruhan, NH_3 , PO_4 dan kondisi tanaman (jumlah daun kering) pada eceng gondok. Selain menampilkan grafik data hasil pengamatan juga akan

dilakukan perhitungan terhadap HRT pada beberapa nilai debit yang berbeda yang ditampilkan dalam bentuk tabel.

3. Analisis statistik GLM.

Untuk mengetahui nilai perlakuan debit dan HRT terbaik dilakukan analisis statistik *General Linier Model*. Persamaan fungsi GLM adalah sebagai berikut

$$f(y) = \exp \left\{ \frac{y\theta - b(\theta)}{a(\phi)} + c(y, \phi) \right\}$$

Data yang akan diambil dan dianalisis pada saat penelitian adalah sebagai berikut:

Tabel 3.3 Analisis yang Dilakukan Saat Penelitian

No	Analisis Awal dan Akhir P	Analisis Harian
1	COD	pH
2	BOD	Suhu
3	TSS	Kondisi tanaman
4	NH ₃ -N	Kekeruhan
6	PO ₄ -P	

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Menurut Novita (2012) limbah cair pengupasan biji kopi mengandung konsentrasi pencemar yang tinggi karena kandungan bahan-bahan organik hasil proses pengupasan daging buah dan lendir. Pulp dan lendir ini terdiri atas sejumlah protein, gula dan lendir dalam bentuk pektin seperti karbohidrat polisakarida. Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa limbah cair kopi mengandung bahan organik yang tinggi dan apabila dibuang langsung ke badan air atau lingkungan dapat menyebabkan pencemaran. Menurut Sariadi (2011) pencemaran tersebut dapat terjadi disebabkan karena substansi organik terlarut dalam air limbah menggunakan proses mikrobiologi dalam air limbah secara amat lamban yang membutuhkan oksigen dalam air. Karena terjadinya pengurangan oksigen terlarut, permintaan oksigen untuk menguraikan organik material melebihi ketersediaan oksigen sehingga menyebabkan kondisi anaerobik. Apabila kondisi ini terus berlanjut maka akan terjadi defisit oksigen di dalam air. Kondisi ini dapat berakibat fatal untuk makhluk yang berada dalam air, dapat menyebabkan bau, serta bakteri yang menyebabkan masalah kesehatan juga dapat meresap ke sumber air minum

Salah satu alternatif pengolahan limbah yang semakin menarik perhatian sekarang ini ialah kolam air limbah dengan menggunakan tanaman. Berbagai jenis tanaman hiperakumulator telah diuji keefektifannya untuk menurunkan beberapa variasi limbah cair. Hal tersebut disebabkan oleh tingkat efektifitas penurunan kandungan limbah dan juga tuntutan yang semakin sering muncul untuk lebih banyak memakai proses pembersihan air limbah yang lebih bersifat alami dan ekonomis. Menurut Orth (1989:200) karena kesederhanaan tekniknya, biaya pengoperasiannya yang rendah, dan ketidaktergantungannya dari impor operasi instalasi ini terjamin. Untuk lebih meningkatkan kinerja kolam eceng gondok dalam menurunkan kandungan limbah cair kopi dilakukan modifikasi dan studi laju aliran pada kolam eceng gondok. Upaya yang perlu dilakukan untuk melakukan studi laju aliran adalah dengan memberikan sirkulasi pada kolam eceng gondok. Sirkulasi ini berfungsi untuk untuk meminimumkan keragaman

laju aliran dan mencegah stratifikasi termal dan kimia. Untuk lebih memudahkan pengamatan maka dibuat miniatur kolam pengolahan limbah dengan menggunakan eceng gondok menjadi akuarium pengolahan limbah menggunakan eceng gondok dengan dimensi panjang 160 cm, lebar 30 cm, tinggi 30 cm. Miniatur kolam pengolahan limbah menggunakan eceng gondok skala laboratorium dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4.1 Akuarium Pengolahan Limbah dengan Sirkulasi (tampak depan) (Sumber: Data Primer, 2015)

4.1 Mekanisme Kerja Akuarium Pengolah Limbah Cair Kopi Sistem Sirkulasi pada Proses Fitoremediasi

Sebelum memulai penelitian mengenai pengolahan limbah cair system sirkulasi pada proses fitoremediasi dilakukan perancangan alat terlebih dahulu. Perancangan alat ini dilakukan untuk mengetahui atau memudahkan mengukur efisiensi pemberian sirkulasi pada akuarium fitoremediasi. Hasil perancangan akuarium terlihat pada Gambar 4.2 berikut ini.

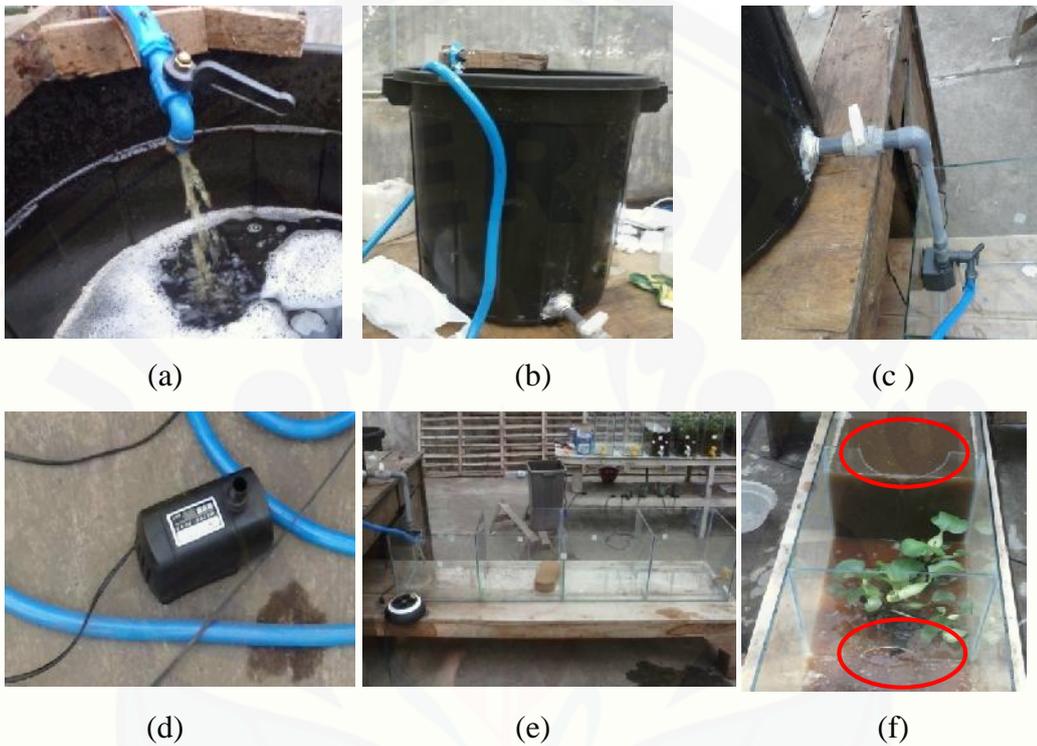


Gambar 4.2 Hasil Perancangan Akuarim Fitoremediasi Pengolah Limbah Cair Kopi dengan Sirkulasi (Sumber: Data Primer, 2015)

Akuarium fitoremediasi pengolah limbah cair kopi dengan sistem sirkulasi ini terdiri dari beberapa komponen yang memiliki fungsi masing-masing. Beberapa komponen penting dan fungsinya pada akuarium antara lain adalah :

1. Outlet keluaran limbah berfungsi untuk mengeluarkan limbah yang sudah melewati kolam eceng gondok kembali ke drum, kemudian disirkulasi kembali untuk menurunkan kandungan limbah
2. Drum penampung limbah berfungsi untuk tempat penampungan limbah cair kopi yang akan dialirkan di dalam akuarium
3. Inlet pengatur debit berfungsi untuk mengatur besar kecilnya debit masuk (*influent debit*)
4. Pompa akuarium berfungsi untuk memompa limbah dari akuarium eceng gondok kembali ke bak penampungan dan juga sebaliknya
5. Lubang-lubang sirkulasi pada akuarium berfungsi untuk mengalirkan air dari kotak akuarium satu ke akuarium selanjutnya. Pada prinsipnya lubang sirkulasi mencegah terjadinya perbedaan suhu antara dua lapisan air (*stratifikasi termal*) dalam air limbah.

6. Akuarium kaca berfungsi sebagai pengganti kolam fitoremediasi limbah cair kopi. Gambar beberapa komponen penting pada akuarium fitoremediasi pengolah limbah cair kopi dengan sirkulasi adalah sebagai berikut :



- (a) Outlet keluaran limbah; (b) drum penampung limbah; (c) inlet pengatur debit; (d) pompa akuarium; (e) akuarium kaca; (f) lubang sirkulasi

Gambar 4.3 Komponen Akuarium Fitoremediasi dengan Sirkulasi (Sumber: Data Primer, 2015)

Akuarium fitoremediasi dengan sirkulasi ini merupakan saluran terbuka karena gerakan aliran limbah selain karena hisapan pompa juga berdasarkan efek gravitasi bumi. Menurut Kodoatie (2009:8) aliran pada saluran terbuka merupakan aliran yang mempunyai permukaan yang bebas. Gerakan pada air saluran terbuka berdasarkan efek gravitasi bumi dan distribusi tekanan di dalam air bersifat hidrostatis. Hal-hal yang mempengaruhi besarnya tekanan hidrostatis adalah kedalaman air dan massa jenis zat cair.

Menurut Middlebrooks *et al.* (1982) kolam eceng gondok adalah sistem alami yang kerjanya melakukan pembersihan berdasarkan proses-proses biologi, kimia dan fisika. Tahapan mekanisme kerja pada akuarium fitoremediasi pengolahan limbah cair kopi dengan sirkulasi tersebut adalah sebagai berikut :

1. Sedimentasi

Proses sedimentasi dimulai ketika limbah dimasukkan ke dalam drum. Adanya gravitasi menyebabkan terjadinya pemisahan zat yang mengendap dan zat mengapung. Pengendapan selanjutnya terjadi ketika limbah mulai dialirkan masuk ke dalam akuarium menggunakan inlet limbah dengan beberapa variasi debit.

Pada akuarium ini ketika arus limbah masuk ke dalam akuarium melalui inlet yang langsung masuk ke dalam kotak 1 pada akuarium, zat yang dapat mengendap tersedimentasi di dasar akuarium. Hal ini sesuai dengan Orth (1989:195) yang menyatakan bahwa kolam eceng gondok dilengkapi dengan pembersih awal yang mampu membuang sebagian besar bahan-bahan yang mengendap dari arus air yang masuk.

2. Aktivitas Kehidupan Mikroorganisme dalam Akuarium

Di dalam akuarium ini juga terjadi aktivitas kehidupan mikroorganisme. Mikroorganisme yang berperan penting pada proses degradasi limbah diantaranya adalah *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*. Kedua bakteri tersebut berada pada akar-akar eceng gondok. Menurut Mangkoedihardjo *et al.* (2010:113) dalam fitoremediasi ada dua proses yang paling berperan penting dalam menyerap bahan organik maupun kontaminan dalam limbah cair yaitu rhizofiltrasi dan rizophodegradasi yang keduanya juga terjadi di akar eceng gondok. Pada akuarium ini limbah cair kopi melakukan kontak dengan akar eceng gondok selama proses pengolahan limbah sehingga penyerapan kontaminan dapat terjadi selama proses pengolahan limbah di dalam akuarium.

3. Sirkulasi dalam Akuarium

Sirkulasi dalam akuarium merupakan sekat-sekat kaca yang diberi lubang setengah lingkaran. Pada akuarium lubang sirkulasi berfungsi untuk mengalirkan limbah dari satu kotak ke kotak lain. Pemberian sekat dengan lubang sirkulasi ini

bertujuan untuk mencegah stratifikasi termal dan kimia sebagaimana yang dinyatakan oleh Navarro *et al.* (2011).

4.2 Hydraulic Retention Time (HRT) pada Akuarium Sirkulasi

Hydraulic Retention Time adalah jumlah waktu dalam jam untuk air limbah saat melewati lubang-lubang sirkulasi pada akuarium fitoremediasi. Perubahan nilai HRT pada proses pengolahan limbah dapat mempengaruhi sebuah aktivitas biologis. Menurut Feng (2008) penurunan HRT mempengaruhi nitrifikasi, ketika HRT meningkat maka akan meningkatkan juga reaksi nitrifikasi dan pelarutan dari koloid dan partikel BOD. Berikut ini adalah tabel hasil perhitungan HRT pada akuarium fitoremediasi dengan sirkulasi :

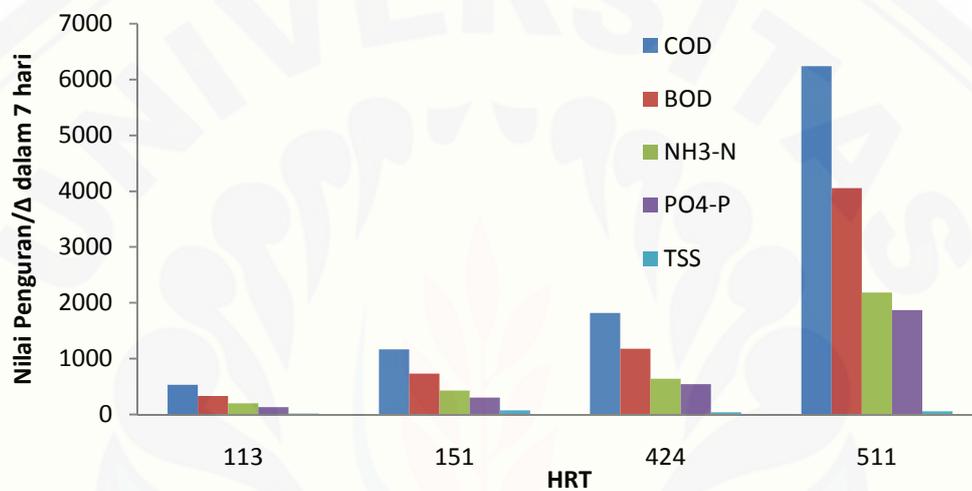
Tabel 4.1 HRT pada Akuarium Fitoremediasi dengan Sirkulasi

Debit	Kategori Debit Keluaran	Nilai Debit masuk (ml/s)	HRT
Q_A	I (Kecil)	10,09	7 jam 4 menit 21 detik
Q_B		10,61	8 jam 31 menit 50 detik
Q_C	II (Sedang)	18,93	2 jam 31 menit 38 detik
Q_D		19,22	1 jam 53 menit

Sumber : Data Primer (2015)

Berdasarkan tabel tersebut diketahui bahwa nilai debit masuk mempengaruhi nilai HRT. Kategori debit kecil memiliki nilai HRT yang lebih besar dibandingkan dengan kategori debit sedang. Berdasarkan tabel tersebut juga diketahui bahwa nilai HRT berbeda tiap perlakuan debit meskipun kategori debitnya sama. Perbedaan nilai HRT tersebut disebabkan oleh beberapa hal antara lain adalah akar-akar eceng gondok. Eceng gondok memiliki akar serabut dengan bulu-bulu akar yang lebat sehingga meskipun debit masuk dari keran sama, namun distribusi kecepatan alirannya berbeda sehingga waktu yang diperlukan untuk mengisi akuarium juga berbeda. Menurut Kodoati (2009:8) perbedaan distribusi kecepatan aliran akibat gaya gesek pada dinding saluran, bentuk tampang melintang saluran dan lokasi saluran. Gaya gesek limbah kopi yang dialirkan pada akuarium fitoremediasi mempengaruhi distribusi aliran selain itu

akar-akar eceng gondok yang lebat di dalam akuarium (lokasi saluran) juga mempengaruhi perbedaan distribusi kecepatan aliran. HRT ini perlu diketahui agar tujuan pengolahan limbah dapat dicapai secara optimal. Sugiharto (1987:8) juga menyatakan bahwa dengan diketahuinya waktu tinggal maka besarnya bangunan pengolahan limbah dapat dibuat dalam ukuran yang tepat sesuai dengan kebutuhan. Pengaruh HRT terhadap penurunan parameter pencemar pada limbah cair kopi dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut ini :



Gambar 4.4 Hubungan HRT dengan Nilai Pengurangan Parameter Pencemar

Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai HRT maka nilai penurunan parameter pencemar juga semakin besar. Hal tersebut karena saat limbah cair kopi dialirkan dengan debit kecil maka waktu kontak antara limbah cair dengan akar eceng gondok semakin lama sehingga bahan-bahan pencemar limbah cair kopi akan makin banyak diserap oleh akar. Selain itu adanya sirkulasi pada akuarium yang berfungsi untuk mencegah stratifikasi termal dan kimia diduga juga turut berpengaruh terhadap nilai penurunan beberapa parameter pencemar pada limbah cair kopi di akhir perlakuan.

4.3 Karakteristik Limbah Cair Kopi

Karakteristik limbah cair kopi berbeda-beda tergantung pengolahan dan jumlah air yang digunakan untuk mencuci kopi. Setelah dilakukan pengukuran

parameter kimia dan fisika pada limbah cair pengolahan kopi awal dari perkebunan rakyat dan perkebunan milik negara yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan data sebagai berikut ini.

Tabel 4.2 Karakteristik Limbah Cair Pengolahan Kopi

No.	Parameter Pengukuran	Nilai	Kadar Maksimum	Satuan
1	COD	580,0 - 6400,0	200	mg/l
2	BOD	360,0 - 4158,0	75	mg/l
3	TSS	47,3 - 130,5	100	mg/l
4	TDS	446,0 - 532,0		mg/l
5	Kekeruhan	71,2 - 409,0		NTU
6	pH	4,2 - 5,4	6,0 - 9,0	
7	NH ₃ -N	11,8 - 197,7		mg/l
8	PO ₄ -P	12,8 - 69,6		mg/l

Sumber : Data Primer (diolah 2015)

Nilai parameter pada limbah cair pengolahan kopi saat akan dibuang ke lingkungan harus sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan. Dari data di atas dapat dilihat bahwa nilai COD limbah cair pengolahan kopi (580 – 6400 mg/l) melebihi ambang batas baku mutu yang ditetapkan oleh keputusan Gubernur Jawa Timur No 72 tahun 2013 yaitu sebesar 200 mg/l. Nilai BOD limbah cair pengolahan kopi (360 - 1700 mg/l) juga masih melebihi ambang batas yang ditetapkan sebesar 75 mg/l. pH limbah cair pengolahan kopi adalah asam yaitu pada rentang pH 4,2–5,4.

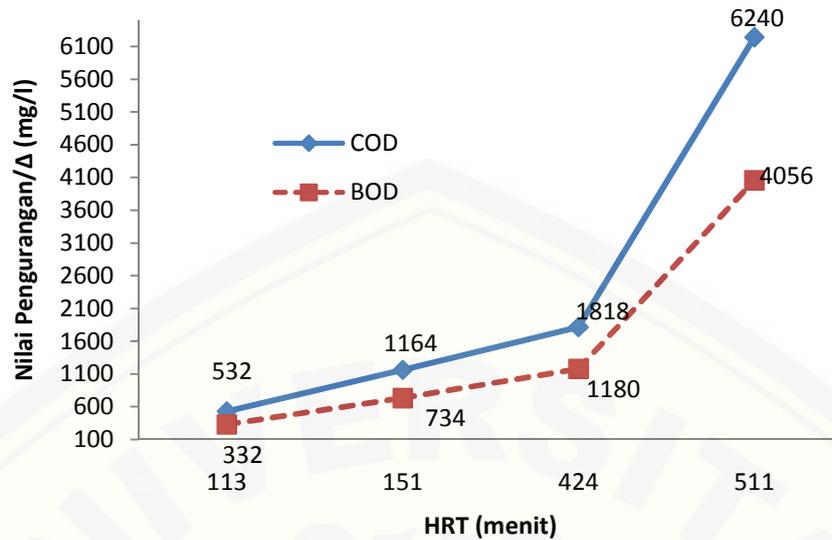
Jika dibandingkan dengan baku mutu limbah cair untuk industri pengupasan biji kopi/coklat yaitu 6,0-9,0 maka limbah cair pengolahan kopi di perkebunan rakyat dan perkebunan milik negara belum layak untuk dibuang langsung ke badan air atau lingkungan. Begitu juga untuk nilai TSS limbah cair pengolahan kopi (47,29 – 130,52 mg/l) belum layak untuk dibuang ke lingkungan karena melebihi kadar maksimum baku mutu limbah cair industri pencucian kopi (100 mg/l), agar limbah cair pengolahan kopi memenuhi baku mutu yang ditetapkan diperlukan pengolahan sebelum dibuang langsung ke badan air atau lingkungan.

4.4 Pengukuran Parameter Awal dan Akhir

4.4.1 Pengukuran COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Pengukuran atau uji COD dilakukan untuk mengetahui jumlah bahan organik di dalam air. Uji COD dilakukan berdasarkan reaksi kimia dari suatu oksidan. Tujuannya adalah menentukan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bahan oksidan, misalnya kalium dikromat, untuk mengoksidasi bahan-bahan organik yang terdapat di dalam air. Pengukuran BOD pada limbah cair kopi dilakukan untuk mengetahui jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh organisme hidup untuk memecah atau mengoksidasi bahan-bahan buangan di dalam air. Menurut Fardiaz (1992:35), jika konsumsi oksigen tinggi yang ditunjukkan dengan semakin kecilnya sisa oksigen terlarut maka kandungan bahan-bahan buangan yang membutuhkan oksigen tinggi. Organisme hidup yang bersifat aerobik membutuhkan oksigen untuk beberapa reaksi biokimia, yaitu untuk mengoksidasi bahan organik, sintesis sel, dan oksidasi sel. Oleh karena itulah pengukuran BOD pada hasil pengolahan limbah diperlukan untuk mengetahui perbedaan ukuran banyaknya oksigen yang digunakan oleh organisme selama organisme tersebut menguraikan bahan organik yang ada dalam limbah cair kopi pada saat sebelum dilakukan pengolahan dan pada akhir pengolahan limbah.

Uji COD biasanya menghasilkan nilai kebutuhan oksigen yang lebih tinggi daripada uji BOD karena bahan-bahan yang stabil terhadap reaksi biologi dan mikroorganisme dapat teroksidasi dalam uji COD (Fardiaz, 1992:38). Semakin tinggi nilai COD dan BOD dalam suatu pengukuran mengindikasikan adanya pencemaran, sehingga air yang memiliki nilai COD dan BOD tinggi memiliki kualitas yang rendah. Pada penelitian ini dilakukan penurunan nilai parameter COD dan BOD pada limbah cair kopi dengan menggunakan fitoremediasi tanaman eceng gondok pada akuarium yang telah diberi sirkulasi. Penelitian ini menggunakan beberapa debit masuk dengan nilai HRT yang berbeda. Pengaruh HRT terhadap konsentrasi penurunan nilai COD dan BOD dapat dilihat pada grafik berikut :



Gambar 4.5 Grafik Pengaruh HRT Terhadap Penurunan COD dan BOD

Berdasarkan Gambar 4.5 tersebut diketahui bahwa semakin lama waktu tinggal (HRT) maka semakin tinggi nilai penurunan kandungan COD dan BOD pada limbah cair pengolahan kopi. Nilai penurunan tertinggi pada HRT 8 jam 31 menit 50 detik dengan jumlah penurunan COD dan BOD berturut-turut adalah 6.250 mg/l dan 4.056 mg/l. Nilai penurunan yang terendah pada HRT 1 jam 53 menit dengan jumlah penurunan COD dan berturut-turut 332 mg/l dan 532 mg/l. Penurunan nilai kandungan COD dan BOD yang tinggi pada waktu tinggal 8 jam 31 menit 50 detik diduga karena semakin lama HRT maka jumlah kandungan COD dan BOD yang terserap oleh akar eceng gondok lebih banyak.

Berikut ini merupakan tabel hasil pengukuran COD dan BOD pada percobaan menggunakan akuarium eceng gondok yang diberi sirkulasi dan menggunakan 4 macam debit (Q_A , Q_B , Q_C , Q_D). Data pengukuran ditampilkan pada tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3 Efisiensi Penurunan COD dan BOD

Perlakuan	HRT	HRT (minit)	Efisiensi COD	Efisiensi BOD
Q_A	7 jam 4' 21"	113	69,44 %	69,41 %
Q_B	8 jam 31' 50"	151	97,50 %	97,55 %
Q_C	2 jam 31' 38"	424	76,18 %	76,30 %
Q_D	1 jam 53'	511	91,72 %	92,22 %

Sumber: Data Primer (diolah 2015)

Berdasarkan Tabel 4.3 diketahui bahwa adanya aliran sirkulasi pada akuarium pengolahan limbah cair kopi menggunakan eceng gondok menunjukkan secara umum terjadinya penurunan konsentrasi kandungan COD dan BOD di dalam limbah. Kadar COD pada perlakuan yang mengalami efisiensi penurunan paling tinggi adalah Q_B yaitu sebesar 97,50%. Nilai efisiensi BOD tertinggi adalah 97,50% yaitu pada saat Q_B , perhitungan nilai efisiensi dapat dilihat pada lampiran C hal 63 dan 64.

Penurunan nilai COD dan BOD limbah terjadi karena adanya mikroba pada akar tanaman yang membantu menurunkan kandungan pada limbah. Menurut Thomas (1988), proses penurunan kadar zat pencemar dalam air limbah menggunakan tumbuhan air merupakan kerjasama antara tumbuhan dan mikroba yang berasosiasi. Aliran sirkulasi pada akuarium membantu meratakan distribusi oksigen secara vertikal. Distribusi oksigen yang merata ini membantu kerja mikroba untuk menurunkan kandungan COD dan BOD pada limbah karena oksigen merupakan salah satu kebutuhan makhluk hidup salah satunya mikroba.

Penyerapan COD dan BOD oleh akar eceng gondok akan maksimal jika sirkulasi berjalan dengan lancar karena umumnya dalam perairan oksigen tidak memiliki distribusi yang merata secara vertikal dan sirkulasi yang baik akan meratakan distribusi yang tidak merata tersebut. Nilai efisiensi yang tinggi pada perlakuan Q_B tersebut terjadi karena pada perlakuan Q_B nilai HRT tinggi. Berdasarkan penelitian ini ada beberapa hal yang mempengaruhi efisiensi penurunan nilai COD dan BOD yaitu kelancaran sirkulasi yang dipengaruhi oleh kemampuan kerja alat pompa sirkulasi. Agar sirkulasi berjalan dengan lancar alat pompa sirkulasi harus dikontrol agar tidak mengalami penyumbatan. Salah satu fungsi pemberian sirkulasi pada pengolahan limbah cair tersebut bertujuan untuk mencegah stratifikasi termal. Menurut (Fatima, 2010) stratifikasi termal adalah peristiwa adanya perbedaan suhu antara dua lapisan sehingga air tidak bercampur dan memiliki sifat kimia dan biologi berbeda. Berhentinya sirkulasi pada saat pengolahan limbah cair kopi mengakibatkan efektifitas penurunan COD dan BOD kurang maksimal karena terjadi peningkatan suhu dalam air limbah yang tidak tersirkulasi dan stratifikasi termal tidak bisa dicegah. Kordi *et al.* (2007:56) juga

menyatakan bahwa suhu sangat berkaitan erat dengan konsentrasi oksigen terlarut dalam air dan konsumsi oksigen hewan air. Suhu berbanding terbalik dengan konsentrasi jenuh oksigen terlarut, tetapi berbanding lurus dengan laju konsumsi hewan air dan laju reaksi kimia dalam air. Ketika sirkulasi berjalan baik maka nilai efisiensi penurunan COD dan BOD juga tinggi. Selain kelancaran sirkulasi, hal lain yang mempengaruhi nilai efisiensi penurunan limbah adalah nilai awal kandungan COD dan BOD pada limbah cair kopi yang akan diolah. Hal tersebut terlihat pada perlakuan Q_D . Pada perlakuan Q_D nilai awal COD dan BOD limbah rendah yaitu 580,0 mg/l dan 369 mg/l. Nilai awal COD dan BOD yang rendah ini mempengaruhi efektifitas penurunan COD dan BOD pada saat pengolahan karena kerja akar eceng gondok lebih ringan ketika kandungan COD dan BOD pada limbah rendah sehingga nilai efektifitas penurunan limbah juga tinggi.

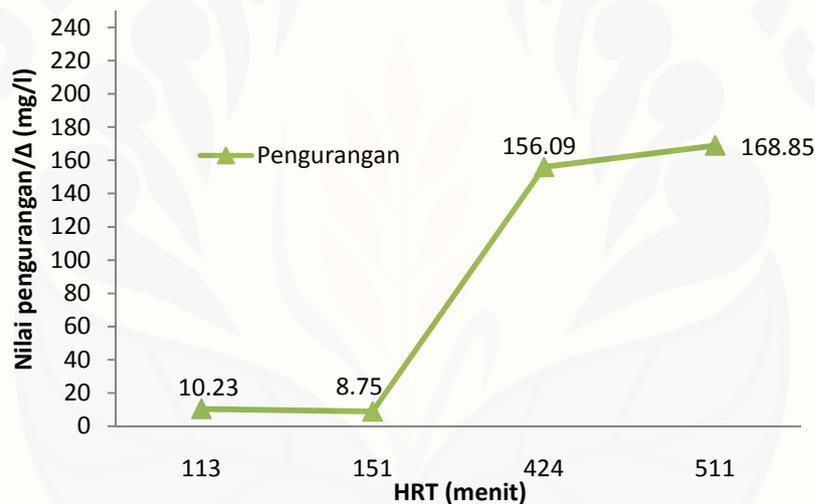
Aliran sirkulasi pada akuarium fitoremediasi limbah cair kopi mempercepat waktu pengolahan limbah cair kopi dalam akuarium dibandingkan dengan metode batch. Rahma (2014), melakukan penelitian fitoremediasi limbah cair mocaf dengan menggunakan tanaman eceng gondok yang diberi aerator dengan metode *batch* (menggenang) mampu menurunkan kandungan COD 88,70%.-95,58% dalam waktu 12 hari sedangkan pemberian sirkulasi pada akuarium fitoremediasi limbah kopi mampu menurunkan kandungan COD limbah sebesar 69,44%-97.50% dalam waktu 7 hari. Perlakuan dengan menggunakan debit kecil dapat menjadi alternatif pengolahan limbah cair kopi apabila nilai COD dan BOD awal tinggi karena nilai efisiensinya 97,50% dan 97,55% dan waktu pengolahan limbah lebih singkat.

4.4.2 Amonia (NH_3) pada N total

Menurut Hardyanti dan Rahayu (2007), nitrogen di perairan terdapat dalam bentuk gas N_2 , NO_2^- , NH_3 dan NH_4^+ serta sejumlah N yang berikatan dalam organik kompleks. Keuntungan lain dari tanaman eceng gondok adalah dapat menyerap senyawa nitrogen dari air yang tercemar, sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai komponen utama pembersih air limbah dari berbagai industri dan rumah tangga.

Analisis terhadap amonia, nitrit, dan nitrat perlu dilakukan karena ketiga parameter ini dapat mereduksi kandungan oksigen di dalam air dampak lanjutan adalah kadar oksigen terlarut dalam air turun dan mengakibatkan kematian biota air seperti ikan, hal ini juga dapat membahayakan kesehatan manusia (Jenie dan Rahayu, 1993:136). Oleh karena itu dilakukan analisis amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) pada awal dan akhir perlakuan menggunakan akuarium eceng gondok yang diberi sirkulasi untuk mengetahui keefektifan pemberian sirkulasi pada pengolahan limbah cair kopi.

Penelitian ini menggunakan 4 macam debit masuk dengan nilai HRT yang berbeda. Pengaruh HRT terhadap konsentrasi penurunan nilai amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) dapat dilihat pada grafik berikut :



Gambar 4.6 Grafik Pengaruh HRT Terhadap Penurunan $\text{NH}_3\text{-N}$

Berdasarkan gambar 4.6 di atas diketahui bahwa nilai penurunan tertinggi kandungan amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) adalah pada waktu tinggal 8 jam 31 menit 50 detik dengan nilai penurunan sebesar 168,85 mg/l. Nilai pengurangan ammonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) tertinggi adalah pada HRT terlama karena amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) terserap lebih banyak oleh akar eceng gondok.

Setelah diketahui nilai pengurangan awal sebelum perlakuan dan akhir perlakuan, selanjutnya dihitung nilai efisiensi penurunan amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$).

Berikut ini merupakan tabel hasil perhitungan efisiensi penurunan amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$):

Tabel 4.4 Efisiensi Penurunan amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$)

Perlakuan	HRT (jam)	HRT (menit)	Efisiensi (%)
Q_A	7 jam 4' 21"	113	79,35
Q_B	8 jam 31' 50"	151	75,36
Q_C	2 jam 31' 38"	424	15,81
Q_D	1 jam 53'	511	86,77

Sumber : Data Primer (diolah 2015)

Berdasarkan Tabel 4.4 diketahui bahwa secara umum aliran sirkulasi pada akuarium fitoremediasi limbah cair kopi mampu menurunkan kadar amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) dalam limbah cair pengolahan kopi. Nilai efisiensi amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) tertinggi adalah 86,8% yaitu pada saat debit Q_D . Nilai efisiensi terendah adalah 15,81% yaitu pada saat perlakuan Q_C . Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai efisiensi amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) adalah nilai awal amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$). Nilai awal amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) yang rendah ini mempengaruhi efektifitas penurunan amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) pada saat pengolahan karena kerja akar eceng gondok lebih ringan ketika kandungan amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) pada limbah rendah sehingga nilai efisiensi kandungan amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) limbah juga tinggi.

Penurunan nilai amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) disebabkan karena amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) mengalami transformasi. Effendi (2003:78) menyatakan bahwa transformasi nitrogen secara mikrobiologi pada asimilasi nitrogen anorganik (nitrat dan ammonium) dilakukan oleh tumbuhan dan *mikroorganisme* (bakteri autotrof) untuk membentuk nitrogen organik misalnya asam amino dan protein. Perombakan amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) menjadi nitrat (NO_3), suatu bentuk yang tidak berbahaya, dalam proses nitrifikasi dengan bantuan bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*. Aktivitas dekomposisi oleh bakteri jenis ini yang mampu mengubah amoniak menjadi nitrat akan lebih meningkat ketika oksigen hasil fotosintesis di daun dan tangkai daun ditransfer ke akar serta air di sekitarnya. Inilah yang membuat rizosfer menyediakan lingkungan mikro dengan kondisi yang kondusif bagi bakteri nitrit.

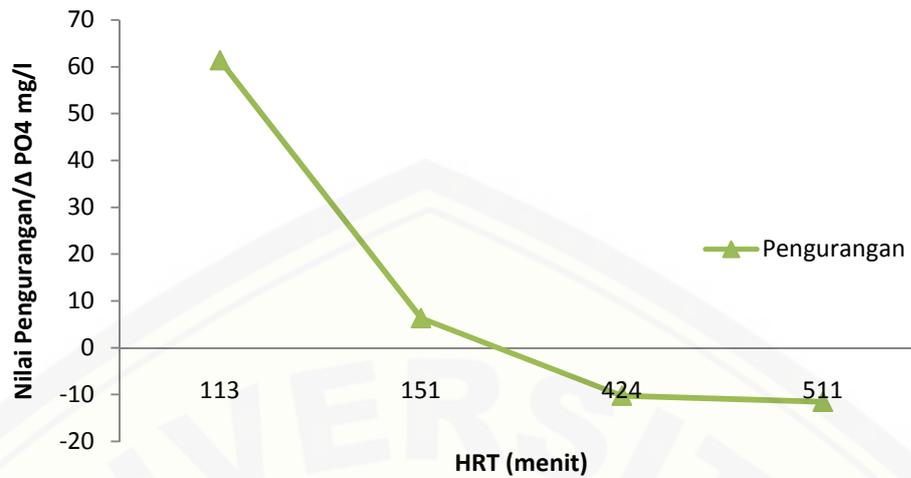
Aerasi akan sangat menunjang proses nitrifikasi (Kordi *et al.*, 2007:90). Pada penelitian ini aerasi digantikan oleh sirkulasi yang fungsinya hampir sama sehingga proses nitrifikasi terjadi secara optimal. Proses nitrifikasi ini penting karena senyawa amonia dapat digunakan oleh fitoplankton dan tumbuhan air setelah diubah menjadi nitrit dan nitrat oleh bakteri dalam proses nitrifikasi. Penurunan nilai amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) oleh tumbuhan eceng gondok dapat terjadi karena adanya bantuan bakteri nitrifikasi yang ada pada akar-akar eceng gondok. Selain itu menurut Kordi *et al.* (2007:91) presentase $\text{NH}_3\text{-N}$ dari amonia total dipengaruhi oleh salinitas, konsentrasi oksigen, suhu dan pH air. Jika pH tinggi maka daya racun amonia meningkat. Pada akhir perlakuan hari ke-7 pH limbah cair kopi berada pada kisaran netral (6,78-8,22) sehingga nilai amonia turun.

Dengan demikian aliran sirkulasi pada akuarium fitoremediasi dapat menurunkan nilai amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) pada limbah cair pengolahan kopi. Perlakuan Q_A dan Q_B (debit kecil) dapat dijadikan alternatif menurunkan kandungan amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) apabila nilai karakteristik awal limbah tinggi. Hal tersebut disebabkan karena perlakuan ini mampu menurunkan nilai amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) sebesar 156,09 mg/l - 168,85 mg/l dengan efisiensi sebesar 75,36% dan 79,35% dalam waktu 7 hari.

4.4.3 Fosfat (PO_4) pada P total

Fosfat merupakan bentuk fosfor yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan. Fosfat merupakan unsur yang penting dalam pembentukan protein dan membantu proses metabolisme sel suatu organisme. Keberadaan fosfat di dalam air akan terurai menjadi senyawa ionisasi, antara lain dalam bentuk ion H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} (Hutagalung *et al.*, 1997:101). Pada penelitian ini analisis yang dilakukan adalah pada jumlah fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) pada awal karakteristik limbah dan akhir setelah perlakuan menggunakan akuarium eceng gondok yang diberi sirkulasi.

Penelitian ini menggunakan 4 macam debit masuk pada akuarium fitoremediasi dengan sirkulasi. Masing-masing debit masuk memiliki nilai HRT yang berbeda. Pengaruh HRT terhadap konsentrasi penurunan nilai fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) dapat dilihat pada grafik berikut :



Gambar 4.7 Grafik Pengaruh HRT Terhadap Penurunan PO₄-P

Berdasarkan Gambar 4.7 diketahui bahwa nilai penurunan kandungan fosfat (PO₄-P) adalah pada HRT 1 jam 53 menit dengan nilai penurunan sebesar 61,37 mg/l. Nilai penurunan terendah adalah pada 8 jam 31 menit 50 detik dengan nilai penurunan sebesar -11,52 mg/l. Nilai (-) minus tersebut terjadi karena terjadi peningkatan jumlah fosfat (PO₄-P) pada akhir perlakuan. Berdasarkan grafik juga diketahui bahwa semakin besar nilai HRT menyebabkan nilai fosfat (PO₄-P) semakin meningkat.

Setelah dilakukan perhitungan terhadap jumlah pengurangan nilai fosfat (PO₄-P) selanjutnya dilakukan perhitungan efisiensi. Berikut ini merupakan tabel hasil pengukuran efisiensi penurunan fosfat (PO₄-P) pada penelitian ini. Data pengukuran ditampilkan pada table 4.5 berikut ini:

Tabel 4.5 Efisiensi Penurunan Fosfat (PO₄)

Perlakuan	HRT	HRT (menit)	Efisiensi (%)
Q _A	7 jam 4' 21"	113	-80,00
Q _B	8 jam 31' 50"	151	-16,55
Q _C	2 jam 31' 38"	424	48,36
Q _D	1 jam 53'	511	98,63

Sumber : Data Primer (diolah 2015)

Berdasarkan data hasil efisiensi di atas diketahui bahwa nilai efisiensi fosfat (PO₄-P) yang paling tinggi pada saat perlakuan Q_D (98,63%). Hal ini dapat

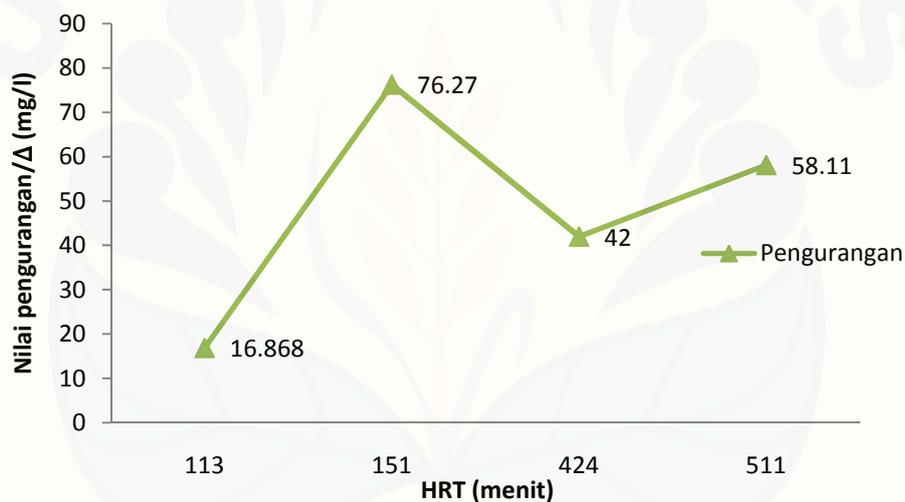
disebabkan karena terdapat bakteri aktif pada akar tumbuhan eceng gondok. Fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) diabsorpsi oleh fitoplankton dan seterusnya masuk ke dalam rantai makanan. Menurut Stefany *et al.*, (2013) tumbuhan eceng gondok sudah mengandung fosfat di jaringan tumbuhan yang berasal dari tempat eceng gondok itu diambil, sehingga jumlah fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) juga dipengaruhi hal tersebut. Pada perlakuan Q_A dan Q_B nilai efisiensi fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) -80,00% dan -16,55%. Nilai efisiensi eceng gondok minus (-) karena nilai akhir fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) mengalami kenaikan pada hari ke-7 setelah perlakuan.

Nilai fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) dalam limbah cair kopi pada perlakuan Q_A mengalami peningkatan pada akhir perlakuan sehingga nilai efisiensi minus (-). Meningkatnya nilai fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) disebabkan karena tidak adanya penyerapan fosfat oleh eceng gondok sehingga fosfat terlarut kedalam limbah. Larutnya fosfat dalam limbah juga disebabkan oleh suhu dan pH. Suhu udara yang naik menyebabkan fosfat terlarut sehingga kandungan fosfat dalam air limbah meningkat. Hal ini juga sesuai dengan pernyataan Effendi (2003:158) yang menyatakan bahwa di perairan, bentuk unsur fosfor berubah secara terus menerus akibat proses dekomposisi dan sintesis antara bentuk organik, dan bentuk anorganik yang dilakukan oleh mikroba. Perubahan polifosfat menjadi ortofosfat pada air limbah yang mengandung banyak bakteri lebih cepat dibandingkan dengan perubahan yang terjadi pada air bersih.

Semua polifosfat mengalami hidrolisis membentuk ortofosfat. Perubahan ini bergantung pada suhu yang mendekati titik didih, perubahan polifosfat menjadi ortofosfat berlangsung cepat. Kecepatan ini meningkat dengan menurunnya nilai pH. Pada perlakuan dengan debit kecil nilai pH lebih rendah dibanding dengan perlakuan dengan debit sedang sehingga ada kemungkinan nilai fosfat pada limbah meningkat juga dipengaruhi hal tersebut. Selain itu kenaikan nilai fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) ini juga diduga karena adanya fitoplankton yang mati akibat pembusukan sebagian tanaman eceng gondok pada perlakuan Q_A dan Q_B . Ketika fitoplankton mati, organik-P dengan cepat berubah menjadi fosfat. Banyak fitoplankton yang dikonsumsi oleh zooplankton, proses ini menghasilkan PO_4 sehingga nilai fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) meningkat di akhir perlakuan.

4.4.4 Pengukuran TSS

Total padatan tersuspensi adalah bahan-bahan tersuspensi (diameter > 1 μ m) yang tertahan pada saringan *milipore* dengan diameter pori 0,45 μ m. TSS terdiri atas lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik terutama yang diakibatkan oleh kikisan tanah atau erosi yang terbawa ke dalam badan air. Pengukuran TSS perlu dilakukan agar saat limbah dibuang langsung ke badan air tidak mengganggu kehidupan biota air. Untuk mengetahui pengaruh pemberian sirkulasi terhadap penurunan nilai TSS limbah cair kopi pada penelitian ini digunakan beberapa nilai debit masuk dengan nilai HRT yang berbeda. Pengaruh HRT terhadap konsentrasi penurunan nilai TSS dapat dilihat pada Gambar 4.8 berikut :



Gambar 4.8 Grafik Pengaruh HRT Terhadap Penurunan TSS

Berdasarkan grafik diketahui bahwa nilai penurunan tertinggi kandungan TSS adalah pada HRT 2 jam 31 menit 38 detik dengan nilai penurunan sebesar 76,27 mg/l. Nilai penurunan terendah adalah pada 1 jam 53 menit detik dengan nilai penurunan sebesar 16,86 mg/l.

Setelah dihitung nilai pengurangan awal dan akhir perlakuan dilakukan perhitungan efisiensi. Nilai pengukuran efisiensi penurunan TSS pada penelitian menggunakan akuarium eceng gondok yang diberi sirkulasi dan menggunakan perlakuan debit kecil dan sedang ini adalah sebagai berikut :

Tabel 4.6 Efisiensi Penurunan TSS

Perlakuan	HRT	HRT (menit)	Efisiensi (%)
Q _A	7 jam 4' 21"	113	41,84
Q _B	8 jam 31' 50"	151	57,80
Q _C	2 jam 31' 38"	424	58,44
Q _D	1 jam 53'	511	35,67

Sumber : Data Primer (diolah 2015)

Pada Tabel 4.6 tersebut diketahui bahwa aliran sirkulasi menurunkan nilai TSS pada akhir perlakuan. Dari tabel tersebut diketahui bahwa efisiensi penurunan yang paling tinggi adalah perlakuan Q_C (58,44%), yang terendah adalah perlakuan dengan Q_D (35,67%). Perbedaan efisiensi yang tidak terlalu signifikan ini mengindikasikan bahwa perbedaan perlakuan debit dan HRT tidak mempengaruhi penurunan TSS pada limbah cair kopi walau secara umum aliran sirkulasi mampu menurunkan nilai TSS limbah cair kopi.

Penurunan TSS tersebut terjadi karena pada proses fitoremediasi yang memegang peranan penting untuk menyerap atau mengurangi kandungan polutan dalam air limbah adalah akar. Tumbuhan eceng gondok memiliki akar yang panjang dan banyak sehingga mampu menyerap kandungan TSS pada limbah cair kopi. EPA (2012) menyatakan bahwa akar tanaman mampu menyerap kontaminan melalui proses alami salah satunya yaitu menarik kontaminan ke dalam akar. Di dalam akar tersebut terdapat mikroba yang berfungsi untuk menghilangkan bahan kimia berbahaya. Selain itu sirkulasi pada kolam juga turut berperan membantu laju fotosintesis.

Berdasarkan data tersebut diketahui bahwa TSS limbah cair pengolahan kopi setelah diberi perlakuan dengan menggunakan akuarium eceng gondok yang diberi sirkulasi sudah sesuai dengan baku mutu limbah cair kopi berdasarkan keputusan gubernur no 72 tahun 2013 (100 mg/l) bahkan nilai TSS setelah perlakuan lebih rendah (58,38 mg/l; 54,25 mg/l; 42,43 mg/l; 30,42 mg/l).

4.5 Pengukuran Parameter Harian

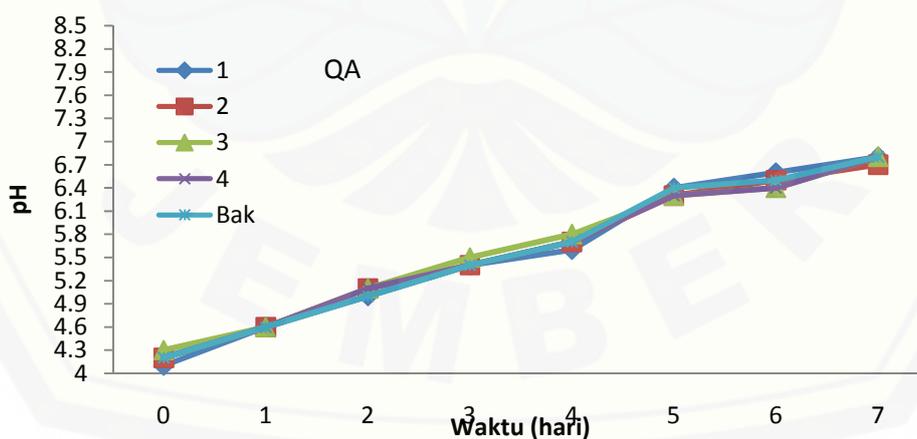
Pengukuran parameter harian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan parameter-parameter yang ada dalam limbah per harinya serta nilai parameter

tersebut sebelum perlakuan dan setelah perlakuan. Beberapa parameter harian yang diukur adalah sebagai berikut:

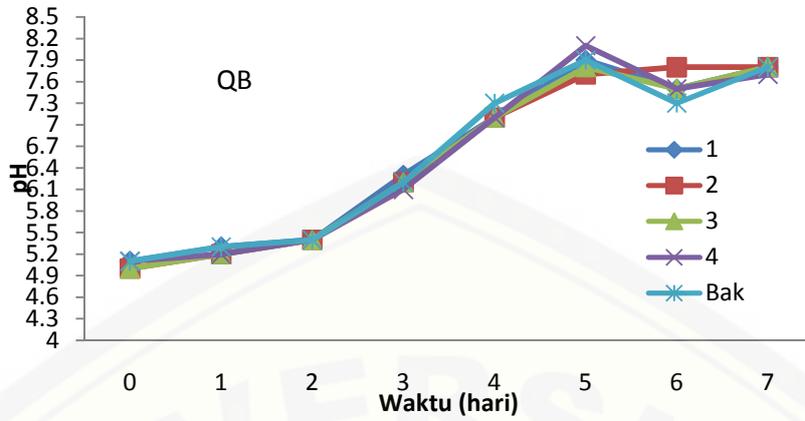
4.5.1 Derajat Keasaman (pH)

Menurut Kordi *et al.* (2007:67) pH adalah derajat keasaman dan merupakan singkatan dari *puissance de H*. Derajat keasaman atau pH air menunjukkan aktivitas ion hidrogen dalam suatu larutan dan dinyatakan sebagai konsentrasi ion hidrogen (dalam mol per liter) dalam suhu tertentu.

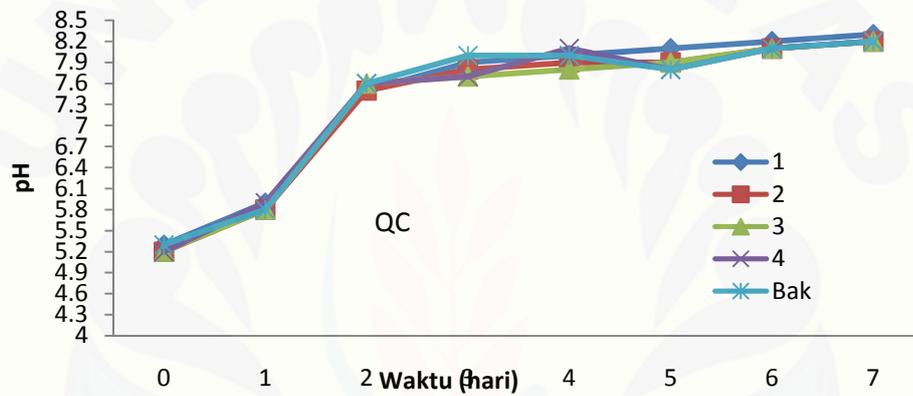
Dari pengukuran karakteristik awal limbah cair kopi diketahui bahwa pH limbah cair kopi adalah asam yaitu 4,2; 4,7; 5,2 dan 5,4. Nilai pH pada limbah cair kopi tersebut masih terlalu asam untuk dibuang langsung ke badan air dan belum sesuai dengan standar baku mutu yang ditetapkan oleh keputusan gubernur no 72 tahun 2013 yaitu berkisar antara 6,0 – 9,0. Air buangan limbah cair yang terlalu asam akan sangat mengganggu kehidupan biota air. Selain itu air yang mempunyai pH asam bersifat sangat korosif. Pada penelitian ini nilai pH diukur setiap hari. Pengukuran pH dilakukan pada setiap kotak akuarium untuk mengetahui pengaruh sirkulasi terhadap nilai pH tiap kotak akuarium fitoremediasi. Nilai kenaikan pH dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.9



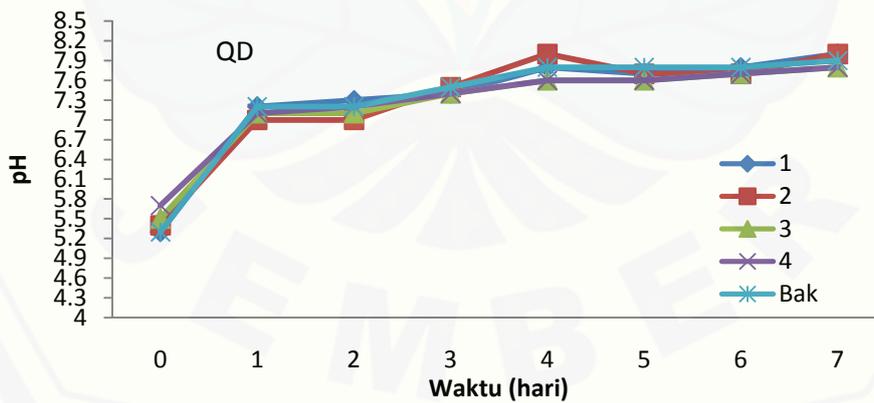
(a)



(b)



(c)



(d)

(a) Grafik pengukuran pH pada debit Q_A ; (b) Grafik pengukuran pH pada debit Q_B ;
 (c) Grafik pengukuran pH pada debit Q_C ; (d) Grafik pengukuran pH pada debit Q_D

Gambar 4.9 Grafik Pengukuran pH Harian pada Tiap Perlakuan Debit

Berdasarkan Gambar 4.9 pada perlakuan debit Q_A , pH mengalami kenaikan sebesar 2,58-2,72 pada hari ke-7 dari pH awal sedangkan perlakuan debit Q_B mengalami kenaikan sebesar 2,78 pada hari ke-7 dari pH awal. Pada perlakuan Q_A pH pada masing-masing kotak memiliki nilai yang hampir sama karena adanya sirkulasi dengan aliran yang pelan pada kolam yang mencegah stratifikasi termal sehingga terjadi pemerataan pH, sedangkan pada perlakuan Q_C dan Q_D ada sedikit perbedaan nilai pH antara kotak satu dengan yang lain walaupun selisih nilainya kecil. Perbedaan ini disebabkan aliran sirkulasi yang sedikit lebih cepat sehingga daya serap terhadap pH mengalami perbedaan. pH limbah pada keseluruhan perlakuan mengalami perubahan dari asam menjadi netral hal tersebut terjadi akibat adanya aliran sirkulasi pada akuarium fitoremediasi limbah cair kopi.

Selain itu, naik atau turunnya pH tersebut dapat dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu respirasi plankton/tanaman dan fotosintesis plankton/tanaman. Menurut Kordi *et al.* (2007:98) perairan umum dengan segala aktivitas fotosintesis dan respirasi makhluk hidup yang ada di dalamnya membentuk reaksi berantai karbonat-karbonat sebagai berikut :



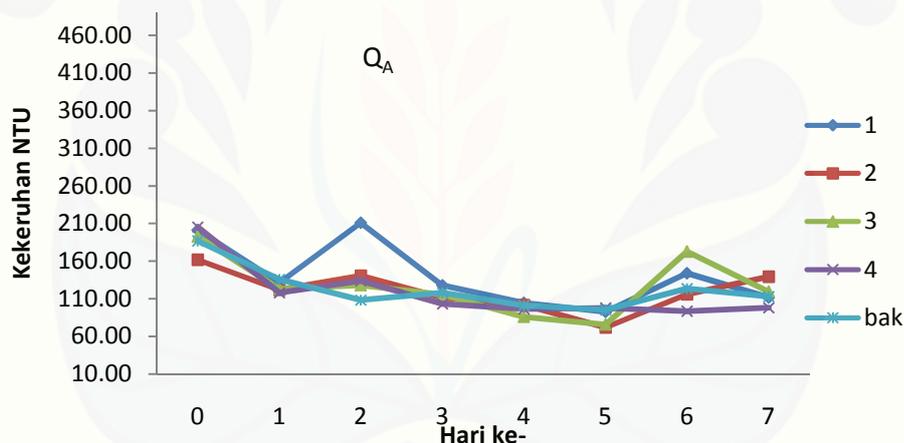
Semakin banyak CO_2 yang dihasilkan dari hasil respirasi, reaksi bergerak ke kanan dan secara bertahap melepaskan ion H^+ yang menyebabkan pH air turun. Reaksi sebaliknya terjadi dengan aktivitas fotosintesis yang membutuhkan banyak ion CO_2 , menyebabkan pH air naik. Kenaikan pH pada limbah cair tersebut terjadi karena adanya proses fotosintesis fitoplankton yang ada dalam air limbah maupun tanaman eceng gondok.

Pada saat berfotosintesis tanaman eceng gondok membutuhkan banyak ion CO_2 sehingga pH air naik. Adanya karbonat, bikarbonat dan hidroksida juga akan menaikkan kebasaaan air, sementara adanya asam mineral bebas dan asam karbonat menaikkan keasaman suatu perairan. Rata-rata nilai pH limbah cair pengolahan kopi di akhir perlakuan adalah 6,8; 7,8; 7,9; 8,2 mengalami peningkatan dari pH awal sebelum perlakuan dan sudah sesuai dengan baku mutu

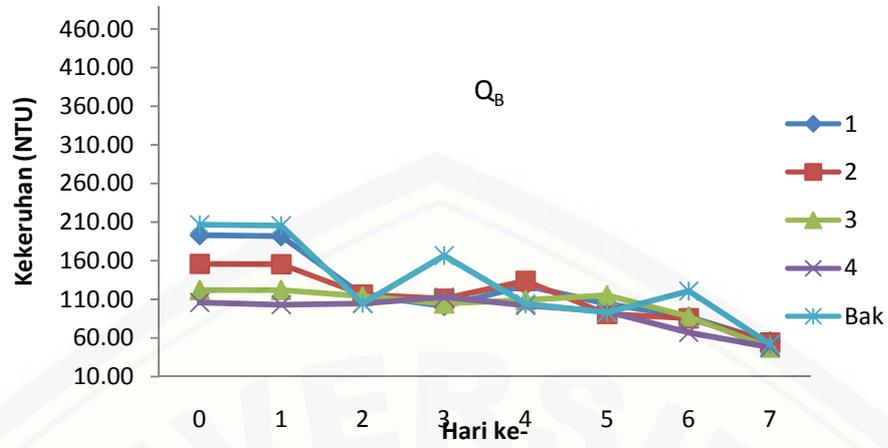
yang ditetapkan berdasarkan keputusan gubernur no 72 tahun 2013 yaitu sebesar 6,00-9,00.

4.5.2 Pengukuran Kekeruhan

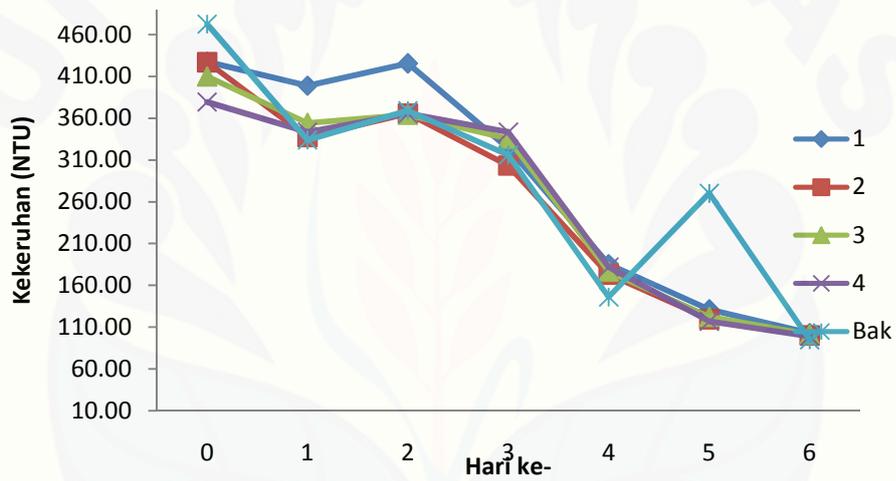
Kekeruhan dalam air disebabkan oleh materi yang tidak larut. Jenis-jenis partikel yang tersuspensi dalam air terdiri dari materi organik, materi anorganik dan organisme hidup atau mati (Gusrina, 2012). Pada penelitian ini dilakukan pengukuran terhadap tingkat kekeruhan limbah cair kopi karena menurut Effendi (2003:67) tingginya nilai kekeruhan juga dapat mempersulit usaha penyaringan dan mengurangi efektivitas desinfeksi pada proses penjernihan air. Dengan mengetahui kecerahan suatu perairan, kita dapat mengetahui sampai di mana masih ada kemungkinan terjadi proses asimilasi dalam air (Hutagalung *et al.*, 1997:80). Besar kenaikan pH dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.10



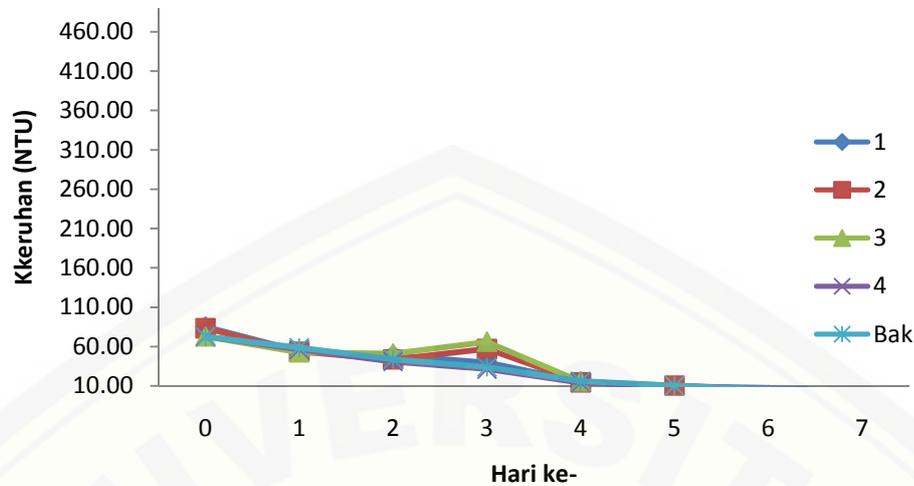
(a)



(b)



(c)



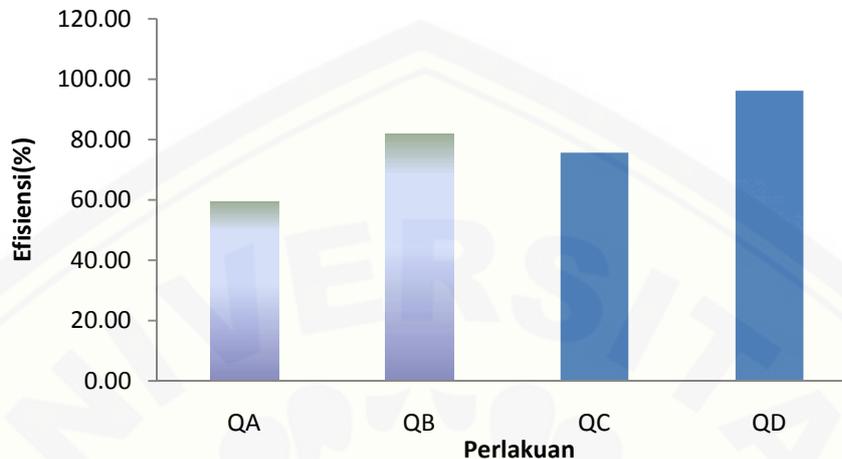
(d)

(b) Grafik kekeruhan pada debit Q_A ; (b) Grafik kekeruhan pada debit Q_B ; (c) Grafik kekeruhan pada debit Q_C ; (d) Grafik kekeruhan pada debit Q_D

Gambar 4.10 Grafik Pengukuran Kekeruhan Harian

Dari Gambar 4.10 diketahui bahwa aliran sirkulasi mampu menurunkan nilai kekeruhan sebelum dan setelah perlakuan. Pada hampir semua debit (Q_A , Q_B , Q_C , dan Q_D) kekeruhan mengalami kenaikan dan penurunan setiap harinya hal tersebut karena adanya aliran turbulensi pada lubang sirkulasi yang menyebabkan perubahan kekeruhan setiap harinya. Meskipun demikian nilai kekeruhan pada perlakuan Q_A dan Q_B mengalami penurunan di akhir perlakuan. Penurunan nilai kekeruhan ini mengindikasikan bahwa materi yang tidak larut dalam limbah mengalami pengurangan. Berkurangnya materi yang tidak larut ini disebabkan oleh adsorpsi oleh akar eceng gondok pada proses rhizofiltrasi seperti yang dikatakan oleh Mangkoedihardjo *et al.* (2010:132) bahwa rhizofiltrasi merupakan proses adsorpsi atau presipitasi kontaminan pada akar atau penyerapan ke dalam akar. Proses adsorpsi adalah ikatan ionik, proses ini terjadi karena adanya perbedaan muatan ion akar dan muatan ion kontaminan dalam limbah. Nilai pengurangan pada masing-masing perlakuan Q_A , Q_B , Q_C , dan Q_D berturut-turut adalah 170,4 mg/l; 285,8 mg/l; 309,5 mg/l; dan 68,5 mg/l. Nilai pengurangan kekeruhan tertinggi adalah pada debit Q_C (309,5 mg/l) dari kekeruhan awal 409,00

mg/l menjadi 99,47 mg/l. Nilai efisiensi kekeruhan pada limbah cair pengolahan kopi di awal dan akhir perlakuan (hari ke-7) adalah sebagai berikut :



Gambar 4.11 Grafik Efisiensi Penurunan Kekeruhan

Berdasarkan Gambar 4.11 diketahui bahwa nilai efisiensi tertinggi adalah pada perlakuan debit Q_D (96,15%) dan efisiensi terendah adalah pada perlakuan Q_A (59,45%). Nilai kekeruhan pada debit kategori I karena diduga saat debit kecil aliran air di permukaan akuarium agak tenang sehingga materi yang belum terlarut sebagian masih terapung di permukaan akuarium dan terbaca saat dilakukan analisis karena analisis kekeruhan mengambil sampel dari permukaan kolam. Dengan demikian pemberian sirkulasi pada akuarium fitoremediasi eceng gondok mampu menurunkan nilai kekeruhan Q_A dan Q_B mampu menurunkan nilai kekeruhan pada limbah cair kopi dengan efisiensi 59,45 % - 96,15 % dalam waktu 7 hari.

4.5.3 Morfologi Tanaman Eceng Gondok pada Saat Fitoremediasi

Tumbuhan eceng gondok adalah salah satu tumbuhan mengapung yang mampu menyerap dan mendegradasi zat hara. Menurut Pandjaitan (2008) spesies tumbuhan mengapung digunakan karena tingkat pertumbuhannya yang tinggi dan kemampuannya untuk langsung menyerap hara dari kolom air. Akarnya menjadi tempat filtrasi dan adsorpsi padatan tersuspensi pada pertumbuhan mikroba yang menghilangkan unsur-unsur hara dari kolom air (Mangkoediharjo, 2005). Pengamatan morfologi dilakukan pada beberapa bagian tanaman yaitu :

a. Daun

Hasil pengamatan terhadap morfologi daun pada tanaman eceng gondok menunjukkan bahwa daun–daun pada limbah cair kopi pada perlakuan debit Q_A dan Q_B serta pada Q_C berwarna kecoklatan dan agak kering pada tepi-tepinya. Namun, pada perlakuan debit Q_D daun eceng gondok masih tetap hijau sampai akhir (hari ke-7) seperti yang terlihat pada gambar 4.12.



(a)



(b)



(c)



(d)

(a) Q_A , (b) Q_B , (c) Q_C , (d) Q_D

Gambar 4. 12 Morfologi Daun Eceng Gondok

Meskipun pada hari terakhir perlakuan eceng gondok tidak mati seluruhnya dan tersisa daun yang segar namun tetap terjadi pengeringan pada daun dimulai dari tepi-tepi daun. Pengeringan pada tepi daun disebabkan karena penghambatan metabolisme pada tepi-tepi daun. Penelitian yang dilakukan Haryati *et al.* (2009) menggunakan eceng gondok pada limbah pengecoran logam dan daun eceng gondok menjadi kering karena penghambatan metabolisme pada sel-sel tepi daun, sehingga kekurangan nutrisi dan akhirnya sel mati. Pada

penelitian ini perlakuan dengan debit kategori II tidak mati sampai hari terakhir perlakuan karena beban pencemaran limbah rendah (COD dan BOD) kecil yaitu 540 mg/l untuk COD dan 360 mg/l untuk BOD.

Beban pencemaran yang tinggi menyebabkan metabolisme pada sel daun terhambat dan begitu pula sebaliknya namun meskipun beban pencemaran tinggi tumbuhan tetap mengangkutnya untuk proses metabolisme. Menurut Sudarnadi (1996:112), tumbuhan mempunyai alat pengangkut yang disebut xylem. Tumbuhan tidak memiliki daya memilih makanan yang diserapnya, sehingga makanan yang tersedia dalam air limbah langsung diangkutnya tanpa seleksi. Hal ini menyebabkan tumbuhan tidak dapat memilih unsur apa yang perlu dan merugikan baginya.

b. Akar

Pada pengamatan morfologi akar diketahui bahwa tidak ada perubahan berarti pada akar hanya saja akar lebih berwarna coklat diduga karena menyerap bahan pencemar dalam limbah cair kopi. Penyerapan bahan pencemar dalam limbah kopi juga dibantu oleh mikroba seperti yang dikatakan oleh (Syahrul, 1998) kemampuan penyerapan eceng gondok juga karena pada akarnya terdapat mikroba rhizosfera yang mengakumulasi logam berat. Mikroba *rhizosfera* adalah bentuk simbiosis antara bakteri dengan jamur, yang mampu melakukan penguraian terhadap bahan organik maupun anorganik yang terdapat dalam air dan sekaligus menggunakannya sebagai sumber nutrisi.

Panjang akar eceng gondok tidak terpengaruh oleh limbah pencemar. Hal ini diduga karena akar merupakan organ penyokong, sehingga dalam keadaan apapun tahan terhadap lingkungannya. Penyerapan hara dan logam pencemar yang terjadi akan ikut aliran air dan atau dapat terakumulasi pada organ selain akar. Pembelahan mitosis yang terjadi pada meristem akar berjalan relatif sama, sehingga panjang akar juga sama (Haryati *et al.*, 2009)

Selain karena akar kemampuan eceng gondok dalam penyerapan disebabkan adanya vakuola dalam struktur sel. Adanya vakuola menyebabkan pertukaran atau penyerapan bahan tercemar antara sebuah sel dengan sekelilingnya menjadi lebih efisien (Febrianingsih, 2013)

c) Bunga

Hasil pengamatan pada tanaman eceng gondok diketahui bahwa tanaman eceng gondok pada perlakuan Q_A dan perlakuan Q_D masih mampu berbunga saat tanaman digunakan untuk fitoremediasi limbah cair kopi di dalam kolam yang diberi sirkulasi, seperti yang terlihat pada gambar 4.13 berikut ini :



(a) bunga mekar, (b) bunga layu

Gambar 4.13 Morfologi Bunga Eceng Gondok

Bunga pada tanaman eceng gondok yang ditanam pada kolam sirkulasi yang berisi limbah cair kopi mulai layu pada hari ke-2 dan benar-benar layu pada hari ke-3. Proses pembungaan pada dasarnya merupakan interaksi dari pengaruh dua faktor besar, yaitu faktor eksternal (lingkungan) dan internal (Elisa, 2009). Faktor eksternal (lingkungan) antara lain suhu, cahaya, kelembaban, dan unsur hara. Faktor internal yaitu fitohormon dan genetik. Pada saat eceng gondok ditanam pada kolam sirkulasi yang berisi limbah cair kopi diduga karena faktor tersebut masih terpenuhi.

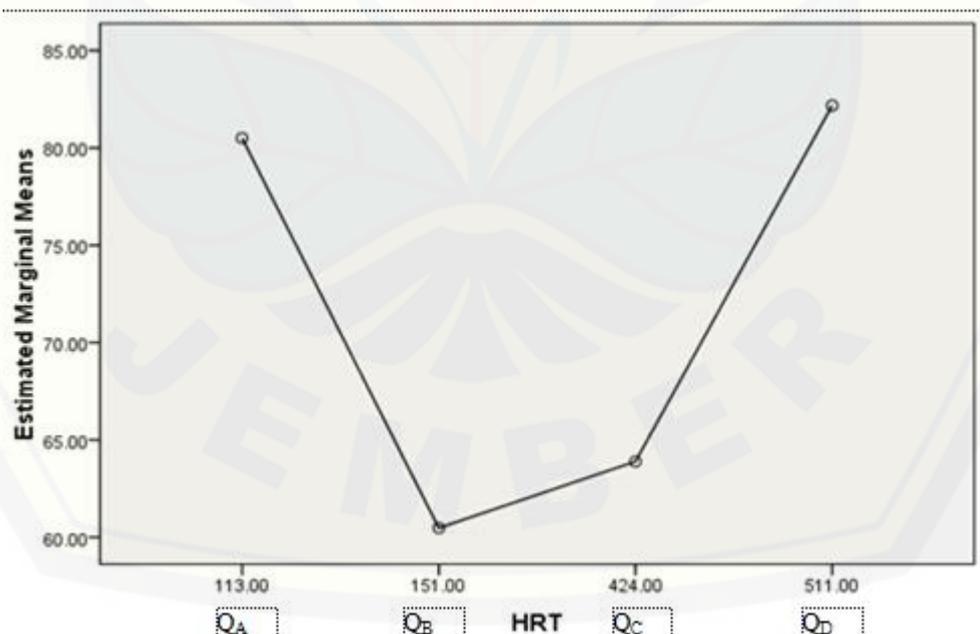
Suhu pertumbuhan optimum adalah 25-30 derajat C, suhu pertumbuhan maksimum adalah 33-35 derajat (Elisa, 2009). Suhu pada kolam sirkulasi berkisar antara 28-33 derajat C sehingga kondisi tersebut masih memenuhi batas pertumbuhan maksimum eceng gondok. Begitu pula dengan unsure hara, keberadaan unsur hara dalam tanah berhubungan dengan ketersediaan suplai energi dan bahan pembangun bagi proses pembentukan dan perkembangan bunga.

Unsur hara yang mempengaruhi pembungaan adalah *carbon/protein rasio* dan *carbon/ nitrogen ratio*. Karbon sebagian besar diperoleh dari mobilisasi

cadangan makanan dan hasil fotosintesis. Konsentrasi karbon yang tinggi menentukan ketersediaan energi dan akumulasi makanan untuk pembentukan bunga. Selain itu adanya unsur fosfor dalam limbah cair kopi juga menjadi salah satu faktor pembungaan pada eceng gondok. Yuwono (2002) menyatakan bahwa unsur fosfor berfungsi untuk pembelahan sel, pembentukan albumin, pembentukan bunga, buah dan biji.

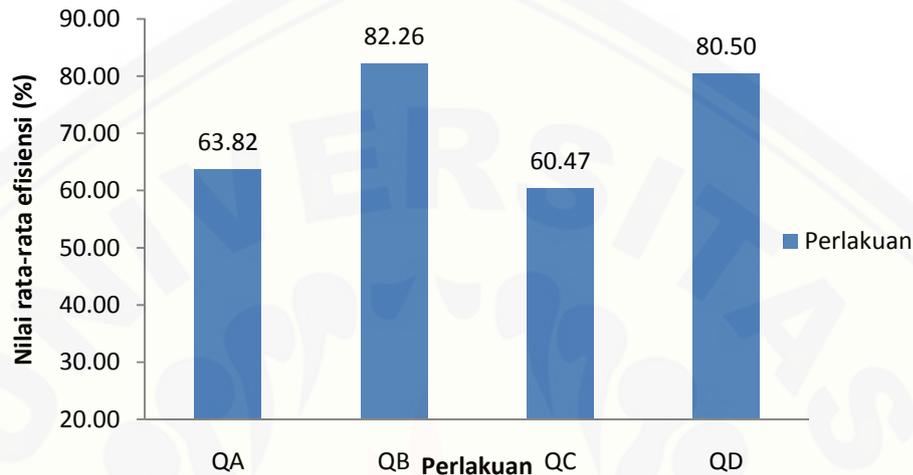
4.6 Analisis Perlakuan Terbaik Sistem Sirkulasi pada Proses Fitoremediasi

Untuk mengetahui perlakuan terbaik pada seluruh parameter yang diamati dalam sistem sirkulasi pada proses fitoremediasi ini digunakan analisis GLM (*General Linier Model*). Analisis GLM dilakukan karena uji asumsi yang diterapkan pada GLM tidak mengharuskan asumsi kenormalan dari variabel respon dan juga tidak mengharuskan kehomogenan dari variasinya (de Jong dan Heller, 2008). Oleh karena itu dilakukan analisis GLM berdasarkan pada nilai efisiensi dari parameter BOD, COD, NH_3 , TSS dan kekeruhan. Grafik hasil analisis menggunakan GLM adalah sebagai berikut :



Gambar 4. 14 Grafik Analisis Perlakuan Terbaik Menggunakan GLM

Gambar 4.14 Menunjukkan bahwa perlakuan terbaik menurut metode GLM adalah HRT 511 menit atau sama dengan 8 jam 31 menit. Gambar 4.14 berikut ini merupakan diagram batang hasil analisis perlakuan terbaik menggunakan GLM.



Gambar 4.15 Diagram Batang Hasil Analisis Perlakuan Terbaik Menggunakan GLM

Berdasarkan Gambar 4.15 diketahui bahwa nilai perlakuan terbaik pada seluruh parameter yang diamati dalam sistem sirkulasi pada proses fitoremediasi ini adalah perlakuan Q_B dengan nilai debit 10,61 ml/s dan nilai HRT 511 menit (8 jam 31 menit). Q_B memiliki nilai rata-rata efisiensi 82,26%. Nilai terendah adalah pada perlakuan Q_C dengan nilai debit 18,93 ml/s dan nilai HRT sebesar 151 menit (2 jam 31 menit). Perlakuan Q_B merupakan analisis terbaik karena pada saat karena memiliki nilai HRT yang paling besar dan memiliki debit aliran kecil. HRT yang besar tersebut mengakibatkan waktu kontak antara akar eceng gondok dengan limbah cair lebih lama. Waktu kontak yang lama tersebut menyebabkan penyerapan kandungan bahan-bahan pencemar limbah cair kopi oleh akar eceng gondok lebih maksimal. Proses penurunan bahan-bahan pencemar tersebut merupakan kerjasama antara tumbuhan dan mikroba yang berasosiasi dengan tumbuhan eceng gondok yang berada pada akuarium.

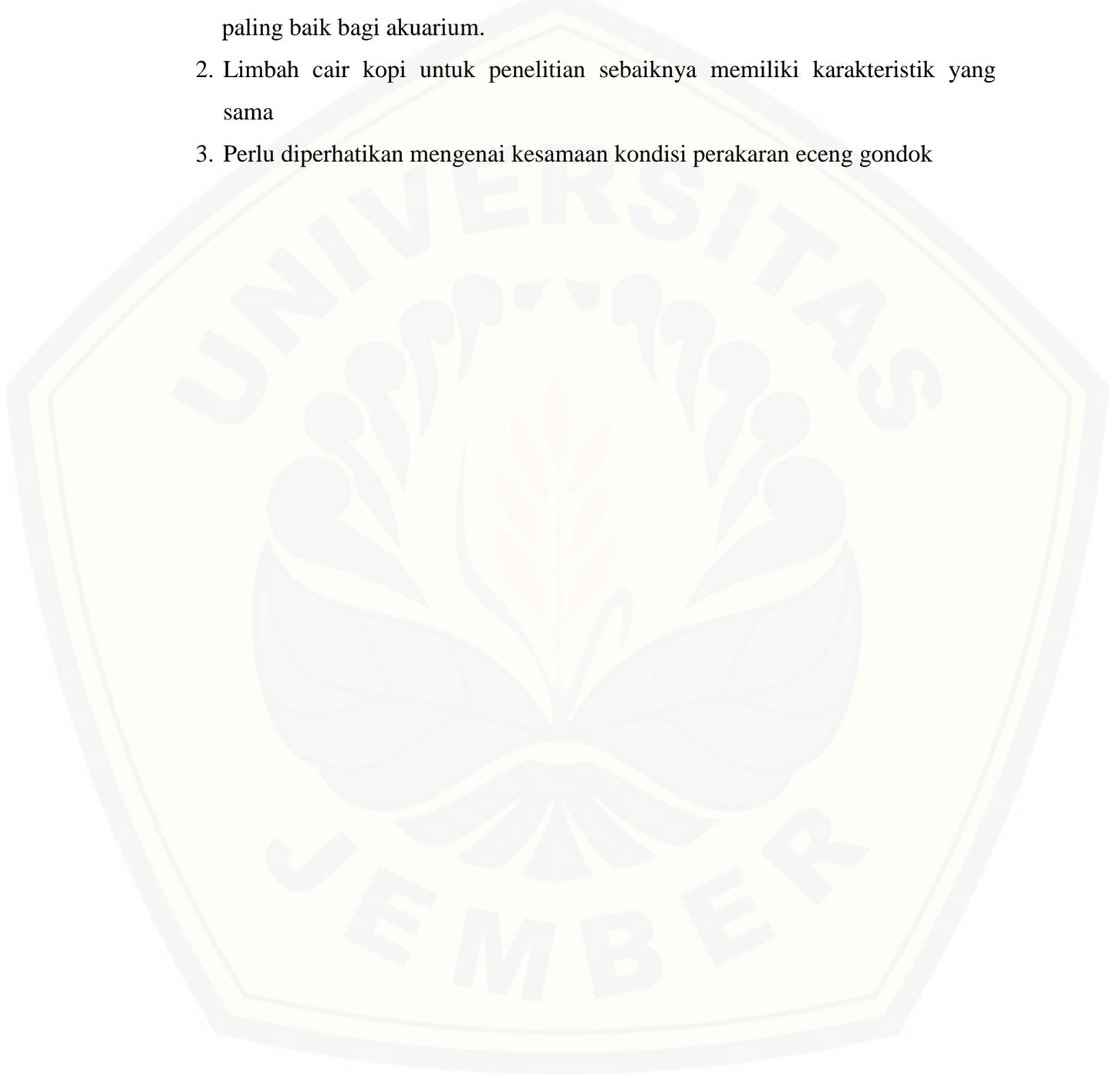
BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Aliran sirkulasi pada akuarium fitoremediasi mencegah stratifikasi termal dan kimia dalam akuarium karena mampu menurunkan kandungan parameter pencemar dalam limbah cair kopi. Adapun proses yang terjadi dalam akuarium fitoremediasi sistem sirkulasi yaitu: sedimentasi, aktivitas mikroorganisme *Nitrosomonas* dan *Nitrosobacter*, dan pengaruh laju aliran sirkulasi dalam akuarium
2. Nilai *Hydraulic Residence Time* (HRT) pada akuarium fitoremediasi dengan sirkulasi berturut-turut adalah 1 jam 53 menit; 2 jam 31 menit 38 detik ; 7 jam 4 menit 21; dan 8 jam 31 menit 51 detik. Perlakuan terbaik adalah perlakuan Q_B dengan nilai HRT terbesar. Nilai HRT tersebut dipengaruhi oleh debit masuk limbah, gaya gesek pada dinding saluran, dan perbedaan distribusi kecepatan aliran akibat perakaran eceng gondok.
3. Sistem sirkulasi di akuarium fitoremediasi pengolahan limbah cair kopi di akhir perlakuan mampu menurunkan kandungan COD sebesar 69,44%-97,50%; BOD sebesar 69,41%-97,50%; NH_3-N 15,81% - 86,77%; PO_4-P 98,63%; TSS 35,67% - 58,44%; dan kekeruhan 59,45% - 96,15%.
4. Pengamatan parameter harian menunjukkan bahwa sistem sirkulasi mampu meningkatkan nilai pH asam pada awal perlakuan menjadi netral, pengamatan kekeruhan juga menunjukkan adanya aliran turbulensi dalam akuarium, aliran inilah yang membantu mikroorganisme mendapatkan oksigen dan dengan adanya sirkulasi tanaman eceng gondok masih mampu bertahan hingga akhir perlakuan yang ditunjukkan dengan adanya bunga dan daun segar yang tersisa saat akhir perlakuan.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian mengenai ukuran dan bentuk lubang sirkulasi yang paling baik bagi akuarium.
2. Limbah cair kopi untuk penelitian sebaiknya memiliki karakteristik yang sama
3. Perlu diperhatikan mengenai kesamaan kondisi perakaran eceng gondok



DAFTAR PUSTAKA

- BKPM, Indonesia Investment Coordinating Board. 2013. *Potensi Perkebunan Kopi di Kabupaten Jember*. Jakarta : Badan Kordinasi Penanaman modal.
- De Jong, P., dan Heller, G. 2008. *Generalized Linear Models for Insurance Data*. <http://www.cambridge.org/ru/academic/subjects/statistics-probability/statistics-econometrics-finance-and-insurance/generalized-linear-models-insurance-data> [10 Mei 2015]
- Eddy, S. 2008. *Kemampuan Tanaman Eceng Gondok Sebagai Agen Fitoremediasi Air Tercemar Timbal (Pb)*. http://www.Univpgri-palembang.ac.id/e_jurnal/index.php/sainmatika/article/view/3116 [Desember 2014]
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air*. Yogyakarta : Kanisius
- Elisa. 2009. *Kualitas dan Produksi Bunga*. elisa1.ugm.ac.id/files/yeni_wn.../II-kualitas%20dan%20prod-bunga3.doc [20 Februari 2015]
- EPA. 2012. *A Citizen's Guide to Phytoremediation*. www.clu-in.org/download/citizens/citphyto.pdf [26 Desember 2014]
- Fardiaz, S.1992. *Polusi Air dan Udara*. Yogyakarta : Penerbit Kanisius.
- Fatima, S. 2010. *Sifat Fisika, Kimia, Air Siklus Hidrologi dan Sumber Air*. http://file.upi.edu/Direktori/FPMIPA/JUR._PEND._KIMIA/196802161994022-Soja_Siti_Fatimah/ *Kuliah Kimia terapan pada jurusan agro industri/ kIMIA_AIR-1/ Sifat Fisika, Kimia Air, Siklus Hidrologi, Dan Sumber Air Di*.pdf [30 Januari 2015]
- Febrianingsih, A. 2013. *Pengaruh Lama Waktu Kontak Eceng Gondok (Eichornia crassipes) Terhadap Penyerapan Logam Berat Merkuri (Hg)*. Vol 1, No 1 (2013) (kim.ung.ac.id/index.php/KIMFIKK). [8 Januari 2015]
- Feng, H.J. 2008. *Effects Of Temperature And Hydraulic Residence Time (HRT) On Treatment Of Dilute Wastewater In A Carrier Anaerobic Baffled Reactor*. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19263800> [20 Oktober 2014]
- Gerardi. 2002. *Phytoremediation: An Environmentally Sound Technology for Pollution Prevention Control and Redmediation*. <http://www.unep.or.jp/Ietc/Publications/Freshwater/FMS2/1.asp> [28 April 2014].
- Gubenu Jawa Timur. 2013. *Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor: 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan Kegiatan Usaha Lainnya*. Surabaya : Pemerintah Provinsi Jawa Timur.

- Gusrina. 2012. *Kecerahan, Kekeruhan Air Dan Pengaruhnya Pada Ikan*. <http://www.sentra-edukasi.com/2011/06/kecerahan-kekeruhan-air-dan-pengaruhnya.html>. [17 Januari 2015]
- Hardyanti, N., dan Rahayu, S. 2007. *Fitoremediasi Phospat dengan Pemanfaatan Eceng Gondok (Eichornia crassipes) (Studi Kasus Pada Limbah Cair Industri Kecil Laundry)*. Jurnal Presipitasi, Vol.2 No.1 ISSN 1907-187X. [10 Januari 2014]
- Haryati, Hastuti, Hastuti, dan Nurchayati. 2009. *Adaptasi Morfologi dan Anotomi Eceng Gondok (Eichornia crassipes (Mart) Solms) di Berbagai Perairan Tercemar*. Semarang: Laboratorium Biologi Struktur dan Fungsi Tumbuhan Jurusan Biologi FMIPA Universitas Diponegoro.
- Hutagalung, Horas, Setiapermana, dan Riyono. 1997. *Metode Analisis Air Laut, Sedimen, dan Biota*. Jakarta: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Jenie, BS., dan Rahayu, W.P. 1993. *Penanganan Limbah Industri Pangan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Kodoatie, R. 2009. *Hidrolika Terapan Aliran Pada Saluran Terbuka dan Pipa*. Yogyakarta: Andi Publiser
- Kordi, K., Ghufran, K., dan Tacung. 2007. *Pengelolaan Kualitas Air Dalam Budidaya Perairan*. Jakarta: Rhineke Cipta
- Mangkoedihardjo, S., Sarwoko, dan Samudro. 2010. *Fitoteknologi Terapan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Mangkoedihardjo, S. 2005. *Fitoteknologi dan Ekotoksikologi dalam Desain Operasi Pengomposan Sampah*, Seminar Nasional Teknologi Lingkungan III ITS (Online), (http://www.its.ac.id/sarwoko-enviro-seminar_%20sampah%20TL.pdf). [30 Desember 2014]
- Mason, C.F. 1994. *Biology of Fresh Water Pollution*. New York: Longman Scientific and Technical.
- Middlebrooks, Middlebrooks, Reynolds, Waters, Reed, dan George. 1982. *Waswater stabilization lagoon design, performance and upgreading*. New York: Macmillan Publishing Co., Inc.
- Navarro, A.R., Rubio, M.C., dan Maldonado M.C. 2011. *A Combined Process to Treat Lemon Industry Wastewater and Produce Biogas*. Argentina: Jurnal Clean Teachnology Environ Policy.
- Novita, E. 2012. *Desain Proses Pengolahan Pada Agroindustri Kopi Robusta Menggunakan Modifikasi Teknologi Olah Basah Berbasis Produksi Bersih*. Disertasi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

- Orth, H. 1989. *Hyacinthus-Air (Eceng Gondok Untuk Membesihkan Air Limbah Industri-Memanfaatkan Air Limbah*. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia
- Pandjaitan, S. 2008. *Fitoremediasi sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khususnya Logam berat*. (<http://itl.bppt.tripod.com/sublab/lflora1.htm>, [30 Desember 2014]
- Parwaningtyas, E., Sumiyati, S., dan Sutrisno. 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: Jurnal Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro
- Rahma, H. 2014. *Fitoremedisi Limbah Cair MocaF Dengan Menggunakan Enceng Gondok (Echornia crassipes (Mart.) solms)*. Jember: Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.
- Ramey dan Peicel. 2001. *Center for Aquatic and Invasive Plants, Water Hyacinth Echornia Crassipes*. <http://plants.ifas.ufl.edu/node/141>. [12 Januari 2015]
- Salt, D.E., Smith R.D., dan Raskin. 1998. *Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology : Phytoremediation*. Annual Reviews. USA.501–662.
- Sariadi. 2011. *Pengolahan Limbah Cair Kopi Dengan Metode Elektrokoagulasi Secara Batch*. http://jurnal.pnl.ac.id/wp-content/plugins/Flutter/files_flutter/1362366310Jurnalsariadi.pdf [14 Januari 2015]
- Siregar, S. 2005. *Instalasi Pengelolaan Air Limbah*. Jogjakarta: Kanisius.
- Stefany, C., Sutisna, M., Pharmawat, K. 2013. *Fotoremediasi Phospat dengan menggunakan tumbuhan eceng gondok (Eichornia crassipes) pada Limbah Cair Industri kecil pencucian pakaian (Laundry)*. Bandung: Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITENAS.
- Sudarnadi, S. 1996. *Tumbuhan Monokotil*. Jakarta: Penerbit Swadaya.
- Sugiharto. 1987. *Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia UI Press.
- Supriyadi, S. 2010. *Pengolahan Limbah Cair kopi*. <http://eprints.uny.ac.id/9524/3/BAB%20%20-%20007308141020.pdf> [26 April 2014]
- Syahrul M. 1998. *Pengaruh Waktu dan pH Terhadap Pengikatan Logam Berat Cd, Hg, dan Pb Oleh Eceng gondok (Eichornia crassipes)*. Disertasi. Bogor: Institut Pertanian Bogor

Thomas, P.R., 1988. *Macrophytes for Stabilization Pond upgreading trinidad and tobago Developing World Water*. Hongkong: Grosvenor Press International.

Widyotomo, S. 2012. *Potensi Dan Teknologi Diversifikasi Limbah Kopi Menjadi Produk Bermutu Dan Bernilai Tambah* [Http:// Iccri.Net/ Download/ Pelita% 20Perkebunan /Vol% 2027 %20No% 201% 20April% 202011 /5.% 20sksn %20 FINAL-Sksn %20 %28 Rev%29.Pdf](http://iccri.net/download/Pelita%20Perkebunan/Vol%2027%20No%201%20April%202011/5.%20sksn%20FINAL-Sksn%20%28Rev%29.Pdf). [20 Februari 2015]

Yuwono, 2002. *Unsur Hara Nitrogen Fosfor*. [http://www.silvikultur.com/ unsur_hara _pada_tanaman.html](http://www.silvikultur.com/unsur_hara_pada_tanaman.html) [17 November 2014]



LAMPIRAN A. KARAKTERISTIK LIMBAH CAIR KOPI SEBELUM PERLAKUAN

A.1 Tabel Karakteristik Limbah Cair Kopi Perkebunan Rakyat Sebelum Perlakuan

(Q_A)

No.	Parameter Pengukuran	Nilai	Satuan
1	COD	2618	mg/L
2	BOD	1700	mg/L
3	TSS	100,38	mg/L
5	Kekeruhan	286,67	NTU
6	pH	4,2	
7	N	196,70	mg/L
8	P	12,75	mg/L

A.2 Tabel Karakteristik Limbah Cair Kopi Perkebunan Rakyat Sebelum Perlakuan

(Q_B)

No.	Parameter Pengukuran	Nilai	Satuan
1	COD	6400	mg/L
2	BOD	4158	mg/L
3	TSS	100,54	mg/L
5	Kekeruhan	287,33	NTU
6	pH	4,7	
7	N	224,05	mg/L
8	P	69,62	mg/L

A.3 Tabel Karakteristik Limbah Cair Kopi Perkebunan Rakyat Sebelum Perlakuan

(Q_C)

No.	Parameter Pengukuran	Nilai	Satuan
1	COD	1528	mg/L
2	BOD	962	mg/L
3	TSS	130,52	mg/L
5	Kekeruhan	409	NTU
6	pH	5,3	
7	N	55,34	mg/L
8	P	13,09	mg/L

A.4 Tabel Karakteristik Limbah Cair Kopi Perkebunan Negara Sebelum Perlakuan**(Q_D)**

No.	Parameter Pengukuran	Nilai	Satuan
1	COD	580	mg/L
2	BOD	360	mg/L
3	TSS	47.29	mg/L
5	Kekeruhan	71.2	Ntu
6	pH	5.4	
7	N	11.79	mg/L
8	P	62.22	mg/L

LAMPIRAN B. NILAI PENGUKURAN DEBIT MASUK DARI BAK KE AKUARIUM

B.1 Tabel Nilai Pengukuran Debit Masuk (Q_A)

Pengulangan	Debit (ml/dtk)	Rata-rata (ml/dtk)	Debit (m ³ /jam)	Rata-rata (m ³ /jam)
1	10.27		0.04	
2	10.20	10.09	0.037	0.04
3	9.80		0.035	

B.2 Tabel Nilai Pengukuran Debit Masuk (Q_B)

Pengulangan	Debit (ml/dtk)	Rata-rata (ml/dtk)	Debit (m ³ /jam)	Rata-rata (m ³ /jam)
1	10.47		0.04	
2	10.37	10.61	0.04	0.04
3	11.00		0.04	

B.3 Tabel Nilai Pengukuran Debit Masuk (Q_C)

Pengulangan	Debit (ml/dtk)	Rata-rata (ml/dtk)	Debit (m ³ /jam)	Rata-rata (m ³ /jam)
1	18.73		0.07	
2	19.00	18.93	0.07	0.07
3	19.07		0.07	

B.4 Tabel Nilai Pengukuran Debit Masuk (Q_D)

Pengulangan	Debit (ml/dtk)	Rata-rata (ml/dtk)	Debit (m ³ /jam)	Rata-rata (m ³ /jam)
1	19.33		0.07	
2	18.87	19.22	0.07	0.07
3	19.47		0.07	

LAMPIRAN C. DATA PENGUKURAN COD

Perlakuan	Awal	Akhir	Pengurangan	Efisiensi COD (%)
Q _A	2618	800	1818	69.44
Q _B	6400	160	6240	97.50
Q _C	1528	364	1164	76.18
Q _D	580	48	532	91.72

Perhitungan :

Perlakuan Q_A

$$\frac{2618 - 800}{800} \times 100\% = 69,44\%$$

Perlakuan Q_B

$$\frac{6400 - 160}{160} \times 100\% = 97,50\%$$

Perlakuan Q_C

$$\frac{1528 - 364}{364} \times 100\% = 76,18\%$$

Perlakuan Q_D

$$\frac{580 - 48}{48} \times 100\% = 91,72\%$$

Keterangan :

$$\text{Eff} = \frac{AC - AB}{AC} \times 100\%$$

Eff = Nilai efisiensi (100%)

AC = Nilai parameter awal COD pada limbah

AB = Nilai parameter akhir COD pada limbah

Lampiran D. DATA PENGUKURAN BOD

Tabel Nilai Pengukuran BOD

Perlakuan	Awal	Akhir	Pengurangan	Efisiensi BOD (%)
Q _A	1700	520	1180	69.41
Q _B	4158	102	4056	97.55
Q _C	962	228	734	76.30
Q _D	360	28	332	92.22

Perhitungan :

Perlakuan Q_A

$$\frac{1700 - 520}{520} \times 100\% = 69,41\%$$

Perlakuan Q_B

$$\frac{4158 - 102}{102} \times 100\% = 97,55\%$$

Perlakuan Q_C

$$\frac{962 - 228}{228} \times 100\% = 76,30\%$$

Perlakuan Q_D

$$\frac{360 - 28}{28} \times 100\% = 92,22\%$$

Keterangan :

$$\text{Eff} = \frac{AC - AB}{AC} \times 100\%$$

Eff = Nilai efisiensi (100%)

AC = Nilai parameter awal BOD pada limbah

AB = Nilai parameter akhir BOD pada limbah

Lampiran E. DATA PENGUKURAN pH**E.1 Tabel Nilai Pengukuran pH (Q_A)**

Kotak	Hari ke-							
	0	1	2	3	4	5	6	7
1	4.1	4.6	5	5.4	5.6	6.4	6.6	6.8
2	4.2	4.6	5.1	5.4	5.7	6.3	6.5	6.7
3	4.3	4.6	5.1	5.5	5.8	6.3	6.4	6.8
4	4.2	4.6	5.1	5.4	5.7	6.3	6.4	6.8
Bak	4.2	4.6	5	5.4	5.7	6.4	6.5	6.8

E.2 Tabel Nilai Pengukuran pH (Q_B)

Kotak	Hari ke-							
	0	1	2	3	4	5	6	7
1	5.1	5.3	5.4	6.3	7.1	7.9	7.5	7.8
2	5	5.2	5.4	6.2	7.1	7.7	7.8	7.8
3	5	5.2	5.4	6.2	7.1	7.8	7.5	7.8
4	5.1	5.2	5.4	6.1	7.1	8.1	7.5	7.7
Bak	5.1	5.3	5.4	6.2	7.3	7.9	7.3	7.8

E.3 Tabel Nilai Pengukuran pH (Q_C)

Kotak	Hari ke-							
	0	1	2	3	4	5	6	7
1	5.3	5.9	7.5	7.9	8	8.1	8.2	8.3
2	5.2	5.8	7.5	7.8	7.9	7.9	8.1	8.2
3	5.2	5.8	7.6	7.7	7.8	7.9	8.1	8.2
4	5.2	5.9	7.6	7.7	8.1	7.8	8.1	8.2
Bak	5.3	5.8	7.6	8	8	7.8	8.1	8.2

E.4 Tabel Nilai Pengukuran pH (Q_D)

Kotak	Hari ke-							
	0	1	2	3	4	5	6	7
1	5.3	7.2	7.3	7.4	7.8	7.7	7.8	8
2	5.4	7	7	7.5	8	7.7	7.7	8
3	5.5	7.1	7.1	7.4	7.6	7.6	7.7	7.8
4	5.7	7.1	7.2	7.4	7.6	7.6	7.7	7.8
Bak	5.3	7.2	7.2	7.5	7.8	7.8	7.8	7.9

LAMPIRAN F. DATA PENGUKURAN NH₃-N

Perlakuan	Awal	akhir	Pengurangan	Efisiensi (%)
Q _A	196.7	40.61	156.09	79.35
Q _B	224.05	55.2	168.85	75.36
Q _C	55.34	46.59	8.75	15.81
Q _D	11.79	1.56	10.23	86.77

Perhitungan :

Perlakuan Q_A

$$\frac{196,7 - 40,61}{40,61} \times 100\% = 79,35\%$$

Perlakuan Q_B

$$\frac{224,05 - 55,2}{55,2} \times 100\% = 75,69\%$$

Perlakuan Q_C

$$\frac{55,34 - 46,59}{46,59} \times 100\% = 15,81\%$$

Perlakuan Q_D

$$\frac{11,79 - 1,56}{1,56} \times 100\% = 86,77\%$$

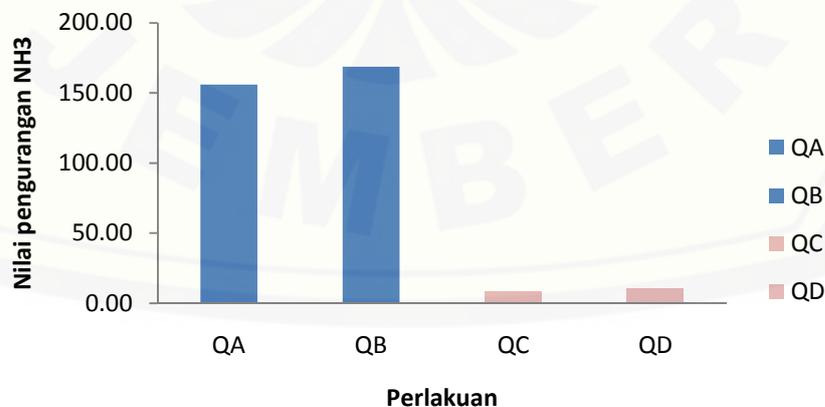
Keterangan :

$$\text{Eff} = \frac{AC - AB}{AC} \times 100\%$$

Eff = Nilai efisiensi (100%)

AC = Nilai parameter awal BOD pada limbah

AB = Nilai parameter akhir BOD pada limbah

Grafik Nilai Pengurangan NH₃-N

LAMPIRAN G. DATA PENGUKURAN PO₄-P

Perlakuan	Awal	akhir	Pengurangan	Efisiensi (%)
Q _A	12.75	22.95	-10.20	-80.00
Q _B	69.62	81.14	-11.52	-16.55
Q _C	13.09	6.76	6.33	48.36
Q _D	62.22	0.85	61.37	98.63

Perhitungan :

Perlakuan Q_A

$$\frac{12,75 - 22,95}{22,95} \times 100\% = -80,00\%$$

Perlakuan Q_B

$$\frac{69,62 - 81,14}{81,14} \times 100\% = -16,55\%$$

Perlakuan Q_C

$$\frac{13,09 - 6,76}{6,76} \times 100\% = 48,36\%$$

Perlakuan Q_D

$$\frac{62,22 - 0,85}{0,85} \times 100\% = 98,63\%$$

Keterangan :

$$\text{Eff} = \frac{AC - AB}{AC} \times 100\%$$

Eff = Nilai efisiensi (100%)

AC = Nilai parameter awal BOD pada limbah

AB = Nilai parameter akhir BOD pada limbah

Grafik Nilai Pengurangan PO₄-P

LAMPIRAN H. DATA PENGUKURAN TSS (*TOTAL SUSPENDED SOLID*)

Perlakuan	Awal	Akhir	Pengurangan	Efisiensi (%)
Q _A	100.38	58.38	42	41.84
Q _B	100.54	42.43	58.11	57.80
Q _C	130.52	54.25	76.27	58.44
Q _D	47.29	30.42	16.87	35.67

Perhitungan :

Perlakuan Q_A

$$\frac{100,38 - 58,38}{58,38} \times 100\% = 41,84\%$$

Perlakuan Q_B

$$\frac{100,54 - 42,43}{42,43} \times 100\% = 57,80\%$$

Perlakuan Q_C

$$\frac{130,52 - 54,25}{54,25} \times 100\% = 58,44\%$$

Perlakuan Q_D

$$\frac{47,29 - 30,42}{30,42} \times 100\% = 35,67\%$$

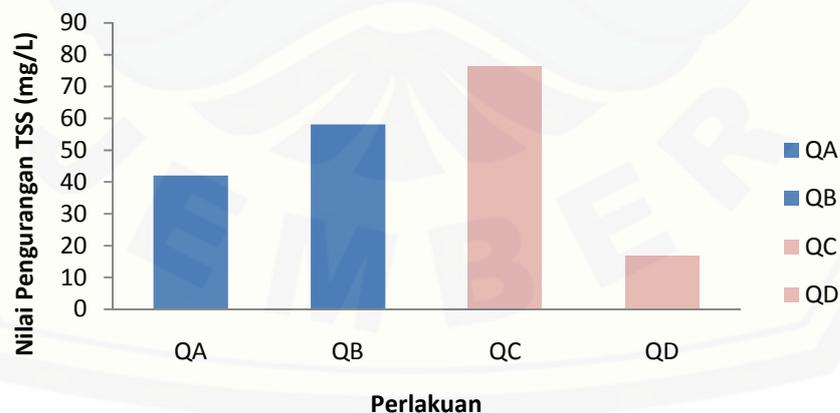
Keterangan :

$$\text{Eff} = \frac{AC - AB}{AC} \times 100\%$$

Eff = Nilai efisiensi (100%)

AC = Nilai parameter awal BOD pada limbah

AB = Nilai parameter akhir BOD pada limbah



Grafik Nilai Pengurangan TSS

LAMPIRAN I. DATA PENGUKURAN KEKERUHAN**I.1 Tabel Nilai Pengukuran Kekерuhan (Q_A)**

Kotak	Hari ke-							
	0	1	2	3	4	5	6	7
1	201.00	131.00	210.67	127.67	104.60	92.40	143.67	111.50
2	161.50	122.00	140.33	111.00	101.97	71.77	115.77	139.00
3	192.50	123.00	127.67	115.33	85.87	75.53	172.60	119.40
4	205.50	118.00	133.67	103.20	96.13	97.47	93.20	98.23
bak	186.50	136.00	108.33	118.00	100.90	94.95	123.50	113.00
Rata-Rata	189.40	126.00	144.13	115.04	97.89	86.42	129.75	116.23

I.2 Tabel Nilai Pengukuran Kekерuhan (Q_B)

Kotak	Hari ke-							
	0	1	2	3	4	5	6	7
1	193.33	192.00	115.50	101.50	128.00	104.50	87.60	55.15
2	156.00	155.67	116.50	111.00	134.00	91.15	85.65	54.35
3	122.00	122.00	114.50	105.00	109.50	115.50	87.90	47.80
4	106.00	103.33	105.00	113.00	102.50	94.65	67.40	48.30
Bak	207.00	205.67	105.00	167.00	104.50	93.30	121.00	51.90
Rata-Rata	156.87	155.73	111.30	119.50	115.70	99.82	89.91	51.50

I.3 Tabel Nilai Pengukuran Kekerusuhan (Q_C)

Kotak	Hari ke-							
	22-09-14	23-09-14	24-09-14	25-09-14	26-09-14	27-09-14	28-09-14	29-09-14
1	427.50	399.00	425.50	324.00	185.50	131.00	103.00	102.25
2	427.00	337.50	365.50	303.50	173.00	119.50	100.35	99.75
3	410.00	354.00	364.00	335.50	176.50	122.50	101.50	100.50
4	379.50	343.50	365.50	343.50	182.00	117.00	99.05	98.85
Bak	472.50	334.00	369.00	316.00	146.00	270.00	95.00	96.00
Rata-Rata	423.3	353.6	377.9	324.5	172.6	152	99.78	99.47

I.4 Tabel Nilai Pengukuran Kekerusuhan (Q_D)

Kotak	Hari ke-							
	22-10-14	23-10-14	24-10-14	25-10-14	26-10-14	27-10-14	28-10-14	29-10-14
1	84.95	54.30	48.90	39.70	15.17	9.84	7.54	2.91
2	83.35	53.60	43.90	57.05	14.70	10.54	5.81	1.96
3	72.90	52.65	50.95	65.95	15.78	8.64	5.56	2.96
4	73.05	56.50	41.05	31.40	14.28	9.41	5.04	3.49
Bak	72.40	58.90	43.90	34.00	15.97	10.34	5.29	2.41
Rata-rata	77.33	55.19	45.74	45.62	15.18	9.75	5.85	2.75

I.5 Tabel Nilai Pengukuran Kekeruhan

Perlakuan	Awal	Akhir	Pengurangan	Efisiensi (%)
Q _A	286.66	116.23	170.43	59.45
Q _B	287.33	51.50	235.83	82.08
Q _C	409.00	99.47	309.53	75.68
Q _D	71.20	2.74	68.46	96.15

Perhitungan :

Perlakuan Q_A

$$\frac{286,66 - 116,23}{116,23} \times 100\% = 59,45\%$$

Perlakuan Q_B

$$\frac{287,33 - 51,50}{51,50} \times 100\% = 82,08\%$$

Perlakuan Q_C

$$\frac{409 - 99,47}{99,47} \times 100\% = 75,68\%$$

Perlakuan Q_D

$$\frac{71,2 - 2,74}{2,74} \times 100\% = 96,15\%$$

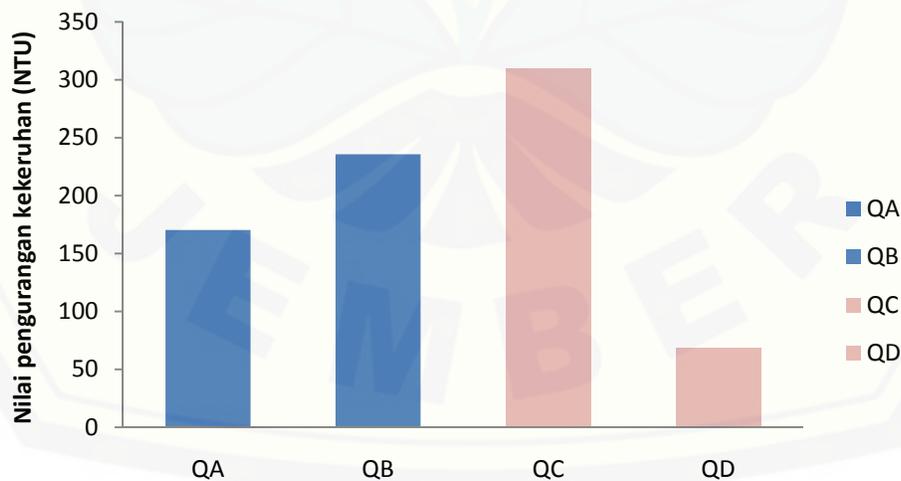
Keterangan :

$$\text{Eff} = \frac{AC - AB}{AC} \times 100\%$$

Eff = Nilai efisiensi (100%)

AC = Nilai parameter awal BOD pada limbah

AB = Nilai parameter akhir BOD pada limbah



Grafik Nilai Pengurangan Kekeruhan

LAMPIRAN J. DATA PENGUKURAN SUHU**J.1 Tabel Nilai Pengukuran Suhu (Q_A)**

Kotak	Hari ke-							
	0	1	2	3	4	5	6	7
1	28	28	30.9	31.5	31	30	32	31
2	28	28.5	30.5	31	30.8	30.5	32.5	30.8
3	28	28.5	30.9	31	31	30	32.5	31
4	28	28.5	30.9	31	30.8	30	32.5	30.8
Bak	28	28	30	31	30	30	32.5	31
Rata-rata	28	28.3	30.64	31.1	30.72	30.1	32.4	30.92

J.2 Tabel Nilai Pengukuran Suhu (Q_B)

Kotak	Hari ke-							
	0	1	2	3	4	5	6	7
1	31	30.5	32	32.5	32	33	33.5	33
2	31	30	32	32	31	33	33.5	33
3	31	30	32	32	31.5	32.5	33	33
4	31	30	32	32	31.5	32.5	32.5	33
Bak	30	30	31	29	30	33	30.5	32
Rata-Rata	30.8	30.1	31.8	31.5	31.2	32.8	32.6	32.8

J.3 Tabel Nilai Pengukuran Suhu (Q_C)

Kotak	Hari ke-							
	0	1	2	3	4	5	6	7
1	31	32.5	32	33.5	33	33	32	32
2	31	33	32	33	33	33	32.5	33
3	31.5	33	32	32.5	32.5	33.5	32	32.5
4	31.5	33	29	33	33	33.5	32	32
Bak	31	33.5	32	33	33	32	33	32.5
Rata-Rata	31.2	33	31.4	33	32.9	33	32.3	32.4

J.4 Tabel Nilai Pengukuran Suhu (Q_D)

Kotak	Hari ke-							
	22-10-14	23-10-14	24-10-14	25-10-14	26-10-14	27-10-14	28-10-14	29-10-14
1	31	31	31.1	30.5	31.2	31.1	31.5	32
2	31	30.8	31	30.6	31.1	31.3	31.7	32
3	31	30.9	30.9	30.5	31.2	31.7	31.8	32.4
4	32	31	31	30.7	31.4	31.8	32	32.5
Bak	31	31	30.2	30.9	31.6	31.2	30.9	30.8
Rata-rata	31.2	30.94	30.84	30.64	31.3	31.42	31.58	31.94

LAMPIRAN K. PENGAMATAN TANAMAN ECENG GONDOK**K.1 Tabel Pengamatan Kondisi Tanaman Eceng Gondok (Q_A)**

Hari ke	Tanggal	Kotak	Jumlah daun segar	Kondisi Tanaman
0	20-08-14	1	43	
		2	58	
		3	52	
		4	68	
1	21-08-14	1	43	
		2	58	
		3	52	
		4	68	
2	22-08-14	1	32	Muncul bunga di tumbuhan eceng gondok
		2	43	
		3	40	
		4	57	
3	23-08-14	1	26	Bunga masih ada namun layu
		2	36	
		3	35	
		4	48	
4	24-08-14	1	26	Bunga layu
		2	36	
		3	35	
		4	48	
5	25-08-14	1	18	
		2	23	
		3	32	
		4	47	
6	26-08-14	1	13	
		2	26	
		3	29	
		4	36	
7	27-08-14	1	5	
		2	16	
		3	15	
		4	25	

K.2 Tabel Pengamatan Kondisi Tanaman Eceng Gondok (Q_B)

Hari ke	Tanggal	Kotak	Jumlah daun segar	Keterangan
0	10-09-14	1	54	
		2	49	
		3	41	
		4	49	
1	11-09-14	1	53	
		2	49	
		3	41	
		4	48	
2	12-09-14	1	49	
		2	45	
		3	48	
		4	46	
3	13-09-14	1	9	
		2	13	
		3	30	
		4	16	
4	14-09-14	1	8	
		2	12	
		3	29	
		4	15	
5	15-09-14	1	8	
		2	12	
		3	21	
		4	5	
6	16-09-14	1	7	
		2	12	
		3	21	
		4	12	
7	17-09-14	1	7	
		2	11	
		3	20	
		4	12	

K.3 Tabel Pengamatan Kondisi Tanaman Eceng Gondok (Q_c)

Hari ke	Tanggal	Kotak	Jumlah daun segar	Keterangan
0	22-09-14	1	26	
		2	36	
		3	30	
		4	25	
1	23-09-14	1	26	Muncul bunga
		2	36	
		3	30	
		4	25	
2	24-09-14	1	23	Bunga mulai layu
		2	35	
		3	26	
		4	18	
3	25-09-14	1	9	Bunga layu
		2	6	
		3	7	
		4	6	
4	26-09-14	1	4	
		2	4	
		3	6	
		4	5	
5	27-09-14	1	4	
		2	2	
		3	3	
		4	2	
6	28-09-14	1	3	
		2	1	
		3	2	
		4	1	
7	29-09-14	1	3	
		2	1	
		3	1	
		4	1	

K.4 Tabel Pengamatan Kondisi Tanaman Eceng Gondok (Q_D)

Hari ke	Tanggal	Kotak	Jumlah daun segar	Keterangan
0	22-10-14	1	51	
		2	36	
		3	35	
		4	38	
1	23-10-14	1	51	
		2	36	
		3	35	
		4	38	
2	24-10-14	1	51	
		2	36	
		3	35	
		4	38	
3	25-10-14	1	51	
		2	36	
		3	35	
		4	38	
4	26-10-14	1	51	
		2	36	
		3	35	
		4	38	
5	27-10-14	1	51	
		2	36	
		3	35	
		4	38	
6	28-10-14	1	51	
		2	36	
		3	35	
		4	38	
7	29-10-14	1	51	
		2	36	
		3	35	
		4	38	

LAMPIRAN L. PROSEDUR ANALISA N dan P**Lampiran L.1 Prosedur Analisis N**

1. Reagen Nessler

- * 100 gr HgI_2 dan 10 gr KI digerus dengan mortar dengan setetes air sampai halus, kemudian dilarutkan dalam 160 gr NaOH / 500 mL encerkan sampai 1L. Biarkan mengendap, ambil supernatannya.

2. Garam Seignette

- * 100 gr K.Na. tartrat dilarutkan dalam 300 mL air
- * tambahkan 10 mL reagen nessler sebagai pengawet, encerkan sampai dengan 1L.

3. Larutan Kalium Hidroksida 20%

- * larutkan 20 gr KOH dalam labu 100 mL dengan aquades sampai tanda batas

4. LARUTAN H_2SO_4 , HgSO_4 , K_2SO_4 (DIGEST N)

- * Larutkan 276 gr K_2SO_4 dalam 1300 mL air + 400 mL H_2SO_4 pekat + 50 mL larutan HgSO_4 (8 gr HgO dalam 40 mL air + 10 mL H_2SO_4 pekat), encerkan sampai 2L

5. Larutan Naoh $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

- * Larutkan 500 gr dan 25 gr $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ dalam 1L aquades

6. Indikator Campuran

- * Campurkan 2 bagian volume methyl red 0,2% dengan 1 bagian volume methylen blue 0,2N

7. Larutan Asam Borat Indikator

- * Larutkan 20 gr asam borat (H_3BO_3) dalam aquades + 10 mL indikator campuran. Encerkan dengan aquades sampai 1L.

Langkah Pengujian N :

- * 25 mL sampel + 1 mL larutan digest N, panaskan dalam ruang asam sampai volume $\pm \frac{1}{2}$ -nya, dinginkan lalu tambahkan aquades sampai volume awal.
- * Kemudian lakukan destilasi dengan menggunakan alat kjeldahl, destilat ditampung pada larutan Asam Borat.
- * Analisis N berikutnya bisa menggunakan spektrofotometer, dengan prosedur :
 1. Ambil 2 buah erlenmeyer 100 ml, isi masing-masing dengan sampel air dan air aquadest (sebagai blanko) sebanyak 25 ml.
 2. Tambahkan 1 ml larutan Nessler.
 3. Tambahkan 1,25 ml larutan Garam Signet.
 4. Aduk dan biarkan selama 10 menit.

5. Baca pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 410 μm .
6. Absorbansi hasil pembacaan spektrofotometer dibaca pada hasil kalibrasi atau kurva kalibrasi.



Lampiran L.2 Prosedur Analisa P

1. Larutan Ammonium Molibdate

- * Larutkan 25 gr $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dalam 175 mL aquades + 280 mL H_2SO_4 pekat, encerkan dengan aquades sampai 1L

2. Larutan SnCl_2

- * Larutkan 2,5 gr $\text{SnCl}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$ dalam 100 mL glicerol

3. Larutan Stock Phospat 1 mL = 0,5 mg PO_4^{3-}

- * Larutkan 0,7165 gr KH_2PO_4 dalam labu 1L dengan aquades. Standar 200 mL stock dengan 1L aquades (1 mL = 0,1 mg).

4. Strong Acid Solution

- * Campurkan 400 mL H_2SO_4 pekat dengan 4 mL HNO_3 pekat, encerkan dengan 1L aquades

Metode Pengukuran P :

- * 50 mL sampel + strong acid solution 1 mL. Panaskan dalam ruang asam sampai volume $\frac{1}{2}$ -nya, biarkan dingin, tambahkan 20 tetes indikator phenolphthalein + larutan NaOH sampai warna merah tambahkan aquadest sampai kembali pada volume sampel. Kemudian dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer sebagai berikut :

+ 2 mL larutan ammonium molibdat + 3 tetes larutan SnCl_2 dalam glycerol, lalu kocok dan biarkan selama 10 menit. Baca absorbansinya pada spektrofotometer dengan λ 650.

Absorbansi hasil pembacaan spektrofotometer dibaca pada hasil kalibrasi atau kurva kalibrasi.