



**KAJIAN SISTEM *CONSTRUCTED WETLAND*
MENGUNAKAN ECENG GONDOK PADA PENANGANAN
LIMBAH CAIR PENGOLAHAN KOPI**

SKRIPSI

Oleh

**Masfiyah
121710201008**

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



**KAJIAN SISTEM *CONSTRUCTED WETLAND*
MENGUNAKAN ECENG GONDOK PADA PENANGANAN
LIMBAH CAIR PENGOLAHAN KOPI**

SKRIPSI

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

Oleh

**Masfiyah
NIM 121710201008**

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

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk kedua orang tua saya Almh. Ibu Rohmaniyah dan Alm. Bapak Achmad Machfud yang saya cintai.



MOTTO

“Wahai orang yang beriman apabila dikatakan kepadamu, “berilah kelapangan dalam majelis-majelis,” maka lapangkanlah, niscaya Allah akan memberi kelapangan untukmu. Dan apabila dikatakan, “berdirilah kamu,” maka berdirilah, niscaya Allah akan mengangkat (derajat) orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu beberapa derajat. Dan Allah Maha teliti apa yang kamu kerjakan.”

(QS. Al- Mujadalah (58): 11))*

“Tidak ada satu pun musibah (cobaan) yang menimpa seorang mukmin walaupun berupa duri, melainkan dengannya Allah akan mencatat untuknya satu kebaikan atau menghapus satu kesalahannya.”

(HR. Muslim)

“Kemenangan kita yang paling besar bukanlah karena kita tidak pernah jatuh melainkan kita bangkit setiap kali jatuh.”

(Winston Churchill)

*⁾ Departemen Agama Republik Indonesia. 2010. *Al Qur'an Terjemah dan Tafsir Per Kata*. Semarang: PENERBITJABAL.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Masfiah

NIM : 121710201008

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis ilmiah yang berjudul “Kajian Sistem *Constructed Wetland* Menggunakan Eceng Gondok Pada Penanganan Limbah Cair Pengolahan Kopi” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi. 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, 26 Mei 2016

Yang menyatakan,

Masfiah

NIM 121710201008

SKRIPSI

**KAJIAN SISTEM *CONSTRUCTED WETLAND*
MENGUNAKAN ECENG GONDOK PADA PENANGANAN
LIMBAH CAIR PENGOLAHAN KOPI**

Oleh
Masfiah
NIM 121710201008

Pembimbing

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

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Kajian Sistem *Constructed Wetland* Menggunakan Eceng Gondok Pada Penanganan Limbah Cair Pengolahan Kopi” telah disahkan pada:

Tanggal : 00 bulan 2016

Tempat : Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember

Dosen Pembimbing:

DPU,

DPA,

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

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

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota,

Sutarsi S.Tp., M.Sc.
NIP. 198109262005012002

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

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknologi Pertanian
Universitas Jember,

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

RINGKASAN

Kajian Sistem *Constructed Wetland* Menggunakan Eceng Gondok Pada Penanganan Limbah Cair Pengolahan Kopi; Masfiah, 121710201008; 2016; 52 halaman; Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

Pengolahan kopi basah di Desa Sidomulyo memiliki kisaran kandungan limbah cair COD 580 mg/l - 6400 mg/l dan BOD 360 mg/l - 4158 mg/l yang dapat mencemari lingkungan (Rukmawati, 2015). Salah satu metode fitoremediasi yang memiliki konstruksi sederhana dan dapat disesuaikan dengan keadaan lapang tempat pengolahan limbah yaitu sistem *constructed wetland* (CW). *Constructed wetland* (CW) adalah sebuah sistem menyerupai lahan basah alami terdiri atas substrat jenuh, vegetasi, satwa, dan air, di dalamnya terjadi aktivitas pengolahan sedimentasi, filtrasi, transfer gas, adsorpsi, pengolahan kimiawi dan biologi. CW *subsurface flow system* (SFS) akan digunakan dalam penelitian ini karena adanya proses secara fisik dan biologis yaitu aliran air limbah mengalir secara perlahan melalui tanaman dengan media berpori, batu pecah, atau batu kerikil (Hammer, 1989:265). Penelitian ini dilakukan dengan skala laboratorium untuk mengetahui mekanisme alat CW dan persentase penurunan nilai parameter kualitas air pada limbah cair kopi.

Proses pengolahan kopi 1 ton di Desa Sidomulyo menghasilkan volume limbah cair sebanyak 4.067 liter. Setiap hari kurang lebih tempat ini mengolah kopi sebanyak 14 ton, sehingga volume total per hari 64.498 liter. Akuarium CW terdiri atas zona inlet, outlet, dan pengolahan. Zona inlet dan outlet diisi media batu kerikil berdiameter seragam 1,5 cm sebanyak 11,1 kg. Sedangkan zona pengolahan diisi media pasir silika 22,2 kg dan tanaman eceng gondok 1 kg. Antara zona inlet – zona pengolahan – zona outlet diberi sekat berlubang dengan diameter 0,6 mm. Agar sesuai dengan kondisi sebenarnya maka CW dibuat dengan skala perbandingan 1 : 2000. Sehingga diperoleh ukuran akuarium p x l x t adalah 74 x 30 x 30 cm³ dengan panjang zona pengolahan 60 cm, penambahan lebar 7 cm pada kanan dan kiri akuarium untuk zona inlet dan outletnya.

Hydrolic Residence Time (HRT) merupakan waktu tinggal yang dapat dinyatakan sebagai jumlah waktu dalam jam untuk air limbah melewati bioreaktor. Pada penelitian ini disesuaikan dengan keadaan lapang di Desa Sidomulyo sehingga terdiri atas 3 perlakuan dan 2 ulangan. Perlakuan P0 adalah limbah awal yang telah diukur parameternya. Kemudian P1 adalah perlakuan yang telah memiliki waktu tinggal 7 jam dan debit 1 ml/detik. Selanjutnya P2 adalah perlakuan lanjutan P1 yang memiliki waktu tinggal 21 jam dan tanpa pemberian debit. Nilai yang diperoleh dari ulangan 1 dan 2 hasilnya akan di rata-rata untuk digunakan sebagai analisa data yakni persentase penurunan parameter dan analisis *General Linear Model* (GLM).

Proses yang terjadi selama removal polutan pada *constructed wetland* terdiri atas proses fisik yakni sedimentasi dan filtrasi (oleh pasir silika dan batu batu kerikil), proses fisik- kimia (oleh pasir silika, batu batu kerikil, dan eceng

gondok), dan proses biokimia (oleh eceng gondok). Berdasarkan hasil penelitian diketahui rata-rata persentase penurunan parameter tertinggi terjadi pada proses pengolahan P2 yakni 63,7% (COD); 63,8% (BOD); 70% (N); 64% (P); 29,8% (TSS); 33 % (kekeruhan).



SUMMARY

The Assessment Of Constructed Wetland System Using Water Hyacinth On Handling Wastewater Of Coffee Processing; Masfiyah, 121710201008; 2016; 52 pages; Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture Technology, University of Jember.

The processing of wet coffee in Sidomulyo village has a range of wastewater COD content of 580 mg/l - 6400 mg/l and BOD of 360 mg/l - 4158 mg/l which can pollute the environment (Rukmawati, 2015). One of the phytoremediation method which has a simple construction and can be suited with the circumstances of waste processing treatment place that is constructed wetland system (CW). Constructed wetlands are engineered systems that have been designed and constructed to utilise the natural processes involving vegetation, animal, associated microbial assemblage, and which rely upon natural microbial, biological, physical and chemical process. *Subsurface flow system* (SFS) Constructed wetlands (CW) are essentially horizontal trickling filters when they use rock media. surface area is important but not critical, the media porosity is critical to predicting the required area for a given level of treatment. This research was conducted with laboratory scale to determine the percentage of impairment of water quality parameters in the coffee wastewater and the parameter of CW system construction.

The coffee processing in the Sidomulyo village produce 1 ton of wastewater volume as much as 4.067 liters and a total volume of 64.498 liters per day. CW bioreactor consists of inlet zone, outlet, and processing. Inlet zone and outlet filled by gravel media in the same diameter of 1.5 cm as many as 11.1 kg. While processing zone filled with 22.2 kg silica sand media and 1,074 kg of water hyacinth plants. Between the inlet zone - processing zones – outlet zone put partition hole with 0.6 mm diameter. In order to be suited with the actual conditions, so the CW made with scale ratio of 1: 2000. It be found that the size of the p x l x t bioreactor is 74 x 30 x 30 cm³ with 60 cm length of processing zone, the addition of a width of 7 cm on the right and left of the bioreactor for the inlet zone and outlet.

HRT obtained from the processing is 7 hours (P1). It shows that HRT treatment was 1.17 times greater than the actual processing time, as well as in HRT treatment intervals are multiplied by the same ratio and will be obtained within 21 hours (P2). The smaller the debit entry, the HRT will be even greater, because the time required for filling the bioreactor longer. In this research HRT slightly different value in P1 and P2 for each treatment, although the categorize of the debit is the same. The difference of HRT is caused by several things, among others, are the water hyacinth roots, medium density, and flow distribution. HRT is necessary to know that goal of waste processing in order to reach the optimally.

The process that occurs during the removal of pollutants in constructed wetland consists of the physical processes of sedimentation and filtration (by the silica sand and gravel), physical-chemical process (by silica sand, gravel, and

water hyacinth), and biochemical processes (by water hyacinth). The result of the research shows that the average percentage reduction in the highest parameters occur in the processing of P2 which is 63.7% (COD); 63.8% (BOD); 70% (N); 64% (P); 29.8% (TSS); 33% (turbidity).



PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Kajian Sistem *Constructed Wetland* Menggunakan Eceng Gondok Pada Penanganan Limbah Cair Pengolahan Kopi”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dekan Fakultas Teknologi Pertanian dan Ketua Jurusan Teknik Pertanian Universitas Jember atas segala inspirasi yang diberikan untuk kampus tercinta;
2. Dr. Elida Novita S.TP., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Akademik yang telah meluangkan tenaga, waktu, pikiran, dan perhatian dalam membimbing penulisan skripsi ini;
3. Dr. Sri Wahyuningsih S.P., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perbaikan dalam penulisan skripsi ini;
4. Sutarsi S.Tp., M.Sc. selaku Ketua Tim Penguji yang telah memberikan saran dan masukan dalam penyempurnaan skripsi ini;
5. Dr. Hidayat Teguh Wiyono, M.Pd. selaku Anggota Tim Penguji yang telah memberikan saran dan pengarahan dalam penyelesaian skripsi ini;
6. Ir. Muharjo Pudjojono selaku dosen dan Komisi Bimbingan Jurusan Teknik Pertanian;
7. Seluruh dosen pengampu mata kuliah, terimakasih atas ilmu dan pengalaman yang diberikan serta bimbingan selama studi di Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember;
8. Seluruh staf dan karyawan di lingkungan Fakultas Teknologi Pertanian, terima kasih atas bantuan dalam mengurus administrasi dan yang lainnya;
9. Kedua orang tua saya, ibunda Almh. Rohmaniyah dan ayahanda Alm. Achmad Machfud tercinta, terimakasih atas segala pengorbanan yang tulus yang telah diberikan;

10. Kakak-kakakku tersayang Reti Prihatini, Mustofa Kamal, Fatimahtuz Zahro, Agista Putri, dan keponanku Nisa serta seluruh keluarga besar yang selalu mendukung dan memberi semangat;
11. Saudara-saudaraku di UKM-PELITA UNEJ (Septian, Jainuri, Dista, mba Yuly, Niera, Arzaky, dan Ages) yang telah bersedia mendampingi baik suka maupun duka, serta keluarga besar UKM-PELITA UNEJ yang selalu memberikan pengalaman dan pelajaran berharga untuk bekal kehidupanku.
12. Teman-teman satu tim penelitian limbah cair kopi (Septika dan Riya) serta seluruh tim fitoremediasi dan anaerobik, terimakasih bantuan dan kerjasamanya;.
13. Sahabat-sahabatku Teknik Pertanian mba Eny, Fifi, dan Irma terimakasih atas kebersamaan yang sudah tercipta. Teman-temanku Teknik Pertanian seangkatan 2012 yang selalu bersedia untuk memberikan rasa kebersamaan, inspirasi, semangat dan motivasi hingga saat ini;
14. Sahabat-sahabat kontrakan tercinta (Nurma, Luqi, mb Benny, dan Linda) terimakasih atas kesabaran dan ketulusan kalian serta pembelajaran yang kalian berikan. Motivasi, kritik dan saran yang dapat menjadikan saya orang yang lebih baik lagi;
15. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah membantu baik tenaga maupun pikiran dalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi ini.

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

Jember, Mei 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Limbah Cair Kopi	4
2.2 Parameter Kualitas Air	6
2.3 Fitoremediasi.....	8
2.4 <i>Constructed Wetland</i>.....	9
2.4.1 Batu Kerikil.....	11
2.4.2 Eceng Gondok.....	11
2.4.3 Pasir Silika	13
2.5 <i>Hydraulic Residence Time (HRT) dan Debit</i>.....	14

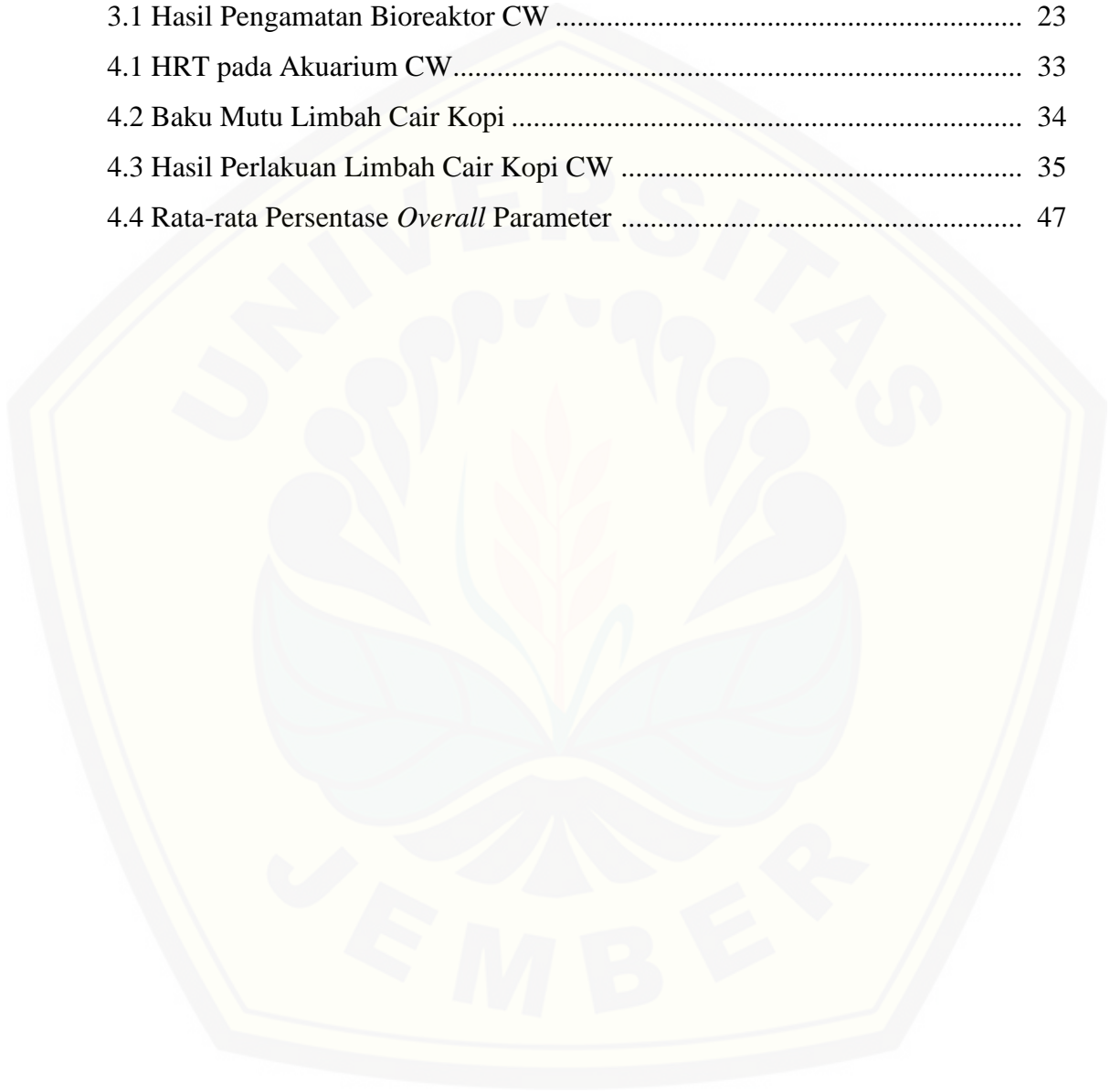
BAB 3. METODE PENELITIAN	16
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	16
3.2 Alat dan Bahan	16
3.2.1 Alat.....	16
3.2.2 Bahan	17
3.3 Tahapan Penelitian	17
3.3.1 Perancangan Bioreaktor CW	17
3.3.2 Prinsip Kerja Bioresktor CW.....	18
3.3.3 Penelitian Utama	19
3.3.4 Analisis Laboratorium	20
3.4 Diagram Alir Penelitian	21
3.5 Analisis Data	22
3.5.1 Analisis Persentase Penurunan Parameter	22
3.5.2 Analisis <i>General Linear Model</i> (GLM).....	23
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Hasil Rancangan Bioreaktor CW Penanganan Limbah Cair Kopi	26
4.1.1 Perancangan Teknis Bioreaktor CW.....	26
4.1.2 Komponen Akuarium CW	27
4.1.3 Tahapan Mekanisme Alat Sistem CW.....	28
4.2 Mekanisme Pengaliran Limbah Cair	32
4.3 Karakteristik Limbah Cair Kopi	34
4.4 Parameter Akhir Sistem CW	35
4.4.1 pH.....	35
4.4.2 Suhu	37
4.4.3 Kekeruhan	38
4.4.4 TSS dan TDS	40
4.4.5 COD dan BOD ₅	42
4.4.6 Nitrogen dan Fosfor	44
4.5 Analisis <i>General Linear Model</i> (GLM)	45
BAB 5. PENUTUP	49

5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN	52



DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Baku Mutu Limbah Cair Kopi	5
3.1 Hasil Pengamatan Bioreaktor CW	23
4.1 HRT pada Akuarium CW.....	33
4.2 Baku Mutu Limbah Cair Kopi	34
4.3 Hasil Perlakuan Limbah Cair Kopi CW	35
4.4 Rata-rata Persentase <i>Overall</i> Parameter	47



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Morfologi Buah Kopi	4
2.2 Rancangan CW Tipe <i>Subsurface Flow System</i> Skala Kecil	10
2.3 Tanaman Eceng Gondok	12
3.1 1 Rangkaian komponen Bioreaktor CW	18
3.2 Diagram Alir Penelitian	23
4.1 Kolam Limbah Pengolahan Kopi di Desa Sidomulyo	26
4.2 Hasil Perancangan Bioreaktor CW Pengolahan Limbah Cair Kopi.....	28
4.3 Komponen Bioreaktor CW.....	29
4.4 Mekanisme Aliran Limbah Sistem CW	30
4.5 Limbah Memasuki Zona Inlet.....	30
4.6 Grafik Laju Kenaikan pH.....	36
4.7 Grafik Perubahan Suhu	37
4.8 Grafik Penurunan Nilai Kekeruhan.....	39
4.9. Grafik persentase penurunan kekeruhan	39
4.10 Pasir Silika Sebelum Proses dan Sesudah Proses CW	40
4.11 Grafik Perubahan Nilai TSS dan TDS	41
4.12 Grafik persentase penurunan TSS.....	41
4.13 Persentase Penurunan COD dan BOD	43
4.14 Persentase Penurunan NH ₃ dan PO ₄	45
4.15 Grafik Analisis GLM	47

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Volume Limbah Cair Per Ton	52
B. Massa Batu Kerikil, Pasir Silika, Eceng Gondok, dan Volume Limbah Cair	53
C. Data Pengukuran Parameter	54
D. Data Persentase Penurunan Parameter	55
E. Analisis GLM	56
F. Prosedur Pengujian Parameter	58
G. Dokumentasi Penelitian.....	61

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kopi merupakan salah satu komoditas ekspor unggulan dari hasil perkebunan di Indonesia yang menyumbang 6,03 % dari ekspor kopi dunia (Direktorat Jendral Perkebunan, 2012). Perkebunan kopi di Indonesia 96% dikelola oleh rakyat dan sisanya dikelola oleh BUMN dan swasta (Direktorat Jendral Perkebunan, 2012). Menurut Direktorat Jendral Perkebunan (2014:37), luas areal dan produksi kopi robusta perkebunan rakyat di Kabupaten Jember pada tahun 2013 berturut-turut adalah 5.586 ha dan 2.516 ton. Desa Sidomulyo Kecamatan Silo merupakan salah satu sentra produksi kopi robusta perkebunan rakyat di Kabupaten Jember yang telah melaksanakan ekspor kopi.

Pada awalnya pabrik olah kopi Desa Sidomulyo hanya menggunakan pengolahan kopi kering, untuk meningkatkan mutu biji kopi maka dilakukan pengolahan kopi basah yang menggunakan tambahan air pada proses pengolahannya. Olahan buah kopi sebanyak 3 ton di pabrik olah basah Desa Sidomulyo menghasilkan limbah sebesar 15.354 kg dengan komposisi limbah cair 13.819 kg dan limbah kulit kopi 1.535 kg. Setiap hari kurang lebih dilakukan pengolahan kopi sebanyak 14 ton yang berlangsung selama 4-5 bulan.

Limbah cair kopi dari proses pengupasan dan pencucian ini diletakkan pada sebuah kolam penampungan sementara dengan panjang 10 m, kedalaman 1 m, dan lebar 1,5 m tanpa melalui pengolahan lebih lanjut sebelum dialirkan ke sungai. Padahal limbah cair kopi di Desa Sidomulyo memiliki kisaran kandungan COD 580 - 6400 mg/l; BOD 360 - 4158 mg/l; pH 4,2; TSS 47,29 – 130,52 mg/l; TDS 446 - 532 mg/l; Kekeruhan 71,20 – 409 NTU; N 11,79 - 197,7 mg/l; dan P 12, 75 – 69,62 mg/l yang belum memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan (Rukmawati, 2015:28). Limbah cair kopi ini memiliki komponen utama berupa bahan organik yang tinggi seperti protein dan gula, tingkat keasamannya rendah, dan suhu yang tinggi. Sehingga dapat menaikkan beban pencemaran yang menimbulkan bau tidak sedap, eutrofikasi di perairan, dan mengganggu

kenyamanan lingkungan, oleh karena itu dibutuhkan penanganan limbah cair pada proses pengolahan kopi basah tersebut.

Salah satu teknologi untuk mereduksi konsentrasi dalam limbah cair adalah melalui fitoremediasi. Menurut Mangkoediharjo *et al.* (2010:55), fitoremediasi adalah perubahan zat kontaminan berbahaya menjadi tidak berbahaya dengan menggunakan tanaman. Penelitian yang telah dilakukan oleh Rukmawati (2015:50), menunjukkan bahwa fitoremediasi metode sirkulasi selama 7 hari dengan menggunakan tanaman eceng gondok memiliki persentase penurunan tertinggi BOD dan COD sama yakni 97,5 %. Salah satu penerapan fitoremediasi yang memiliki konstruksi sederhana dan dapat disesuaikan dengan keadaan lapang tempat pengolahan limbah adalah sistem *constructed wetland*. Karena sistem *constructed wetland* ini merupakan pengolahan limbah dengan waktu yang cukup singkat akibat penambahan media berpori dan tanaman yang sangat membantu dalam pendegradasian polutan.

Constructed wetland (CW) terdiri atas pengolahan sedimentasi, filtrasi, transfer gas, adsorpsi, pengolahan kimiawi dan biologi (Hammer, 1989: 14). *Constructed wetland* (CW) *subsurface flow system* (SFS) yaitu aliran air limbah mengalir secara perlahan melalui tanaman dengan media berpori, batu pecah, atau batu kerikil (Hammer, 1989:166). Keunggulan sistem ini adalah konstruksinya sederhana tanpa peralatan dan mesin, mudah perawatannya (Hammer, 1989:17), Pada penelitian ini disesuaikan dengan keadaan lapang di Desa Sidomulyo sehingga perlu di perhatikan *Hydrolic Residence Time* (HRT) yang merupakan waktu tinggal air limbah dalam bioreaktor dan aliran debit yang digunakan.

Penelitian ini menggunakan skala laboratorium pada sebuah bioreaktor dengan tanaman eceng gondok, media pasir silika, dan batu kerikil. Bioreaktor ini memiliki dua sekat untuk membedakan zona pengolahan, inlet, dan outlet. Untuk mengetahui mekanisme alat dan persentase penurunan parameter pada CW maka penelitian ini terdiri atas beberapa perlakuan dan ulangan. Perlakuan pertama limbah awal yang telah diukur parameternya. Kemudian perlakuan kedua memiliki waktu tinggal dan debit. Selanjutnya perlakuan terakhir merupakan lanjutan perlakuan pertama yang memiliki waktu tinggal dan tanpa pemberian

debit. Nilai yang diperoleh dari ulangan hasilnya akan di rata-rata untuk digunakan sebagai analisa data.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas diperoleh beberapa rumusan masalah yakni sebagai berikut.

1. Bagaimana mekanisme alat *constructed wetland* pada pengolahan limbah cair kopi?
2. Bagaimana efektifitas *constructed wetland* pada penurunan parameter COD, BOD, TSS, TDS, kekeruhan, suhu, pH, N, dan P limbah cair kopi?

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini ruang lingkup permasalahan hanya dibatasi pada pengukuran penurunan parameter COD, BOD, TSS, TDS, pH, suhu, kekeruhan, N, dan P, serta sistem aliran limbah dalam *constructed wetland* (dimensi bioreaktor, tebal pasir silika dan batu krikil, aliran limbah, input dan output, proses yang terjadi, debit aliran, dan HRT).

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan di atas diperoleh beberapa tujuan penelitian yakni sebagai berikut.

1. Merancang alat *constructed wetland* pada pengolahan limbah cair kopi.
2. Mengetahui efektifitas *constructed wetland* pada penurunan parameter COD, BOD, TSS, TDS, kekeruhan, suhu, pH, N, dan P limbah cair kopi.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan oleh para petani kopi rakyat, khususnya di Desa Sidomulyo sebagai bahan masukan dalam upaya penerapan teknologi penanganan limbah pengolahan kopi basah sehingga mampu untuk mengurangi dampak pencemaran lingkungan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Cair Kopi

Menurut Kristanto (2004:169), limbah merupakan suatu barang atau zat sisa dari sebuah kegiatan produksi yang tidak bermanfaat atau bernilai ekonomi lagi. Zat pencemar dalam suatu limbah mengandung zat-zat yang berbahaya seperti ammonia, nitrit, nitrat maupun zat pencemar berbahaya lainnya. Pada tanah dan tanaman, temperatur, kandungan cairan, dan tingkat keasaman limbah cair sangat mengganggu kehidupan mikroorganisme maupun tanaman. Pada perairan, limbah mampu mematikan bakteri dan ikan-ikan dalam air. Sehingga limbah sangat berpengaruh terhadap adanya pencemaran lingkungan yang kehadirannya tidak di kehendaki.

Pengolahan kopi dapat dilakukan melalui pengolahan proses secara kering dan basah. Proses kering dilakukan pada kapasitas olah kecil melalui beberapa tahap yakni panen, sortasi buah (kulit kopi merah, hijau, dan terserang bubuk), pengeringan, hulling (pengupasan kulit buah dan tanduk), sortasi biji, pengemasan, dan penyimpanan (perhatikan Gambar 2.1). Sementara pada proses



Gambar 2.1 Morfologi Buah Kopi

basah dilakukan beberapa tahap yakni panen, sortasi buah (kulit kopi merah), pulping (pengupasan kulit buah), fermentasi, pencucian, pengeringan, hulling (pengupasan kulit tanduk), sortasi, pengemasan, dan penyimpanan (Najiyati dan Danarti, 2001:149-157). Proses basah menghasilkan mutu biji lebih baik daripada proses kering, namun membutuhkan pengolahan yang lebih kompleks dan biaya yang lebih besar (Rahardjo, 2003:1).

Komponen utama limbah cair berupa material organik yang diperoleh selama proses pengupasan kulit buah kopi (*pulping*), yakni ketika daging buah dan getah disekitar kulit tanduk dihilangkan. Limbah cair dari proses *pulping* mengandung pektin dan gula (karbohidrat polisakarida). Selanjutnya pada proses fermentasi dan pencucian pektin di hidrolisa oleh enzim (pektinase dan pektase) menjadi pektin oligosakarida, selanjutnya menjadi asam pektin jika dalam keadaan asam. Gula dan pektin oligosakarida yang mengalami fermentasi akan mengapung diatas permukaan air limbah. Limbah yang bersifat asam dan mengandung warna flavanoid memberikan warna hitam pada air sungai tempat buangan limbah. Namun hal ini tidak menyebabkan nilai BOD dan COD berubah secara signifikan. Bahan organik dari endapan getah padat dan bahan organik yang jumlahnya sedikit namun dapat mempengaruhi nilai BOD dan COD adalah toksik kimia seperti tannin, alkaloids (kafein), dan polipenol yang terdapat pada daging buah (Rothfos, 1979:102).

Karakterisasi limbah meliputi analisis limbah cair dan limbah padat. Dalam melakukan karakterisasi limbah cair, parameter yang akan diukur di antaranya adalah BOD, COD, TSS, pH, phospor dan total nitrogen. Berdasarkan peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 tahun 2013 tentang baku mutu air limbah pengupasan biji kopi atau coklat dengan volume limbah cair maksimum per satuan produk $40 \text{ m}^3/\text{ton}$ produk ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Baku Mutu Limbah Cair Kopi

Parameter	Kadar Maksimum (mg/l)
BOD ₅	75*
COD	200*
TSS	100*
pH	6-9*
N	20**
P	5**

Sumber: *Peraturan Gubernur Jawa Timur (2013)

**Presiden Republik Indonesia (2001)

Limbah cair dan limbah padat yang dihasilkan pada pengolahan kopi dapat menimbulkan eutrofikasi di perairan dan berbau tidak sedap. Hal tersebut dapat menurunkan kualitas air, jika dialirkan ke badan air maka akan mencemari sungai,

organisme air, dan bila masih digunakan akan menimbulkan gangguan kesehatan yang berkaitan dengan air yang kotor dan sanitasi lingkungan yang tidak baik oleh karena itu harus dilakukan pengolahan limbah terlebih dahulu sebelum masuk ke badan air (Kusnaedi, 2002:76).

2.2 Parameter Kualitas Air

Pengukuran parameter kualitas air bertujuan untuk mengukur dan mendeteksi pengaruh yang ditimbulkan oleh suatu bahan pencemar terhadap kualitas perairan dan lingkungan disekitarnya (Kristanto, 2004:145). Berikut ini adalah beberapa parameter kualitas air yang biasa digunakan untuk menentukan beban pencemaran air dan lingkungan.

1. Kekeruhan

Kekeruhan atau kekeruhan merupakan sifat optis air yang menunjukkan terjadinya hambatan cahaya yang masuk ke dalam air. Kekeruhan biasanya di akibatkan oleh benda-benda halus yang disuspensikan (lumpur), jasad renik (plankton), senyawa limbah maupun benda-benda kecil lainnya yang melayang ataupun terapung di dalam air. Kekeruhan menyebabkan terjadinya penyerapan cahaya oleh air yang dapat menghambat proses penguraian dan oksidasi zat-zat organik yang ada di dalam air sehingga sangat berpengaruh terhadap kualitas air (Kristanto, 2004:80).

2. Suhu

Suhu merupakan salah satu indikator dalam air yang dapat mempengaruhi tingkat konsentrasi oksigen terlarut dan tingkat kecepatan reaksi kimia. Suhu juga sangat berpengaruh terhadap adanya kehidupan di dalam air sehingga secara langsung suhu juga sangat berpengaruh terhadap keseimbangan ekosistem di dalam air. Biasanya air dengan suhu yang baik akan ditandai dengan banyaknya makhluk hidup yang hidup di dalam air seperti ikan dan hewan air lainnya (Kordi *et al.*, 2007:46).

3. pH

pH merupakan derajat keasaman yang menyatakan adanya ion H^+ dalam air. pH dapat mempengaruhi kehidupan biologi dalam air, mempengaruhi

senyawa kimia dan toksisitas. Selain itu pH juga mempengaruhi nilai BOD, fosfat dan nutrisi lain. Bila terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat mematikan kehidupan mikroorganisme. pH normal untuk kehidupan air adalah 6-8 (Kordi *et al.*, 2007:40).

4. *Total Suspended Solid (TSS)*

TSS disebabkan oleh partikel-partikel yang berukuran kecil yang dapat menyebabkan adanya kekeruhan dan tidak dapat terlarut di dalam air. Contohnya partikelnya di antaranya adalah zat-zat organik tertentu, koloid, tanah liat, mikroorganisme dan lain sebagainya. TSS pada suatu sampel air merupakan jumlah berat padatan yang tersuspensi dengan volume air dan dinyatakan dalam milligram per liter atau ppm (Kristanto, 2004:82).

5. *Total Dissolved Solid (TDS)*

TDS merupakan padatan-padatan yang mempunyai ukuran lebih kecil daripada padatan tersuspensi. Padatan terlarut terdiri dari senyawa-senyawa organik dan anorganik yang terlarut dalam air dan menunjukkan jumlah kepekatan padatan dalam suatu sampel air yang dinyatakan dalam mg/l (Kristanto, 2004:82).

6. *Dissolved Oxygen (DO)*

Oksigen terlarut merupakan salah satu tolak ukur untuk menentukan kualitas air. DO dapat berasal dari fotosintesis tanaman air dan dari atmosfer yang masuk ke dalam air. Tingkat konsentrasi oksigen biasanya berbeda-beda tergantung dari suhu dan tekanan atmosfer udara. Tingkat konsentrasi DO sangat berpengaruh terhadap kehidupan yang ada di dalam air (Kordi *et al.*, 2007:36).

7. *Biological Oxygen Demand (BOD)*

BOD merupakan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme di dalam air untuk menguraikan zat-zat organik atau zat-zat lainnya. BOD mengukur secara relatif jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi bahan-bahan buangan (Kristanto, 2004:87). BOD menentukan beban pencemaran air buangan, jika nilainya tinggi proses penguraian zat organik terhambat karena bakteri menghabiskan oksigen terlarut dan terjadi kondisi anaerobik yang menimbulkan bau busuk (Alaerts dan Santika, 1987:159).

8. *Chemical Oxygen Demand* (COD)

COD pada dasarnya adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan atau mengoksidasi zat organik yang ada di dalam suatu perairan. Uji COD lebih cepat daripada uji BOD, yakni untuk mengetahui jumlah bahan organik yang ada di dalam air yakni berdasarkan reaksi kimia dari suatu bahan oksidan (Kristanto, 2004:88). Banyak air limbah memiliki nilai COD tinggi dan BOD rendah yang disebabkan adanya bahan organik yang tidak dapat dipecah secara biologik atau bahan beracun.

9. Nitrogen (N)

Nitrogen merupakan salah satu unsur hara yang dibutuhkan oleh suatu organisme, terutama untuk pertumbuhan algae dan tumbuhan air lainnya (Alaerts dan Santika, 1987:184). Konsentrasi nitrogen yang melimpah dapat menstimulasi pertumbuhan dan perkembangan bagi organisme perairan khususnya algae atau fitoplankton bila didukung oleh ketersediaan nutrisi lainnya. Nitrogen dalam perairan biasanya berakhir menjadi amonia yang berasal dari limbah industri atau pertanian.

10. Fosfor (P)

Fosfor merupakan salah satu unsur hara yang dibutuhkan dalam daur organik suatu perairan karena bersama-sama dengan karbon melalui proses fotosintesis membentuk jaringan tumbuh-tumbuhan (Alaerts dan Santika, 1987:185). Fosfor dalam perairan biasanya berakhir menjadi fosfat yang berasal dari limbah industri atau pertanian.

2.3 **Fitoremediasi**

Apabila media lingkungan (perairan, tanah dan udara) telah tercemar maka salah satu proses pemulihan lingkungan tercemar dapat dilakukan dengan menggunakan tumbuhan yang dikenal dengan fitoremediasi (phytoremediation). Fitoremediasi merupakan salah satu upaya penggunaan media tanaman beserta bagian-bagiannya untuk dekontaminasi limbah dan masalah-masalah pencemaran lingkungan pada kolam buatan maupun langsung di lapangan pada lingkungan yang tercemar oleh limbah. Dengan demikian fitoremediasi adalah pemanfaatan

tumbuhan, mikroorganisme untuk meminimalisasi dan mendetoksifikasi bahan pencemar karena tanaman mempunyai kemampuan menyerap logam-logam berat dan mineral yang tinggi atau sebagai *fitoakumulator* dan *fotochelator* (Mangkoedihardjo, 2005:56).

Proses fitoremediasi dikembangkan menjadi fitoteknologi. Proses fitoremediasi berdasarkan mekanisme fungsi dan struktur tumbuhan yang sesuai dengan proses degradasi limbah adalah rizofiltrasi. Rizofiltrasi dapat diartikan dengan akar tumbuhan mengabsorpsi atau presipitasi pada zona akar atau mengabsorpsi larutan polutan sekitar akar ke dalam akar. Spesies tumbuhan yang fungsional adalah rumput air seperti Cattail dan eceng gondok (Mangkoedihardjo, 2005:56).

2.4 *Constructed Wetland (CW)*

Salah satu aplikasi fitoremediasi yang dapat digunakan dalam pengolahan limbah adalah *Constructed wetland (CW)*. *Constructed wetland (CW)* adalah sebuah sistem menyerupai lahan basah alami terdiri atas substrat jenuh, vegetasi, satwa, dan air, di dalamnya terjadi aktivitas pengolahan sedimentasi, filtrasi, transfer gas, adsorpsi, pengolahan kimiawi dan biologi (Hammer, 1989:14). Pada *constructed wetland (CW)* dibutuhkan tanaman yang dapat mengurangi polutan; dan media berupa tanah, pasir, atau batu krikil. Keunggulan sistem ini adalah konstruksinya sederhana tanpa peralatan dan mesin, mudah perawatannya, dan memiliki nilai estetika (Hammer, 1989:17).

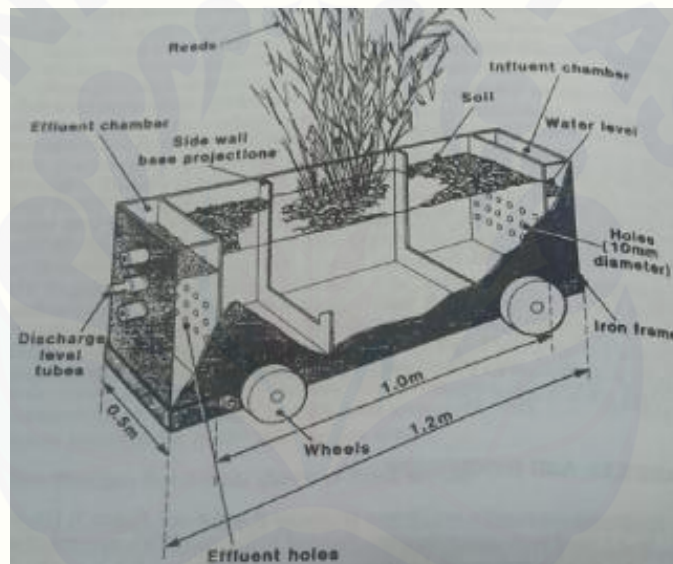
Pengolahan limbah CW didefinisikan sebagai sistem pengolahan yang memasukkan faktor utama, yaitu:

1. Area yang tergenangi air dan mendukung kehidupan tumbuhan air sejenis hydrophyta.
2. Media tempat tumbuh berupa tanah yang selalu digenangi air (basah).
3. Media bisa juga bukan tanah, tetapi media yang jenuh dengan air. (Novonty, 2003:513)

Menurut Hammer, (1989:265) *Subsurface Flow System (SFS) constructed wetland* merupakan kolam atau saluran-saluran yang dilapisi material bersifat

impermeabel di bawah saluran atau kolam yang berfungsi untuk mencegah merembesnya air keluar kolam atau saluran. Pengolahan *Subsurface Flow System (SFS) constructed wetland* terjadi ketika air limbah mengalir secara perlahan melalui tanaman yang diletakkan pada media berpori, misalnya batu pecah atau batu kerikil dan pasir silika.

Kelebihan metode CW SFS dibandingkan tipe lain adalah kebutuhan lahan lebih sempit, tidak menimbulkan bau, dan tidak menjadi tempat berkembang biak nyamuk. Tujuan penggunaan tanaman adalah untuk menyediakan oksigen di zona perakaran dan menambah area pertumbuhan biologis, serta menyerap bahan pencemar (Novonty, 2003:515).



Sumber: Hammer (1989:168)

Gambar. 2.2 Rancangan CW Tipe *Subsurface Flow System* Skala Kecil

CW horizontal *Subsurface flow system* skala kecil dirancang dengan rekayasa aliran menggunakan sekat. Terdiri atas bioreaktor yang berisi bahan inert (biasanya digunakan batu kerikil dan pasir silika) yang telah ditentukan agar dapat terjadi konduktivitas hidrolis. Air mengalir secara horizontal mulai dari zona inlet yang diberi media batu kerikil menuju ke pengolahan yang berisi pasir silika, batu kerikil, dan tanaman, selanjutnya ke zona inlet yang hanya diberi batu kerikil. Antara zona inlet atau outlet yang berhubungan dengan zona pengolahan diberi sekat yang berlubang (Hammer, 1989:167). Proses pengolahan air limbah dengan

teknologi CW dapat terjadi melalui proses kimia, fisika, dan biologis yang merupakan interaksi antara mikroorganisme (Cincinnati, 1988:47).

2.4.1 Batu kerikil

CW menerima air limbah rumah tangga atau industri yang dapat diolah menggunakan media batu kerikil. Banyak limbah domestik SSF lahan basah di Amerika Serikat telah menggunakan media mulai dari batu kerikil menengah sampai batu kasar. Batu kerikil mengering dengan cepat dan berfungsi untuk mempertahankan tingkat air dan vegetasi yang digunakan (Hammer, 1989:14)

Batu kerikil berfungsi sebagai pengendap dan penyaring kotoran dalam air pada CW, yang disebut dengan filter fisika. Ukuran batu kerikil (*gravel*) yang sering digunakan adalah 1,3 – 3,8 cm. Menurut Novonty (2003:452) batu kerikil yang berfungsi sebagai filter fisika mampu bekerja dengan menangkap padatan tersuspensi dan mikroorganisme tertentu dalam limbah. Batu kerikil ini memiliki luas permukaan yang besar, penyumbatan yang terjadi sangat kecil, memiliki volume rongga yang besar, serta bakteri dapat hidup dan melekat pada permukaannya.

Dalam proses CW batu kerikil dapat menangkap endapan lendir yang ikut mengalir bersama limbah. Lendir yang menyelimuti batu kerikil disebut juga *biological film*. Menurut Hammer (1989:167), air limbah yang masih mengandung zat organisme yang belum teruraikan pada bak pengendap bila melalui lapisan lendir ini akan mengalami proses penguraian secara biologis. Efisiensi biofilter tergantung dari luas kontak antara air limbah dengan mikroorganisme yang menempel pada permukaan media filter tersebut. Makin luas bidang kontakannya, maka efisiensi penurunan zat organiknya (BOD) semakin besar. Selain menghilangkan atau mengurangi konsentrasi BOD dan COD, cara ini juga dapat mengurangi konsentrasi padatan tersuspensi atau *suspended solid*, ammonium, dan fosfor.

2.4.2 Eceng Gondok

Jenis tanaman yang sering digunakan untuk kolam air limbah di negara-negara berkembang ialah eceng gondok. Tempat tumbuh yang ideal bagi tanaman

eceng gondok adalah perairan yang dangkal dan berair keruh, dengan suhu berkisar antara 28-30 °C dan kondisi pH berkisar 4,0–12,0. Tanaman eceng gondok merupakan gulma yang hampir tidak dapat diatasi, karena mampu berkembang biak secara generatif dan vegetatif. Tumbuhan ini berwarna hijau dan memiliki daun menggelembung (berbentuk oval) serta batang berongga sehingga memungkinkan untuk mengapung dipermukaan air. Eceng gondok hidup di atas perairan atau rawa yang dapat tumbuh dengan cepat (3% per hari) dan mampu menghisap air dan menguapkannya ke udara melalui proses evaporasi. (Pudjiono, 2009:70).



Gambar 2.3 Tanaman Eceng Gondok

Pada sistem CW tanaman berfungsi untuk membantu mempercepat proses yaitu dengan memberikan lingkungan yang baik bagi pertumbuhan populasi mikroba pada rizosphere serta dapat mentransfer oksigen hingga ke akar dan ke lapisan tanah sehingga terbentuk pergantian aerobik (anoksik dan zona anaerob) yang dapat mengakibatkan pertumbuhan mikroba yang berbeda dan dapat menghilangkan sebagian besar patogen (Novonty, 2003:515). Eceng gondok merupakan salah satu media fitoremediasi pada sistem CW yakni sebagai tanaman yang dapat digunakan pada pengolahan limbah.

Mikroorganisme yang berperan penting pada proses degradasi limbah diantaranya adalah *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* yang berada pada akar eceng gondok. Materi organik akan terdekomposisi akibat aktivitas mikroba, nitrogen akan terdenitrifikasi jika tersedia materi organik yang cukup, fosfat akan

teradsorpsi oleh media dan tanaman. Pengambilan nutrien dan polutan oleh tanaman untuk membentuk biomassa tanaman (Alaerts dan Santika, 1987:185).

Menurut Widyaningsih (2007:19), bagian-bagian tanaman eceng gondok yang berperan penting dalam proses fitoremediasi adalah:

a. Akar

Akar eceng gondok adalah akar serabut. Pada bagian akar tanaman eceng gondok berfungsi untuk menyerap zat-zat yang terkandung di dalam air. Dalam susunan akar dapat mengumpulkan partikel yang terlarut dalam air dan dapat mengumpulkan lumpur dengan cara melekatkan di antara bulu-bulu akar.

b. Batang

Eceng gondok mempunyai batang (*petiole*) yang berbentuk bulat menggelembung, di dalam batang eceng gondok terdapat ruangan-ruangan udara yang berfungsi untuk mengapung di atas permukaan air. Pada batang eceng gondok terdapat lapisan terluar yaitu *epidermis*, lapisan ini berfungsi untuk mengadsorpsi gas-gas dan zat-zat makanan secara langsung dari air. Bagian dalam terdapat jaringan pengangkut yang terdiri dari *xylem* dan *floem*.

c. Daun

Eceng gondok mempunyai daun yang berbentuk bulat telur, ujungnya tumpul dan hampir bulat serta tergolong dalam makrofit yang terletak di atas permukaan air yang terdapat rongga udara didalamnya. Rongga udara ini berfungsi untuk membuat tanaman agar bisa terapung dalam air, selain itu juga berfungsi sebagai penyimpan oksigen pada proses fotosintesis. Eceng gondok mempunyai keunggulan dalam kegiatan fotosintesis, penyediaan oksigen dan penyerapan sinar matahari serta zat-zat yang larut di bawah permukaan air. Selain itu eceng gondok juga dapat menyerap senyawa nitrogen dan fosfor yang terkandung dalam air yang tercemar (Widyaningsih, 2007:20).

2.4.3 Pasir Silika

Pasir silika dapat mengering dengan cepat dan berfungsi untuk mempertahankan tingkat air dan vegetasi yang digunakan (Hammer, 1989:14). Pasir merupakan alternatif murah untuk tanah dan memberikan tekstur yang ideal

untuk penanaman tanaman. Ukuran pasir silika paling optimum sebagai media penyaring adalah $\leq 0,5$ mm (Marno, 2014). Menurut USDA (dalam Kusnaedi, 2002:15) ukuran pasir dibagi menjadi lima, antara lain:

- a. pasir saringan kasar (*very coarse sand*) 2,0 - 1,0 mm,
- b. pasir kasar (*coarse sand*) 1,0 - 0,5 mm,
- c. pasir sedang (*medium sandy*) 0,5 - 0,25 mm,
- d. pasir halus (*fine sandy*) 0,25 - 0,1 mm,
- e. pasir sangat halus (*very fine sandy*) 0,1 - 0,05 mm.

Proses filtrasi terjadi ketika penangkapan bahan organik di ruang hampa oleh media pasir silika. Silika sebagai filter fisika bekerja dengan menangkap padatan tersuspensi dan mikroorganisme yang juga dibantu oleh eceng gondok (Novonty, 2003:452). Bahan organik didegradasi oleh mikroorganisme yang tumbuh pada permukaan media dan menempel pada akar tanaman eceng gondok, serta penetrasi rhizoma pada pasir silika. Menurut Novonty (2003:450), perpanjangan sel-sel epidermis berdinding lengket dan melekat kuat pada partikel media pasir menjadikan rhizoma bersentuhan langsung dengan film air yang juga melekat kuat pada media pasir. Mineral masuk dengan atau tanpa air yang diserap akar, diangkut hingga ke daun untuk proses fotosintesis dan evapotranspirasi. Jika terjadi fotosintesis maka tanaman akan menyerap ion CO_2 yang menyebabkan nilai pH menjadi naik (Kordi *et al.*, 2007: 46).

2.5 *Hydraulic Residence Time (HRT) dan Debit*

Menurut Kodoatie (2009:45), *Hydraulic Residence Time (HRT)* merupakan waktu tinggal yang dapat dinyatakan sebagai jumlah waktu dalam jam untuk air limbah melewati bioreaktor. HRT adalah salah satu parameter desain kunci mengendalikan persentase penyisihan kontaminan dan nutrisi dalam stormwater dan air limbah lahan basah. Waktu tinggal (HRT) yang cukup lama dalam limbah cair membuat degradasi atau pengaruh terhadap zat organik akan semakin baik. HRT dapat dihitung pada Persamaan 2.1

$$\text{HRT (jam)} = \frac{\text{Volume (m}^3\text{)}}{\text{debit (m}^3\text{/jam)}} \dots\dots\dots(2.1)$$

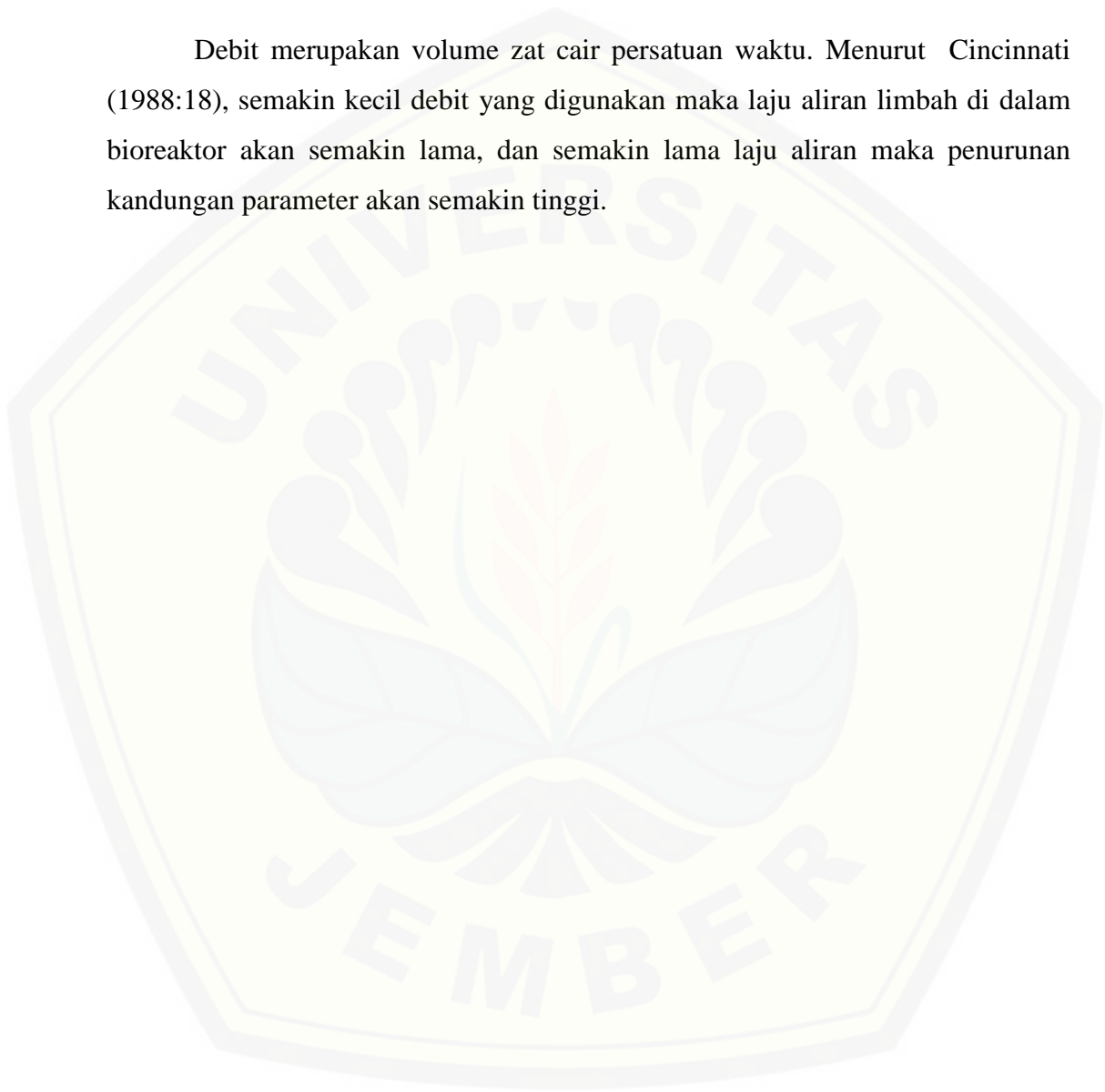
Keterangan:

HRT : Waktu reesidene hidrolis

Volume : Volume tangki (m^3)

Debit : debit masuk (m^3/jam)

Debit merupakan volume zat cair persatuan waktu. Menurut Cincinati (1988:18), semakin kecil debit yang digunakan maka laju aliran limbah di dalam bioreaktor akan semakin lama, dan semakin lama laju aliran maka penurunan kandungan parameter akan semakin tinggi.



BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus 2015 sampai dengan bulan Februari 2016. Preparasi sampel dan bahan serta pengujian sampel dilaksanakan di Laboratorium Kualitas Air Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan (TPKL), Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember. Perancangan alat dilaksanakan di Fakultas Teknologi Pertanian (lampiran F), Universitas Jember. Sampel berupa limbah cair hasil olah basah biji kopi diambil dari Desa Sidomulyo, Kecamatan Silo, Jember. Tanaman enceng gondok diambil dari rawa-rawa Desa Gumukmas Kecamatan Gumukmas, Jember. Analisa COD, BOD, N dan P dilakukan di Laboratorium Teknologi Lingkungan dan Rekayasa Proses, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- | | |
|--------------------------|------------------------------|
| a. Bioreaktor kaca | o. Kertas saring 0,45 μ |
| b. Kran 1/2' | p. Cawan alumunium |
| c. Pipa T 1/2' | q. PH meter Tranz |
| d. Saringan kain | r. Termometer |
| e. Pompa KD-1800 | s. Turbidimeter TN-100 |
| f. Lem kaca | t. Reaktor COD |
| g. Desikator | u. Spektrofotometer
Hanna |
| h. Neraca analitik Ohaus | v. Botol winkler |
| i. TDS meter Hanna | w. Reagent COD HR |
| j. Erlenmayer | |
| k. Gelas beaker | |
| l. Bak plastic | |
| m. Oven | |
| n. Jirigen | |

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

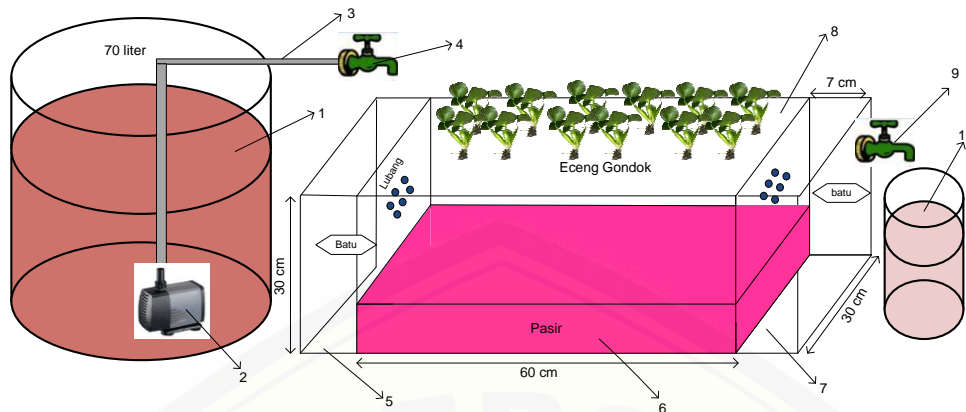
- | | |
|------------------------------|---------------------------|
| a. Eceng gondok | g. Larutan Albatu kerikil |
| b. Aquades | Azida |
| c. Batu batu kerikil | h. Larutan NaOH 0,1 N |
| d. Pasir Silika | i. Larutan Amilum |
| e. Larutan Tiosulfat 0,025 N | j. Limbah cair kopi |
| f. Larutan $MnSO_4$ | |

3.3 Tahapan Penelitian

3.3.1 Perancangan Bioreaktor CW

Alat CW yang digunakan dalam penelitian ini berupa sebuah bioreaktor kaca. Bioreaktor pada CW ini terbuat dari kaca yang memiliki 3 zona yaitu zona inlet, zona pengolahan, dan zona outlet. Sekat zona dilengkapi lubang berjumlah 6 buah dengan posisi lajur horizontal. Dimensi bioreaktor CW adalah panjang 74 cm, lebar dengan panjang zona pengolahan 60 cm, penambahan lebar 7 cm pada kanan dan kiri zona pengolahan untuk zona inlet dan outletnya. Zona inlet diberi media batu kerikil, zona pengolahan diberi pasir silika yang di atasnya diberi eceng gondok, dan zona outlet diberi batu kerikil

Bak penampung limbah terbuat dari plastik karena tahan karat, tahan perubahan suhu, dan lebih murah dari bahan aluminium. Untuk mengeluarkan limbah ditempatkan pada pipa PVC yang disambung dengan kran. Letak bak penampung limbah yang sejajar dengan bioreaktor CW maka digunakan pompa untuk mengalirkan air menuju bioreaktor CW. Kran kedua diletakkan pada zona outlet yang selanjutnya akan digunakan tempat pengeluaran limbah. Bioreaktor CW beserta bagian-bagiannya dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Rangkaian komponen Bioreaktor CW

Keterangan:

1. Bak penampungan limbah cair sebelum dilakukan perlakuan.
2. Pompa akuarium
3. Pipa PVC
4. Kran limbah dari bak ke bioreaktor CW
5. Zona inlet
6. Zona pengolahan
7. Zona outlet
8. Dinding kaca bioreaktor CW
9. Kran outlet
10. Bak penampung untuk pengukuran parameter

3.3.2 Prinsip Kerja Bioreaktor CW

Mula-mula limbah ditampung dalam sebuah bak yang diberi pompa untuk mengangkat air dari dalam bak ke bioreaktor CW. Air limbah dialirkan melalui pipa dan ujungnya diberi kran. Kran ini dapat dibuka dan ditutup untuk mengatur debit keluaran dari limbah cair kopi yang masuk ke dalam bioreaktor CW. Kran juga mengatur debit masuk yang akan digunakan. Volume air yang masuk dan debit yang telah ditentukan akan berpengaruh terhadap waktu tinggal limbah di dalam bioreaktor CW yang dapat dihitung dengan persamaan 2.1.

Pada penelitian ini disesuaikan dengan keadaan lapang di Desa Sidomulyo sehingga terdiri atas 3 perlakuan dan 2 ulangan. Perlakuan P0 adalah limbah awal yang telah diukur parameternya. Kemudian P1 adalah perlakuan yang telah

memiliki waktu tinggal 7 jam dan debit 1 ml/detik. Selanjutnya P2 adalah perlakuan lanjutan P1 yang memiliki waktu tinggal 21 jam dan tanpa pemberian debit. Nilai yang diperoleh dari ulangan 1 dan 2 hasilnya akan di rata-rata untuk digunakan sebagai analisa data.

3.3.3 Penelitian Utama

Penelitian utama ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh sistem CW *Subsurface flow system* (SFS) limbah cair pengolahan kopi terhadap parameter pengukuran yaitu pH, kekeruhan, TSS, suhu, TDS, COD, BOD, N, dan P; serta mekanisme kerja sistem CW, penempatan pasir silika dan krikil, aliran limbah, inlet-pengolahan-outlet, HRT, dan debit aliran yang berpengaruh terhadap penurunan nilai parameter kualitas airnya. Berikut merupakan prosedur pelaksanaan penelitian utama.

- a. menyiapkan dan membersihkan tanaman eceng gondok sebanyak 1.000 gram,
- b. menimbang eceng gondok, penempatan eceng gondok pada zona pengolahan,
- c. menyiapkan satu buah bioreaktor dan satu buah bak penampung yang dilengkapi dengan pompa, pipa, dan kran untuk mengatur debit yang keluar menuju bioreaktor,
- d. menyiapkan batu kerikil 11.100 gram,
- e. menyiapkan pasir silika 22.200 gram,
- f. menyiapkan limbah cair kopi (berasal dari proses pengupasan dan pencucian pada pengolahan kopi) 32.249 liter,
- g. mengisi bak penampungan dengan limbah cair kopi, dan atur debit 1 ml/detik yang keluar,
- h. mengisi bioreaktor dengan batu kerikil pada bagian input dan output yang bersekat,
- i. mengisi bioreaktor dengan pasir silika pada bagian pengolahannya,
- j. meletakkan eceng gondok yang telah diberi sekat,
- k. pengamatan dilakukan sesuai waktu tinggal dari estimasi waktu saat limbah masuk di kolam penampungan limbah di Desa Sidomulyo
- l. mengukur pH, suhu, TSS, TDS, kekeruhan, COD, BOD₅, untuk mengetahui karakteristik awal limbah cair kopi (P0), limbah akhir (P1), dan limbah akhir

(P2). Sampel limbah cair kopi diambil sebanyak 1 liter. 0,5 liter limbah cair kopi dibawa ke Laboratorium Teknologi Pengendalian dan Konservasi Lingkungan Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember untuk analisis TSS dan TDS. 0,5 liter limbah cair kopi dimasukkan di *coolbox* yang diberi es batu dan kemudian dibawa ke Laboratorium Analisa Kualitas Air Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Lakukan kembali langkah langkah di atas untuk ulangan kedua.

3.3.4 Analisis Laboratorium

a. pH

pH pada dasarnya merupakan suatu tingkat keasaman atau kebasaaan (alkali) suatu zat tertentu. Pengukuran pH ini dilakukan dengan menggunakan pH Meter. Elektroda pH meter dicelupkan ke dalam larutan buffer pH 7. pH meter setelah dikalibrasi kemudian dicelupkan pada bioreaktor yang berisi limbah cair kopi sampai angka yang tertera pada pH meter tidak berubah.

b. BOD dan COD

COD dan BOD dianalisis di Laboratorium Analisa Kualitas Lingkungan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya. Prosedur pengukuran COD berdasarkan SNI 06-6989.2-2004 dan pengukuran BOD berdasarkan SNI 6989.72:2009 sebagaimana prosedur pengujian terlampir.

d. TSS

Total padatan tersuspensi (TSS) merupakan jumlah bahan partikel renik yang tercampur dalam kandungan air. TSS akan terlihat setelah dilakukan penyaringan dengan kertas saring 0,45 μ , untuk kemudian ditimbang dan dinyatakan dalam satuan mg/liter. TSS secara gravimetrik berdasarkan SNI 06-6989.3-2004 sebagaimana prosedur pengujian terlampir.

e. TDS

Pengukuran TDS diukur dengan menggunakan TDS meter. Penggunaan TDS meter dilakukan dengan cara menekan tombol ON untuk menghidupkan alat dan dicelupkan pada bioreaktor yang berisi limbah cair kopi sampai angka yang tertera pada TDS meter tidak berubah.

f. Kekeruhan

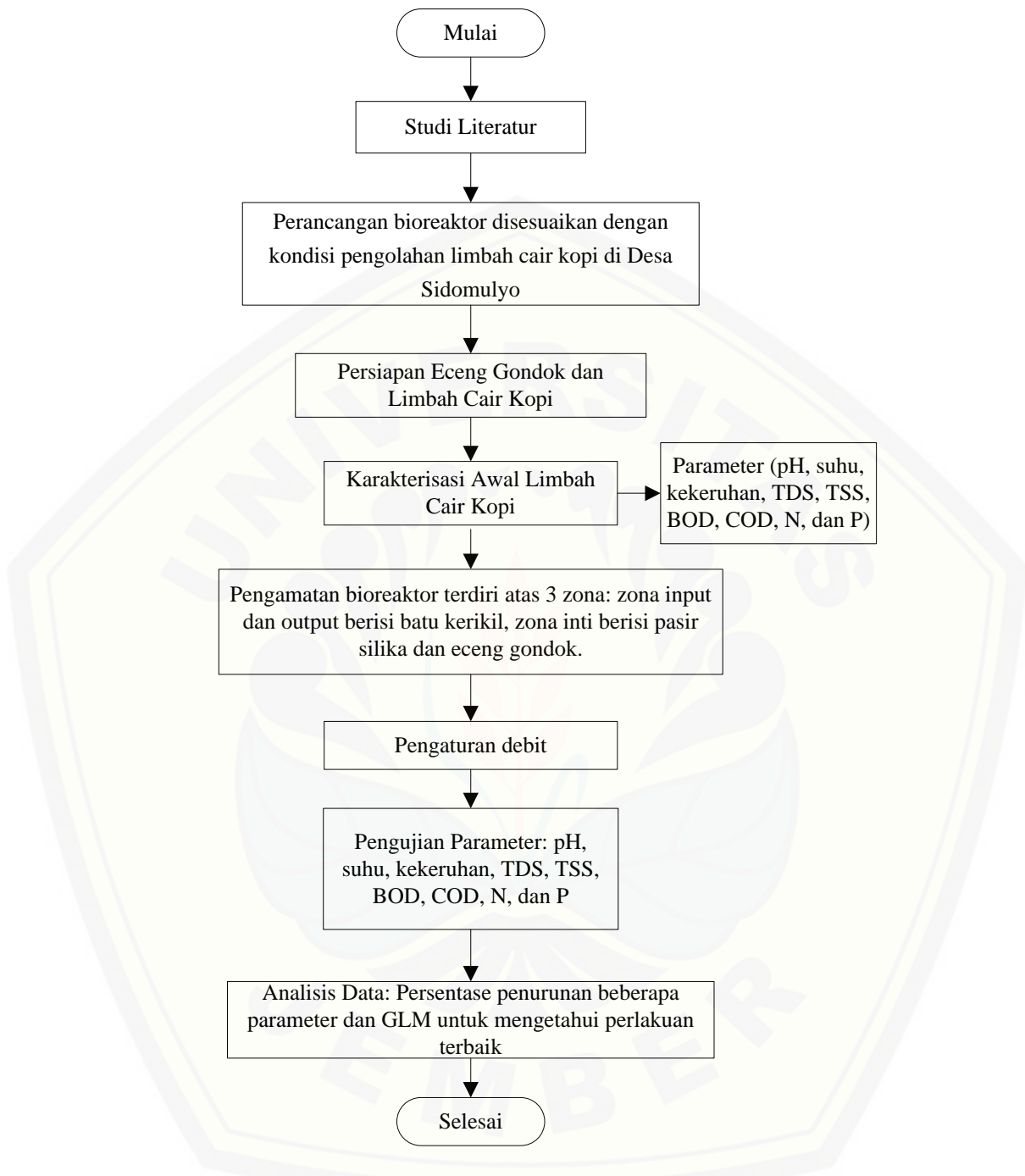
Kekeruhan merupakan salah satu parameter penting yang ada di dalam perairan. Kekeruhan disebabkan oleh bahan organik dan anorganik baik yang terlarut maupun tersuspensi seperti pasir, partikel tanah, plankton dan organisme lainnya, Kristanto (2004:80). Pengukuran kekeruhan menggunakan alat turbidimeter dengan satuan NTU. Langkah kerjanya turbidimeter dikalibrasikan dulu sebelum digunakan dengan memasukkan botol uji berisi air yang sudah diketahui nilai kekeruhannya pada alat penguji. Apabila nilainya sama, maka alat tersebut dapat digunakan. Air sampel dimasukkan pada botol pengujian kemudian ditempatkan pada alat penguji lalu tekan tombol ON dan dibaca nilainya.

g. Nitrogen (N) dan Fosfor

Nitrogen dan Fosfat dianalisis di Laboratorium Analisa Kualitas Lingkungan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya. Prosedur pengukuran Nitrogen berdasarkan SNI 06-6989.9-2004 dan pengukuran fosfat berdasarkan SNI 06-6989.31-2005 sebagaimana prosedur pengujian terlampir.

3.4 Diagram Alir Penelitian

Seluruh kegiatan penelitian dilakukan dengan tahapan seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

3.5 Analisis Data

3.5.1 Analisis Persentase Penurunan Parameter

Analisis data akan dilakukan dengan menggunakan program Microsoft Excel dalam bentuk grafik yang menggambarkan hubungan perlakuan dan data

yang diamati meliputi pH, suhu, kekeruhan, BOD, COD, TSS, TDS, N, dan P selanjutnya melakukan penghitungan persentase penurunan penyerapan limbah oleh tanaman eceng gondok terhadap limbah cair kopi. Untuk mengetahui persentase penurunan kandungan konsentrasi limbah parameter kekeruhan, BOD, COD, TSS, N, dan P, bisa menggunakan perhitungan persentase. Perhitungan persentase didasarkan pada penurunan konsentrasi dari masing-masing parameter selama perlakuan disajikan pada Persamaan 3.1.

$$E = \frac{Co - Ci}{Co} \times 100 \% \dots\dots\dots(3.1)$$

Keterangan :

E = Nilai persentase penurunan (%).

Co = Konsentrasi pencemar sebelum perlakuan.

Ci = Konsentrasi pencemar setelah perlakuan (Muljadi, 2009).

Hasil pengamatan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Hasil Pengamatan Bioreaktor CW

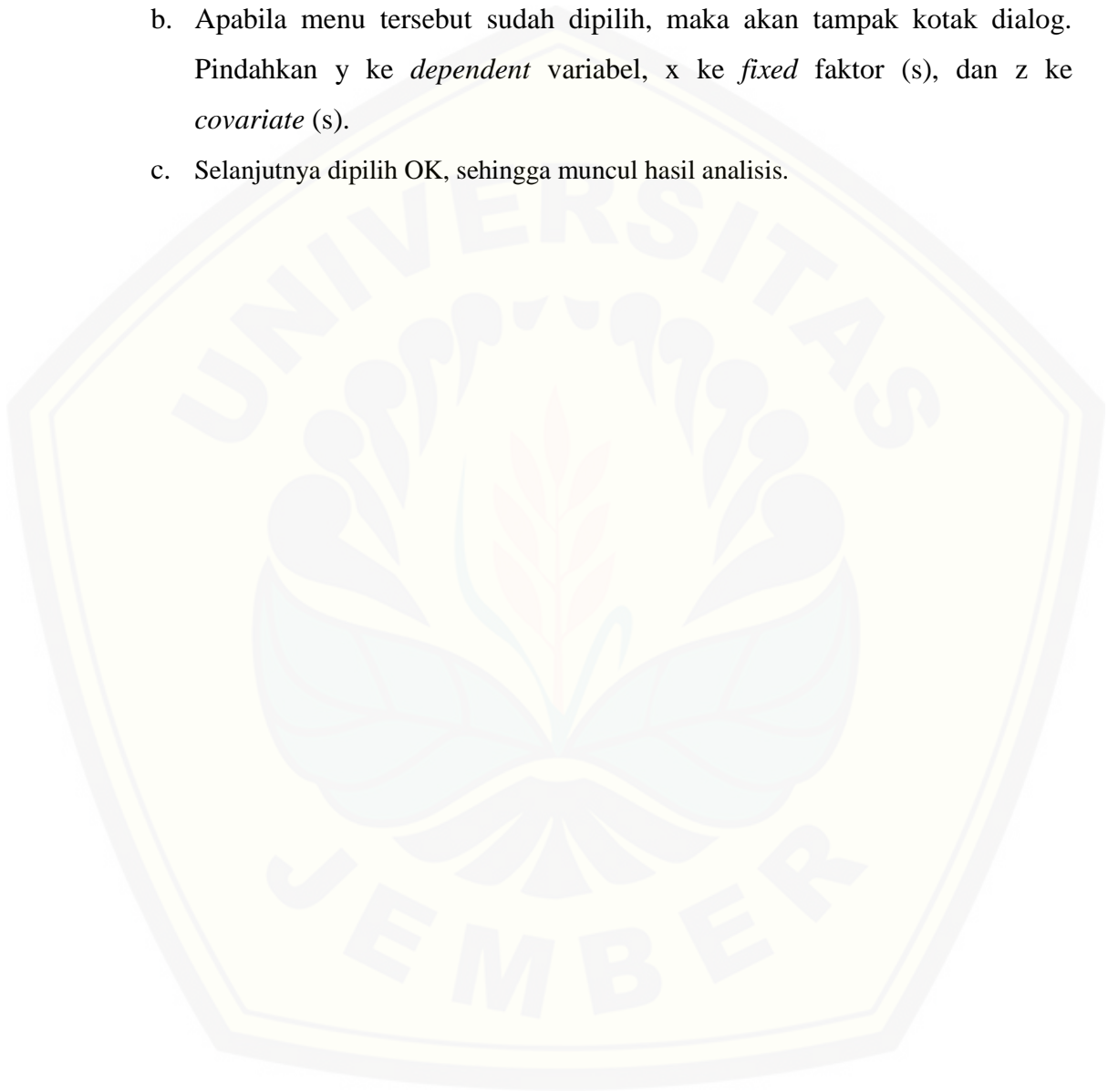
Perlakuan / Parameter	P0	P1	P2
BOD
COD
TSS
Kekeruhan
N
P

3.5.2 Analisis *General Linear Model* (GLM)

General Linear Model (GLM) adalah suatu program statistika yang bertujuan untuk menganalisa data yang berdasarkan pada penelitian percobaan baik di lapangan maupun di laboratorium. Untuk mengetahui perlakuan yang terbaik P0, P1, dan P2 bioreaktor CW menggunakan *General Linear Model* (GLM) pada software SPSS 16.0. Nilai perlakuan terbaik didasarkan pada nilai efisiensi dari parameter COD, BOD, N, P dan kekeruhan. Persamaan fungsi GLM adalah sebagai berikut.

Langkah-langkah analisis GLM adalah sebagai berikut (Hariyadi, 2011: 95).

- a. *Entry data*, setelah data dimasukkan form SPSS lalu pilih menu *analyze*. Kemudian pilih *General Linear Model* dan pilih *univariate*.
- b. Apabila menu tersebut sudah dipilih, maka akan tampak kotak dialog. Pindahkan *y* ke *dependent* variabel, *x* ke *fixed* faktor (s), dan *z* ke *covariate* (s).
- c. Selanjutnya dipilih OK, sehingga muncul hasil analisis.



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Sistem *constructed wetland* yang digunakan memiliki skala perbandingan 1:2000 memiliki volume limbah cair 32,249 liter dengan dimensi pxlxt 74x30x30 cm³, terdiri atas tiga kompartemen yaitu zona inlet dan zona outlet berisi batu kerikil 11.100 gram, zona pengolahan berisi pasir silika 22.200 gram dan eceng gondok 1.000 gram. Proses yang terjadi selama removal polutan pada *constructed wetland* terdiri atas proses fisik yakni sedimentasi dan filtrasi (oleh pasir silika dan batu batu kerikil), proses fisik- kimia (oleh pasir silika, batu batu kerikil, dan eceng gondok), dan proses biokimia (oleh eceng gondok).
2. Berdasarkan hasil penelitian diketahui rata-rata persentase penurunan parameter tertinggi terjadi pada proses pengolahan P2 yakni 63,7% (COD); 63,8% (BOD); 70% (N); 64% (P); 29,8% (TSS); 33 % (kekeruhan).

5.2 Saran

Saran yang diperoleh dari penelitian adalah perlu adanya penambahan waktu tinggal agar dalam proses pengolahan limbah cair dapat mengalami kontak lebih lama dengan media dan eceng gondok, sehingga menghasilkan persentase penurunan parameter yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G. dan Santika, S.S. 1987. *Metoda Penelitian Air*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Cincinnati. 1988. *Design Manual Constructed Wetlands and Aquatic Plant System for Municipal Wastewater Treatment*. United State: U.S Environmental Protection Agency Office of Research and Development.
- Dhokhikah, Y. 2007. Pengolahan Air Bekas Domestik dengan Sistem *Constructed Wetland* untuk Menurunkan COD dan Deterjen (LAS). *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*. Jember: Program Studi Teknik Universitas Jember.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2012. *Kopi Berkelanjutan*. <http://ditjenbun.pertanian.go.id/pascapanen/berita-203-kopi-berkelanjutan.html> [20 Mei 2015].
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2014. *Statistik Perkebunan Indonesia Kopi 2013-2015*. Jakarta: Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya Dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius (Anggota IKAPI).
- Gubernur Jawa Timur. 2013. *Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Dan/Atau Kegiatan Usaha Lainnya*. Surabaya: Pemerintah Provinsi Jawa Timur.
- Hammer, D.A. (Ed.). 1989. *Constructed Wetlands For Wastewater Treatment (Municipal, Industrial, and Agricultural)*. United States of America: Lewis publishers.
- Kodoatie, R. 2009. *Hidrolika Terapan Aliran Pada Saluran Terbuka dan Pipa*. Yogyakarta : Andi Publiser.
- Kordi, K., Gufran K., dan Tancung, A. 2007. *Pengelolaan Kualitas Air Dalam Budidaya Perairan*. Jakarta: Penerbit Rineka Cipta.
- Kristanto, P. 2004. *Ekologi Industri*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Kusnaedi. 2002. *Mengolah air kotor untuk air minum*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Manasika, A. P. 2015. *Analisis Pengaruh Variasi Densitas Eceng Gondok (Eichornia Crassipes (Mart.) Solm) Pada Fitoremediasi Limbah Cair Kopi*. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember: Universitas Jember.

- Mangkoedihardjo, Sarwoko, dan Samudro. 2010. *Fitoteknologi Terapan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Marno. 2014. Teori Sub-surface Flow System (Sfs) Wetlands. [Serial Online]. Marno.Lecture.UB.Ac.Id/./Stela-Teor-Sub-surface-Wetlands. [diakses pada 5 Januari 2016].
- Muljadi. 2009. Persentase Instalasi Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Cetak Dengan Metode Fisika-Kimia dan Biologi Terhadap Penurunan Terhadap Parameter Pencemar (BOD, COD dan Logam Berat Khrom (Cr). *Jurnal Ekuilibrium*. Vol. 8 (1) : 7-16.
- Murahmoto. 2010. *Manfaat Eceng Gondok Sebagai Media Penyerap Polutan*. UI Prees: Jakarta.
- Najiyati, S. dan Danarti. 2001. *Kopi: Budidaya dan Penanganan Lepas Panen*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Novonty, V. 2003. *Water Quality Second Edition: Diffuse Pollution and Watershed Managemen*. United States of America: Van Nostrand Reinhold.
- Pudjiono. 2009. *Kandungan Kimia Pada Eceng Gondok*. Gajahmada Press: Yogyakarta.
- Purnawijayanti, H.A. 2001. *Sanitasi, Higiene, dan Keselamatan Kerja Dalam Pengolahan Makanan*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Rahardjo, P. 2003. *Panduan Budidaya dan Pengolahan Kopi Arabika dan Robusta*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Rothfos, B. 1979. *Kaffee*. Hamburg: Die Produktion.
- Rukmawati, B. S. 2015. Sirkulasi Aliran Limbah Cair Pengolahan Kopi pada Proses Fitoremediasi. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember: Universitas Jember.
- Sugiharto. 1987. *Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia UI Press.

Lampiran A. Volume Limbah Cair Per Ton

Diket: Olahan buah kopi sebanyak 3 ton menghasilkan limbah cair sebesar 13.819 kg, sehingga volume limbah cair 1 ton adalah 4.067 kg.

$$\rho \text{ air} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Ditanya: Volume limbah cair dalam liter?

Dijawab: $V = m / \rho$

$$= \frac{4.607 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$= \frac{4.607 \text{ kg}}{1000 \text{ kg}} \times 1000 \text{ dm}^3$$

$$= 4.607 \text{ dm}^3$$

$$= 4.607 \text{ liter}$$

Lampiran B. Massa Batu Kerikil, Pasir Silika, Eceng Gondok, dan Volume Limbah Cair

1. Diket: Pada penelitian pendahuluan untuk bioreaktor ukuran p₁l₁t₁ 40x30x30 cm³ atau 36 liter. Perlakuan terbaik menggunakan pasir silika 12 liter dan batu kerikil 6 liter. Sehingga untuk ukuran bioreaktor CW 74x30x30 cm³ atau 66,6 liter.

Ditanya: Berapa pasir silika dan batu kerikil yang akan digunakan?

Dijawab:

a. Pasir silika

$$\begin{aligned}x &= \frac{12 \text{ lt} \times 66,6 \text{ lt}}{36 \text{ lt}} \\ &= 22,2 \text{ lt}\end{aligned}$$

b. Batu kerikil

$$\begin{aligned}y &= \frac{6 \text{ lt} \times 66,6 \text{ lt}}{36 \text{ lt}} \\ &= 11,1 \text{ lt}\end{aligned}$$

2. Diket: Pada penelitian pendahuluan untuk 10 lt limbah cair digunakan eceng gondok sebanyak 300 gr. Pada skala 1:2000 untuk limbah cair 64.498 lt/hr maka volume limbah CW 32,249 lt/hr.

Ditanya: Berapa gram eceng gondok yang digunakan untuk bioreaktor CW?

$$\begin{aligned}\text{Dijawab: } x &= \frac{300 \text{ gr} \times 32,249 \text{ lt}}{10 \text{ lt}} \\ &= 967,47 \text{ gr} \\ &= 1 \text{ kg}\end{aligned}$$

Lampiran C. Data Pengukuran Parameter

Tabel C.1 Data Pengukuran Parameter Ulangan 1

Parameter	Proses Pengolahan		
	P0	P1	P2
Ph	4,9	5,3	5,3
Suhu	30,5	44,4	26
kekeruhan	164,5	113	92,05
TDS	149	213	246
TSS	135	132,5	85
COD	1850	818	533
BOD	1160	510	330
N	88,71	57,95	23,43
P	7,17	4,42	3,5

Tabel C.2 Data Pengukuran Parameter Ulangan 2

Parameter	Proses Pengolahan		
	P0	P1	P2
Ph	4,3	5,2	5,4
Suhu	29,7	27	27,6
Kekeruhan	182	142	142
TDS	140	209	233
TSS	155	150	120
COD	1707	1102	747
BOD	1070	690	470
N	42,21	29,91	14,19
P	3,61	2,5	0,85

Lampiran D. Data Persentase Penurunan Parameter

Tabel D.1 Data Persentase Penurunan Parameter Ulangan 1

Parameter	Nilai Persentase Penurunan (%)	
	P1	P2
Kekeruhan	31,3	21,9
TSS	1,85	37,0
COD	55,7	71,2
BOD	56,0	71,5
N	34,7	73,6
P	38,4	51,2

Tabel D.2 Data Persentase Penurunan Parameter Ulangan 2

Parameter	Nilai Persentase Penurunan (%)	
	P1	P2
Kekeruhan	21,9	44,0
TSS	3,23	22,6
COD	35,4	56,2
BOD	35,5	56,0
N	29,1	66,4
P	30,7	76,4

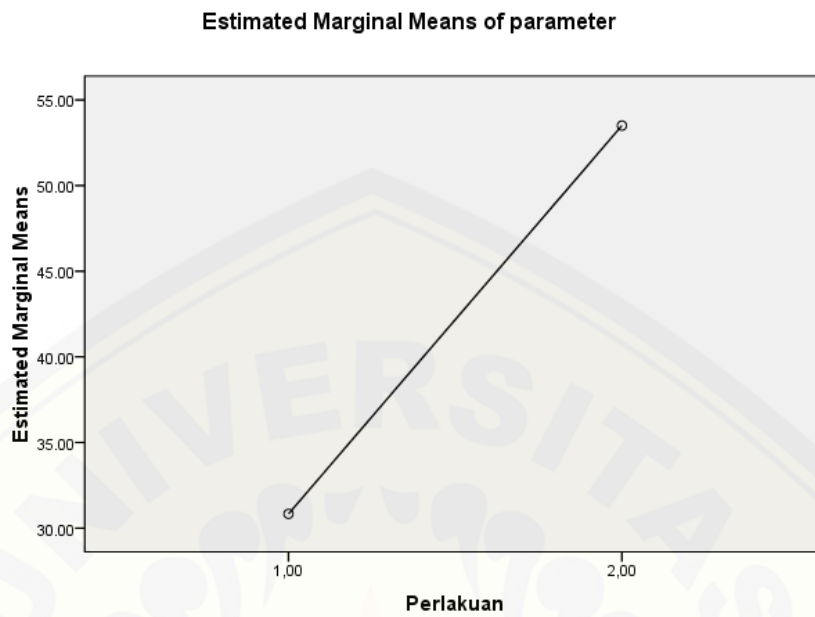
Lampiran E. Analisis GLM

Tabel E.1 Data Faktor Subjek

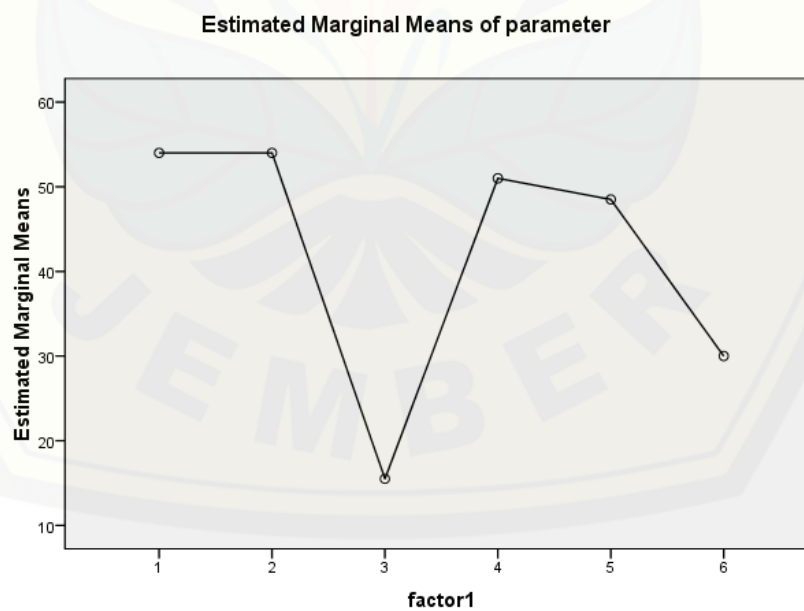
Within-Subjects Factors	
Measure:parameter	
factor1	Dependent Variable
1	COD
2	BOD
3	TSS
4	N
5	P
6	Kekeruhan

Tabel E.2 Data Statistik Deskriptif

Descriptive Statistics				
	Perlakuan		Std.	N
	n	Mean	Deviation	
COD	1	45.0000	.	1
	2	63.0000	.	1
	Total	54.0000	12.72792	2
BOD	1	45.0000	.	1
	2	63.0000	.	1
	Total	54.0000	12.72792	2
TSS	1	2.0000	.	1
	2	29.0000	.	1
	Total	15.5000	19.09188	2
N	1	32.0000	.	1
	2	70.0000	.	1
	Total	51.0000	26.87006	2
P	1	34.0000	.	1
	2	63.0000	.	1
	Total	48.5000	20.50610	2
Kekeruhan	1	27.0000	.	1
	2	33.0000	.	1
Total	30.0000	4.24264		2



Gambar E.1 Grafik Rata-Rata Estimasi Marginal Parameter Berdasarkan Perlakuan



Gambar E.2 Grafik Rata-Rata Estimasi Marginal Parameter Berdasarkan Faktor

Lampiran F. Prosedur Pengujian Parameter

1. Prosedur BOD

Prosedur kerja untuk mengukur BOD adalah :

- a) Masukkan sampel limbah cair kopi pada botol winkler tanpa gelembung hingga penuh.
- b) Tambahkan 2 mL larutan MnSO_4 40%, dan diamkan larutan selama beberapa menit untuk menghomogenkan.
- c) Tambahkan 2 mL albatu kerikil iodida azida, kemudian diamkan hingga muncul endapan berwarna coklat dan memindahkan larutan ke gelas kimia kemudian dikocok
- d) Tambahkan 2 mL H_2SO_4 pekat hingga endapan larut, lalu mengambil 100 mL dan pindahkan larutan ke dalam erlenmeyer
- e) Larutan yang berada didalam erlenmeyer siap untuk dititrasi dengan larutan $\text{Na}_2 \text{S}_2 \text{O}_3$ 0,025 N.
- f) Tambahkan indikator amilum dan melanjutkan kembali dengan titrasi hingga warna biru hilang, kemudian catat volume titrasi.

$$\text{Perhitungan : } \text{BOD}_5 = \frac{(X_0 - X_1) - (B_0 - B_5)(1 - P)}{P}$$

Keterangan :

BOD_5 = mg O_2 /liter

X_0 = DO (oksigen terlarut) sampel pada saat $t = 0$ (mg O_2 /l)

X_5 = DO sampel pada saat $t = 5$ hari (mg O_2 /l)

B_0 = DO blanko pada saat $t = 0$ (mg O_2 /l)

B_5 = DO blanko pada saat $t = 5$ hari (mg O_2 /l)

P = derajat pengenceran

2. Prosedur COD

Prosedur kerja untuk mengukur COD adalah :

- a) Buat blanko dengan cara menambahkan 2 mL aquades ke dalam tabung reagent HR (*Hard Range*) kemudian ditutup rapat dan dikocok.

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

Metode yang digunakan dalam pengukuran N total adalah sebagai berikut.

- a) 25 ml sampel ditambahkan 1 ml larutan digest N, panaskan dalam ruang asam sampai volume $\pm \frac{1}{2}$ -nya, dinginkan lalu tambahkan aquades sampai volume awal
- b) Lakukan destilasi dengan menggunakan alat kjedhal, kemudian ditampung pada larutan Asam Borat
- c) Kemudian analisis N berikutnya bisa menggunakan spektrofotometer, dengan menggunakan prosedur:
 - Ambil 2 buah erlenmeyer 100 ml, isi masing-masing dengan sampel air dan air aquadest (sebagai blanko) sebanyak 25 ml.
 - Ditambahkan 1 ml larutan Nessler
 - Tambahkan 1,25 ml larutan Garam Signet.
 - Aduk dan biarkan selama 10 menit.
 - Baca pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 410 μm .
 - Absorbansi hasil pembacaan spektrofotometer dibaca pada hasil batu kerikilbrasi atau kurva batu kerikilbrasi.

4. Fosfat

Berikut ini adalah tahapan dalam analisis fosfat.

- a) 50 mL sampel + strong acid solution 1.
- b) 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.

- c) Kemudian dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer sebagai berikut :
- Tambahkan 2 ml larutan ammonium molibdat dan ditambahkan 3 tetes larutan SnCl_2 dalam glycerol
 - Kocok dan dibiarkan selama 10 menit. Baca absorbansinya pada spektrofotometer dengan λ 650.

5. TSS

Berikut ini adalah tahapan dalam analisis TSS

- a) Kertas saring dipanaskan di dalam oven pada suhu 105°C selama 1 jam
- b) Dinginkan di dalam desikator selama 15 menit dan ditimbang
- c) Ulangi prosedur a) dan b) untuk mendapatkan berat yang konstan atau kehilangan berat sesudah pemanasan ulang kurang dari 0,5 mg.
- d) 20 ml limbah cair kopi disaring dengan menggunakan kertas saring yang sudah dipanaskan tersebut.
- e) Masukkan kertas saring yang sudah digunakan ke dalam oven untuk dipanaskan pada suhu 105°C selama 1 jam.
- f) Dinginkan di dalam desikator selama 15 menit dan ditimbang
- g) Ulangi prosedur e) dan f) untuk mendapatkan berat yang konstan atau berkurangnya berat sesudah pemanasan ulang kurang dari 0,5 mg.
- h) Hitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{TSS} = \frac{(A-B) \times 100}{C}$$

Keterangan:

TSS : Total padatan terendap (mg/l)

A : Berat kertas saring + residu (mg)

B : Berat kertas saring (mg)

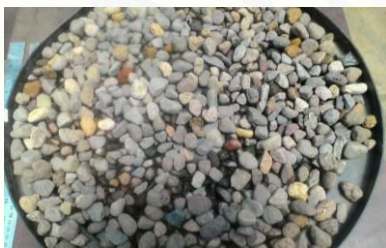
C : Volume sampel air (l)

Lampiran G. Dokumentasi Penelitian

1. Persiapan bioreaktor



2. Persiapan limbah cair kopi, eceng gondok, batu batu kerikil dan pasir silika



3. Proses pengolahan bioreaktor CW



4. Mengukur kekeruhan dan pH



5. Mengukur TDS, dan TSS

