

**PENINGKATAN KUALITAS LIMBAH CAIR KARET DENGAN SISTEM  
CONSTRUCTED WETLAND MENGGUNAKAN TANAMAN KAYU APU  
(*Pistia stratiotes*)**

Oleh  
**IMA KHOSID FADILAH**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS PERTANIAN  
JURUSAN TANAH  
MALANG  
2017**

**PENINGKATAN KUALITAS LIMBAH CAIR KARET DENGAN SISTEM  
CONSTRUCTED WETLAND MENGGUNAKAN TANAMAN KAYU APU  
(*Pistia stratiotes*)**

Oleh:

**IMA KHOSID FADILAH  
125040201111170**

**PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI  
MINAT MANAJEMEN SUMBERDAYA LAHAN**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar  
Sarjana Pertanian Strata Satu (S-1)**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS PERTANIAN  
JURUSAN TANAH  
MALANG  
2017**

## PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini merupakan hasil penelitian saya sendiri, dengan bimbingan dosen pembimbing. Skripsi ini tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar di perguruan tinggi manapun dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang jelas ditunjukkan rujukkannya dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Malang, Januari 2017

Ima Khosid Fadilah



## LEMBAR PERSETUJUAN

Judul Penelitian : Peningkatan Kualitas Limbah Cair Karet dengan Sistem *Constructed Wetland* Menggunakan Tanaman Kayu Apu (*Pistia Stratiotes*)  
Nama Mahasiswa : Ima Khosid Fadilah  
NIM : 125040201111170  
Jurusan : Tanah  
Program Studi : Agroekoteknologi  
Laboratorium : Fisika Tanah  
Menyetujui : Dosen Pembimbing

Disetujui  
Pembimbing Utama,

Prof. Dr. Ir. Sugeng Prijono, SU  
NIP.19580214 198503 1 003

Mengetahui,  
a.n Dekan  
Ketua Jurusan Tanah

Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU  
NIP.19540501 198103 1 006

Tanggal Persetujuan:

## LEMBAR PENGESAHAN

Mengesahkan

### MAJELIS PENGUJI

**Penguji I**

Prof. Dr. Ir. Sugeng Prijono, SU  
NIP.19580214 198503 1 003

**Penguji II**

Syahrul Kurniawan, SP. MP. Ph.D  
NIP. 19791018 200501 1 002

**Penguji III**

Novalia Kusumarini, SP. MP  
NIP. 19891108 201504 2 001

**Penguji IV**

Istika Nita, SP. MP  
NIK. 20160989 1118 2 001

**Tanggal Lulus:**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

*Skripsi ini saya persembahkan untuk*

*Kedua orang tua tercinta: Ayah Bambang Lesmono, Ibu  
Sulianah, Kedua Adikku tersayang: Eliya Dini Fajria  
dan Muhammad Dava Teria Wijaya*

*Lyang kakung Tukijo dan Lyang Putri Ngatemi*

*Kakek H. Karsono dan Neneh Hj. Jannah*

*Serta Ilmu Pengetahuan*

## RINGKASAN

**IMA KHOSID FADILAH. 125040201111170. Peningkatan Kualitas Limbah Cair Karet dengan Sistem *Constructed Wetland* Menggunakan Tanaman Kayu Apu (*Pistia Stratiotes*). Di bawah bimbingan Sugeng Priyono.**

---

Limbah karet cair merupakan salah satu permasalahan yang dapat menyebabkan pencemaran sungai. Pencemaran sungai disebabkan oleh adanya beberapa parameter limbah cair karet di PT. Perusahaan Perkebunan Kalibendo yang belum sesuai dengan baku mutu kualitas limbah. Parameter kualitas limbah cair karet yaitu pH, BOD, COD, TSS, N-total dan amoniak ( $\text{NH}_3$ ). Sedangkan, parameter yang belum sesuai adalah N-total dan amoniak ( $\text{NH}_3$ ). Oleh karena itu, untuk menurunkannya menggunakan sistem *constructed wetland* dengan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*). Sistem ini merupakan sistem berbasis fitoremediasi dan menggunakan tanah, pasir, kerikil, arang dan media lain sebagai media tanam. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan waktu dan media yang efektif untuk meningkatkan kualitas limbah cair karet dengan sistem *constructed wetland* menggunakan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*).

Penelitian ini dilakukan pada bulan Agustus-Oktober 2016. Adapun tahapan penelitian ini adalah pembuatan bak reaktor *constructed wetland*, aklimatisasi tanaman selama 7 hari, pengambilan limbah di PT. Perusahaan Perkebunan Kalibendo, pengolahan limbah di bak reaktor *constructed wetland*, pengambilan sampel uji pada hari ke (5, 10, 15 dan 20) serta pengujian sampel dilakukan di Laboratorium Kimia Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya, Laboratorium Lingkungan Jurusan Kimia Fakultas MIPA dan Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I, Malang. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 5 perlakuan dan 3 kali ulangan: (1) kontrol, (2) kerikil+kayu apu, (3) pasir+kayu apu, (4) kerikil+pasir+kayu apu, dan (5) kayu apu. Parameter yang diuji yaitu pH, BOD, COD, TSS, N-total, amoniak ( $\text{NH}_3$ ) dan berat basah tanaman. Data diuji menggunakan ANOVA taraf 5% dengan aplikasi *software* DSTAAT, jika ada perbedaan nyata maka dilanjutkan dengan Uji Beda Nyata Terkecil (BNT) taraf 5%.

Berdasarkan hasil penelitian sistem *constructed wetland* menggunakan tanaman kayu apu mampu menurunkan limbah karet cair pada pengamatan hari ke-5 untuk parameter N-total dan amoniak ( $\text{NH}_3$ ), sedangkan BOD, COD dan TSS pada hari ke- 20. Sistem *constructed wetland* dengan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) mampu meningkatkan kualitas limbah cair karet terutama pada pH limbah antara 6,0-7,7. Media perlakuan D (kerikil+pasir) mampu menurunkan BOD (76,7%), COD (48,5%), N-total (96,22%), dan amoniak (95,45%), sedangkan perlakuan E (kayu apu) mampu menurunkan TSS (62,7%) dan rerata berat basah tanaman meningkat sampai dengan 39%.

Kata Kunci : *Constructed*, Karet, Kayu Apu, Limbah, *Wetland*

## SUMMARY

**IMA KHOSID FADILAH. 12504020111170. The Increases of Rubber Liquid Waste quality with Constructed Wetland System Using Kayu Apu (*Pistia stratiotes*). Supervised by Sugeng Prijono**

---

Waste liquid rubber is one of the problem that can cause pollution in the river. The pollution of the river is caused by the presence of some parameters of waste liquid rubber in PT. Plantation Company Kalibendo which is still not in accordance with the standard quality of waste. The parameters of waste liquid rubber are pH, BOD, COD, TSS, N-total and ammonia (NH<sub>3</sub>). Meanwhile, the parameters which still not appropriate are N-total and ammonia (NH<sub>3</sub>). Therefore, to decrease it use a constructed wetland system with kayu apu (*Pistia stratiotes*). This system is a system based on phytoremediation and using soil, sand, gravel, charcoal and other media as a growing medium. The purpose of this research is to determine the time and the effective medium to improve waste liquid rubber quality with a constructed wetland system by using kayu apu (*Pistia stratiotes*).

This research was conducted in August-October 2016. The stages of this research is the manufacturing of reactor basin constructed wetland, plant acclimatization for 7 days, taking waste at PT. Plantation Company Kalibendo, processing waste plants in tubs reactor constructed wetland, sampling on days (5, 10, 15 and 20) and analysing sample was conducted at the Laboratory of Chemistry Department of Soil UB Faculty of Agriculture, Environment Laboratory Chemistry Department, Faculty of Mathematics and Laboratory Water Quality Perum Jasa Tirta I Malang. This study use a completely randomized design with 5 treatments and 3 repetitions: (1) control, (2) gravel + kayu apu, (3) sand + kayu apu, (4) gravel + sand + kayu apu, and ( 5) kayu apu. The parameters are pH, BOD, COD, TSS, N-total, ammonia (NH<sub>3</sub>) and weight of wet plant. Data were tested using ANOVA level of 5% with software applications DSTAAT, if there is a real difference then continued with Least Significant Difference Test (BNT) level of 5%.

Based on the result of research constructed wetland system, by using kayu apu plant as able to reduce waste liquid rubber on the 5th day of observation for the parameter N-total and ammonia (NH<sub>3</sub>), while the BOD, COD and TSS at day 20. The constructed wetland system with kayu apu (*Pistia stratiotes*) is able to improve the quality of waste liquid rubber, especially at a pH level 6.0 to 7.7. Media treatment D (gravel+sand) were able to decrease the BOD (76.7%), COD (48.5%), N-total (96.22%), and ammonia (95.45%), where as treatment E (kayu apu) as capable to reduce TSS (62.7%) and the mean weight of wet plant increases up to 39%.

Key word : Constructed, Kayu Apu, Rubber,Waste, Wetland

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Peningkatan Kualitas Limbah Cair Karet dengan Sistem *Constructed Wetland* Menggunakan Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)” sebagai salah satu syarat yang harus dilalui dalam upaya menyelesaikan pendidikan pada Program Studi Agroekoteknologi Minat Manajemen Sumberdaya Lahan Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya.

Dalam kesempatan ini, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Sugeng Prijono, SU selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak memberikan arahan, nasehat, serta kesabarannya dalam membimbing dalam penyusunan skripsi ini;
2. Seluruh keluarga, Ayah, ibu, dan adik yang senantiasa memberikan motivasi, mendoakan, dan mendukung penulis sehingga dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan baik;
3. Teman-teman Kos Sumpersari 253 A dan Nik-Nik Gens: Arfia (Iip), Ain (Kaka), Upi (Adiks), Veve, Bela, Regy, Dea, Siska (Ucrit), Syaifullah (Abang), Syaiful S. (Niks), Eva (Meong), Eka P. (Awkapur), Ira (Nduk), Hasby A.A. (Partner penelitian), Ibnu Alfian dan Promes (Adik) yang selalu memberikan bantuan, semangat dan doa sehingga skripsi dapat terselesaikan;
4. Rekan-rekan MSDL 2012 khususnya: Mbak Guindah, Hamdan, Nisa', dan Ela), HPT, dan BP, serta rekan lainnya yang senantiasa memberikan dukungan dan turut membantu dalam skripsi, sehingga dapat terlaksana dengan baik.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyadari bahwa penulisan skripsi masih jauh dari kesempurnaan, baik dari segi materi, sistematika, maupun penyusunan bahasanya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun demi semakin sempurnanya skripsi ini. Penulis berharap, semoga penulisan skripsi ini mampu memberikan manfaat kepada pembaca dan bermanfaat dalam pengembangan pengetahuan secara umum.

Malang, Januari 2017

Penulis

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Banyuwangi pada 5 Agustus 1994 sebagai putri pertama dari tiga bersaudara pasangan Bapak Bambang Lesmono dan Ibu Sulianah. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN 1 Wringinpitu pada tahun 2000 sampai dengan tahun 2006. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMPN 1 Purwoharjo dari tahun 2006-2009. Penulis melanjutkan pendidikan menengah atas di SMAN 1 Purwoharjo tahun 2009-2012. Pada tahun 2012 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Strata 1 Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang, Jawa Timur, melalui jalur SNMPT.N Undangan. Selanjutnya pada tahun 2014 penulis masuk ke Minat Manajemen Sumber Daya Lahan.

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam kepanitiaan Diesnatalis Fakultas Pertanian tahun 2012 dan 2013 sebagai sie Danus. Tahun 2013 aktif daam kepanitiaan POSTER sebagai sie konsumsi. Tahun 2014 aktif dalam kepanitiaan Pasca Gatraksi dan SLASH. Penulis pernah menulis PKM-K lolos pendanan DIKTI tahun 2015 dengan judul Tablet Hidup : Usaha Pupuk Biokonservator Lahan dan Akselelator Pertumbuhan Tanaman Berbasis *Biological Activated Carbon*, pada tahun yang sama penulis melaksanakan kegiatan magang kerja di PT. Perusahaan Perkebunan Kalibendo, Kampunganyar, Glagah, Banyuwangi, Jawa Timur.

## DAFTAR ISI

Halaman

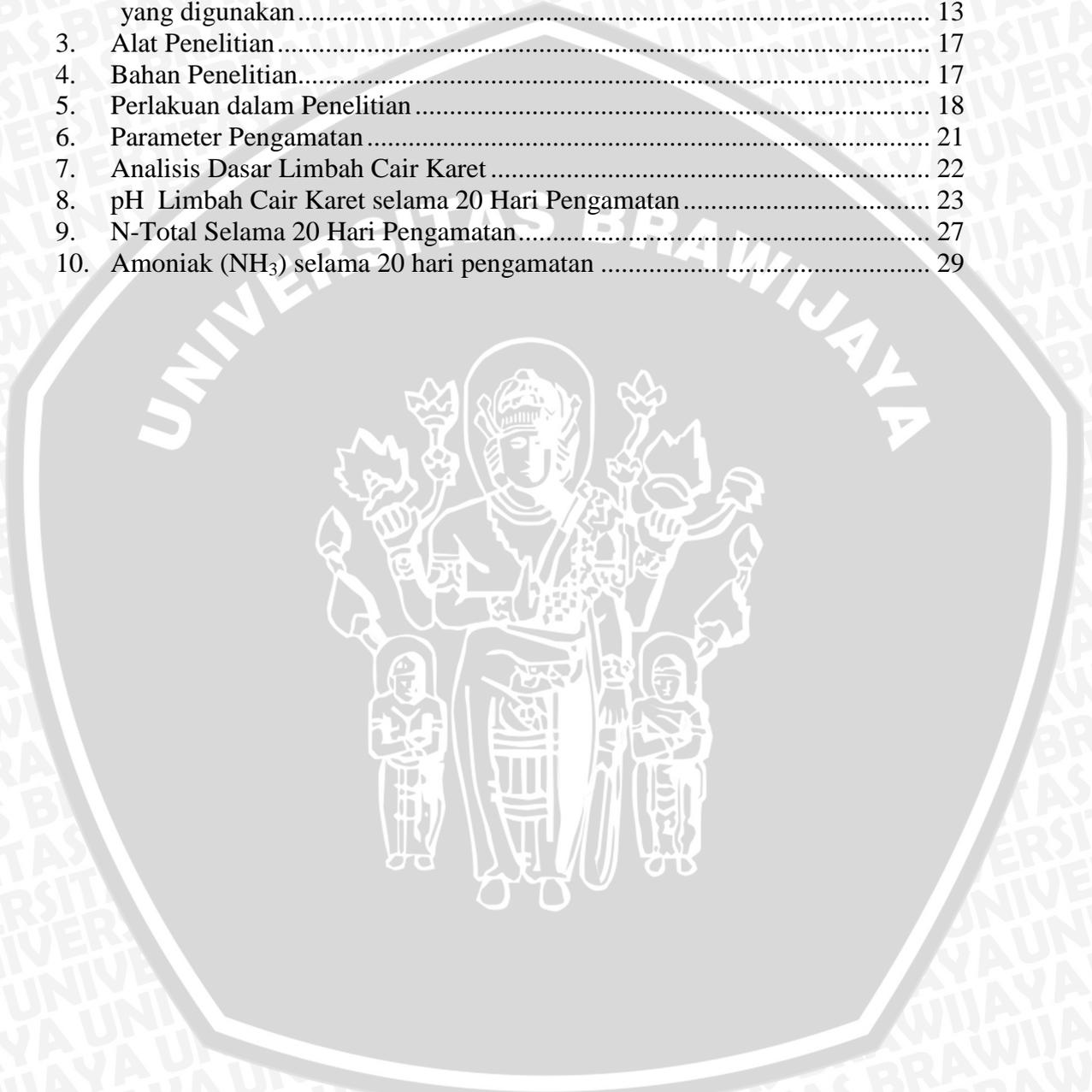
<b>RINGKASAN</b> .....	i
<b>SUMMARY</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	ix
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penelitian .....	3
1.3. Hipotesis .....	3
1.4. Manfaat Penelitian .....	3
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
2.1. Limbah Cair Karet .....	4
2.2. Parameter Kualitas Air Limbah Cair Karet .....	5
2.3. Proses Pengolahan Limbah .....	9
2.4. Lahan Basah Buatan ( <i>Constructed Wetland</i> ) .....	11
2.5. Macam - Macam <i>Constructed Wetland</i> .....	11
2.6. Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Sistem Lahan Basah Bawah Permukaan ( <i>SSF-Wetlands</i> ) .....	12
2.7. Tanaman Kayu Apu ( <i>Pistia stratiotes</i> ) .....	15
<b>III. METODE PENELITIAN</b> .....	17
3.1. Waktu dan Tempat .....	17
3.2. Alat dan Bahan Penelitian .....	17
3.3. Rancangan Percobaan .....	18
3.4. Pelaksanaan Penelitian <i>Constructed Wetland</i> dengan Tanaman Kayu Apu ( <i>Pistia stratiotes</i> ) .....	18
3.5. Pengukuran Parameter Limbah Cair Karet .....	20
3.6. Analisis Data .....	21
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	22
4.1. Karakteristik Limbah Cair Karet yang Digunakan dalam Penelitian .....	22
4.2. Hasil Pengukuran Parameter Kualitas Limbah Cair Karet Terhadap Lama Waktu Pengamatan .....	23
4.3. Pengaruh Media Pada Sistem <i>Constructed Wetland</i> Menggunakan Tanaman Kayu Apu dalam Meningkatkan Kualitas Limbah Cair Karet ..	30
4.4. Berat Basah Tanaman Kayu Apu ( <i>Pistia stratiotes</i> ) .....	38

<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	40
5.1. Kesimpulan .....	40
5.2. Saran .....	40
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	41
<b>LAMPIRAN</b> .....	45



**DAFTAR TABEL**

Nomor	Teks	Halaman
1.	Baku Mutu Limbah Cair Industri Karet .....	4
2.	Kinerja Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan berdasarkan media yang digunakan .....	13
3.	Alat Penelitian .....	17
4.	Bahan Penelitian .....	17
5.	Perlakuan dalam Penelitian .....	18
6.	Parameter Pengamatan .....	21
7.	Analisis Dasar Limbah Cair Karet .....	22
8.	pH Limbah Cair Karet selama 20 Hari Pengamatan .....	23
9.	N-Total Selama 20 Hari Pengamatan .....	27
10.	Amoniak (NH <sub>3</sub> ) selama 20 hari pengamatan .....	29



## DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
1.	<i>Pistia stratiotes</i> .....	15
2.	BOD ( <i>Biological Oxygen Demand</i> ) limbah cair karet setelah 20 hari .....	24
3.	COD ( <i>Chemical Oxygen Demand</i> ) limbah cair karet setelah 20 hari .....	25
4.	TSS ( <i>Total Suspended Solid</i> ) limbah cair karet setelah 20 hari .....	26
5.	Penurunan BOD ( <i>Biological Oxygen Demand</i> ) pada sistem <i>constructed wetland</i> menggunakan tanaman kayu apu ( <i>Pistia stratiotes</i> ) .....	31
6.	Penurunan COD ( <i>Chemical Oxygen Demand</i> ) pada sistem <i>constructed wetland</i> menggunakan tanaman kayu apu ( <i>Pistia stratiotes</i> ) .....	33
7.	Penurunan TSS ( <i>Total Suspended Solid</i> ) pada sistem <i>constructed wetland</i> menggunakan tanaman kayu apu ( <i>Pistia stratiotes</i> ) .....	34
8.	Penurunan N-total pada sistem <i>constructed wetland</i> menggunakan tanaman kayu apu ( <i>Pistia stratiotes</i> ) .....	36
9.	Penurunan amoniak (NH <sub>3</sub> ) pada sistem <i>constructed wetland</i> dengan tanaman kayu apu .....	37
10.	Berat Basah Tanaman .....	39



## DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Teks	Halaman
1.	Denah Percobaan.....	45
2.	Ilustrasi Bak Reaktor.....	46
3.	Alur Pelaksanaan Kegiatan .....	48
4.	Hasil Pengukuran Amoniak (NH <sub>3</sub> ) .....	49
5.	Hasil Analisis N-Total .....	50
6.	Hasil Analisis pH .....	51
7.	Hasil Analisis Baku Mutu Kualitas Limbah Cair Karet.....	52
8.	Anova pH Selama 20 Hari Pengamatan.....	53
9.	Anova BOD, COD, TSS dan BB Kayu Apu ( <i>Pistia stratiotes</i> ).....	53
10.	Rata-rata BOD, COD dan TSS Setelah 20 Hari Pengamatan .....	54
11.	Anova N-Total (Nitrogen Total) Selama 20 Hari Pengamatan.....	54
12.	Anova Amoniak (NH <sub>3</sub> ) Selama 20 Hari Pengamatan .....	55
13.	Rerata Efisiensi Penurunan Kadar BOD, COD dan TSS Sebelum dan Setelah Selama 20 Hari Perlakuan .....	56
14.	Perubahan Kadar N-Total dengan Sistem <i>Constructed Wetland</i> Menggunakan Kayu Apu ( <i>Pistia stratiotes</i> ) Selama 20 Hari .....	56
15.	Perubahan Kadar Amoniak (NH <sub>3</sub> ) dengan Sistem <i>Constructed Wetland</i> Menggunakan Kayu Apu ( <i>Pistia stratiotes</i> ) Selama 20 Hari .....	57
16.	Berat Basah Tanaman Sebelum dan Sesudah Selama 20 Hari .....	57
17.	Dokumentasi Kegiatan Penelitian .....	58
18.	Daftar Istilah.....	64



## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Karet merupakan salah satu komoditas perkebunan yang mempunyai peranan penting di Indonesia. Selain sebagai salah satu sumber yang mampu menyediakan lapangan pekerjaan bagi masyarakat terutama di sekitar wilayah perkebunan, karet juga memiliki potensi lainnya yang banyak memberikan pengaruh untuk pengembangan industri. Salah satu peranan karet adalah sebagai sumber devisa bagi negara dari sektor nonmigas, pemasok bahan baku karet, dan mendorong pertumbuhan sentra ekonomi khususnya untuk pengembangan wilayah industri karet. Produksi karet selama beberapa tahun terakhir ini mengalami kenaikan dan penurunan. Pada tahun 2012 sampai dengan tahun 2014 produksi karet yang ada di Indonesia adalah 9402,88 ton. Jumlah produksi yang dihasilkan oleh setiap perkebunan baik milik rakyat, pemerintah maupun milik swasta, maka Indonesia mampu mengekspor karet dalam kondisi kering (Badan Pusat Statistika, 2015).

PT. Perusahaan Perkebunan Kalibendo merupakan perkebunan milik swasta yang terletak di titik koordinat  $8^{\circ} 09'52,92''$  LS dan  $114^{\circ} 16' 33,96''$  BT tepatnya di Desa Kampung Anyar, Kecamatan Glagah dan di Kelurahan Bulusari Kecamatan Kalipuro, Banyuwangi. Perkebunan ini memiliki tiga komoditas utama tanaman perkebunan yaitu kopi, karet dan cengkeh. Selain menghasilkan produk perkebunan, perusahaan tersebut bergerak di bidang industri pengolahan karet cair (latek) menjadi karet kering. Luas lahan perkebunan yang diperuntukkan bagi tanaman karet adalah 242,34 ha. Produksi karet pada tahun 2012-2015 mengalami kenaikan dari 165 ton menjadi 386 ton, sehingga produktivitasnya mengalami kenaikan dari 743 kg/ha menjadi 1.672 kg/ha. Pengolahan karet cair dalam satu hari mencapai 3 ton dengan limbah cair yang dihasilkan sekitar 60-100 m<sup>3</sup>. Limbah cair dihasilkan oleh air bekas cucian latek dan pembersihan alat-alat produksi (Perkebunan Kalibendo, 2015).

Berdasarkan hasil analisis limbah cair karet dari PT. Perusahaan Perkebunan Kalibendo diperoleh hasil bahwa pada parameter kualitas limbah

karet yaitu pH (6,5), BOD (68,65 mg/L), COD (116,0 mg/L), TSS (54,4 mg/L), N-total (28,9 mg/L) dan amoniak (22,1 mg/L), sedangkan menurut Peraturan Gubernur No. 72 Tahun 2013 tentang baku mutu kualitas air untuk kegiatan industri karet kadar yang diperbolehkan adalah pH (6,0-9,0), BOD (110 mg/L), COD (200 mg/L), TSS (100 mg/L), N-total (25 mg/L) dan amoniak (10 mg/L). Adanya pencemaran senyawa organik akan menimbulkan dampak yang kurang baik terhadap kehidupan biota perairan dan tanaman perairan darat. Apabila limbah cair karet bercampur dengan air sungai yang berada di sekitar perkebunan, maka akan menimbulkan dampak yang berbahaya dan menurunkan kualitas airnya.

Limbah cair karet yang belum sesuai dengan baku mutu dapat diturunkan kadarnya menggunakan teknologi pengolahan limbah. Teknologi pengolahan limbah yang sedang dikembangkan saat ini menggunakan perpaduan antara cara fisika dan biologi, contohnya sistem *constructed wetland*. *Constructed wetland* merupakan teknologi pengolahan limbah dengan menggunakan konsep fitoremediasi. *Constructed wetland* pada umumnya terdiri dari kehadiran parameter tanah, hidrologi dan tanaman. Selain menggunakan tanah sebagai media tumbuh untuk tanaman, adapun media lain yang dapat dipergunakan sebagai alternatif lain dari tanah yaitu pasir, kerikil, arang, dan media lainnya. Sistem *constructed wetland* dibagi menjadi dua yaitu *Free Water Surface (FWS) System* dan *Subsurface Flow System (SFS)*.

Sistem *constructed wetland* memiliki kinerja yang cukup baik untuk menangani limbah domestik dengan menggunakan tanaman air jenis *Cattail (Thypha angustifolia)* dalam pengolahan limbah cair kerupuk. Sistem tersebut mampu menurunkan konsentrasi zat pencemar dalam 15 hari pengujian yaitu untuk BOD 94,17%, TSS 84,71%, COD 94,87%, amoniak (NH<sub>3</sub>) 87,52% dan sulfida (H<sub>2</sub>S) 99,81% (Abdulghani *et al.*, 2014). Selain tanaman *Thypha angustifolia* masih ada tanaman air lain yang mampu menurunkan kandungan unsur berbahaya apabila berakumulasi dengan unsur yang lain. Tanaman tersebut adalah kayu apu (*Pistia stratiotes*).

Kayu apu (*Pistia stratiotes*) merupakan tanaman yang dapat digunakan untuk menurunkan pencemaran air limbah yang memiliki kadar organik tinggi. Tanaman kayu apu dalam bidang industri dapat dimanfaatkan sebagai penyerap unsur toksis pada air bekas pengolahan industri. Kayu apu memiliki keunggulan seperti daya berkecambah yang tinggi, pertumbuhan cepat, mudah ditemukan dan memiliki daya adaptasi yang tinggi terhadap iklim. Kayu apu mampu menurunkan N-total sebesar 72,3% dan P-total sebesar 69,3% selama 20 hari pada limbah tahu (Yuni *et al.*, 2014). Oleh karena itu, dari permasalahan yang ada di atas maka perlu dilakukan pengolahan limbah yang efektif dan ramah terhadap lingkungan. Sehingga hal inilah yang mendasari peneliti untuk menggunakan sistem *constructed wetland* dengan kayu apu (*Pistia stratiotes*) sebagai tanaman yang mampu meningkatkan kualitas limbah cair karet.

### 1.2. Tujuan Penelitian

1. Menentukan waktu yang efektif untuk meningkatkan kualitas limbah cair karet dengan sistem *constructed wetland* menggunakan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*).
2. Menentukan media yang efektif untuk meningkatkan kualitas limbah cair karet dengan sistem *constructed wetland* menggunakan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*).

### 1.3. Hipotesis

1. Lama waktu mampu menurunkan limbah cair karet dengan sistem *constructed wetland* menggunakan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*).
2. Media pasir+kerikil merupakan media yang mampu meningkatkan kualitas limbah cair karet dengan sistem *constructed wetland* menggunakan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*).

### 1.4. Manfaat Penelitian

Memberikan informasi mengenai penggunaan sistem *constructed wetland* dengan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) untuk meningkatkan kualitas limbah cair karet di PT. Perusahaan Perkebunan Kalibendo.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Limbah Cair Karet

Karet merupakan salah satu hasil bumi yang mempunyai nilai jual tinggi. Apabila diolah dapat menghasilkan berbagai macam produk yang dapat dimanfaatkan dalam kehidupan. Karet masuk dalam famili Euphorbiae atau tanaman getah-getahan. Dinamakan demikian karena di dalam golongan ini mempunyai jaringan yang dapat menghasilkan getah (latek) dan getah tersebut akan keluar apabila tanaman ini dilukai. Latek yang dihasilkan oleh pohon karet ini akan dimanfaatkan menjadi bahan yang lebih berguna lagi melalui berbagai proses. Proses pengolahan dari latek ini akan menghasilkan limbah, baik limbah padat, cair maupun gas. Dalam pengolahan karet remah atau karet kering banyak menggunakan air dalam jumlah yang banyak yaitu sekitar 25-40 m<sup>3</sup>/ton untuk karet kering, sehingga volume cair yang dihasilkan dari limbah cair cukup tinggi, dengan kandungan bahan organik yang cukup tinggi terutama karbon, nitrogen dan fosfor.

Kandungan nitrogen yang terdapat di dalam limbah karet ini menurut Michael (2002) yang menyatakan bahwa kandungan ion ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), ion nitrit (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), dan ion nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) dalam jumlah banyak dapat menimbulkan pencemaran pada lingkungan sehingga terjadi eutrofikasi, jika dalam jumlah yang sedikit dapat dimanfaatkan menjadi bahan lain, seperti pupuk apabila kandungan senyawa yang beracun bagi tanaman juga tidak ada. Oleh sebab itu, setiap limbah ada baku mutu untuk dibuang ke lingkungan seperti halnya limbah cair dari industri karet (Tabel 1).

Tabel 1. Baku Mutu Limbah Cair Industri Karet

Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)
BOD	100
COD	200
TSS	100
Amoniak (NH <sub>3</sub> )	10
pH	6,0 - 9,0
Nitrogen Total	25

Sumber : Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013

## 2.2. Parameter Kualitas Air Limbah Cair Karet

Kualitas air dapat ditentukan berdasarkan keadaan air dalam keadaan normal dan apabila terjadi penyimpangan dari keadaan normal disebut sebagai air yang mengalami pencemaran, atau disebut dengan air terpolusi. Analisis penentuan kualitas air sangat penting bagi pengguna air sebagai informasi tentang keberadaan senyawa kimia yang terkandung di dalam air (Situmorang, 2007).

### 2.2.1. pH (Derajat Keasaman)

pH merupakan tingkat keasaman suatu larutan yang digunakan pengertian derajat keasaman yang disebut pH. Sorensen mendefinisikan pH sebagai logaritma negatif konsentrasi ion hidrogen (bilangan dasar 10) berasal dari kata potenz, yang berarti pangkat dan H adalah lambang atom hidrogen), di rumuskan :

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] \text{ atau } [\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}$$

$$\text{pH} = 7, \text{ artinya } -\log [\text{H}^+] = 7 \longrightarrow [\text{H}^+] = 10^{-7}$$

Air murni ( $\text{H}_2\text{O}$ ) jika memiliki konsentrasi  $\text{H}^+$  dan  $\text{OH}^-$  sama, menunjukkan harga pH-nya = 7. Larutan yang memiliki konsentrasi  $\text{H}^+$ -nya lebih banyak daripada  $[\text{OH}^-]$ , memiliki pH <7, sedangkan larutan yang bersifat basa konsentrasi  $[\text{OH}^-]$  nya lebih besar daripada  $[\text{H}^+]$ , memiliki pH >7. Skala pH adalah 0-14, sehingga pH = 0-7 adalah asam dan pH = 7-14 adalah basa, sedangkan kondisi pH yang tepat adalah 7 sehingga pH adalah netral. Menurut Sugiharto (2008) konsentrasi ion hidrogen adalah pengukuran yang dilakukan untuk kualitas air limbah dan air biasa. Adapun kadar yang masih baik adalah dimana masih memungkinkan adanya sebuah kehidupan biologis di dalam air dan berjalan dengan baik. Konsentrasi air limbah yang tidak netral atau bermasalah maka akan menyulitkan untuk adanya kehidupan biologis, sehingga menyulitkan untuk membersihkan atau melakukan penjernihan. Pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan pH meter.

### 2.2.2. BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Penurunan kadar oksigen terlarut yang ada di dalam air adalah kondisi yang sangat penting. Biasanya kondisi yang seperti ini adalah pada badan air

kemasukan limbah, hal ini disebabkan oleh penggunaan oksigen terlarut oleh mikroorganisme aerobik selama berlangsungnya metabolisme, dan juga oksidasi bahan-bahan kimia yang terkandung di dalam limbah. Kebutuhan oksigen biokimiawi atau BOD adalah perkiraan jumlah maksimum oksigen yang digunakan untuk aktivitas pernapasan mikroorganisme yang menggunakan bahan organik dalam limbah untuk pertumbuhan dan metabolisme serta penyusunan sel-selnya.

BOD atau *Biochemical Oxygen Demand* merupakan oksigen yang terlarut dalam air yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya berupa bakteri) untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik. Penguraian bahan organik secara biologis di alam, melibatkan bermacam-macam organisme dan menyangkut reaksi oksidasi dengan hasil akhir karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Pemeriksaan BOD tersebut dianggap sebagai suatu prosedur oksidasi dimana organisme hidup bertindak sebagai medium untuk menguraikan bahan organik  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Reaksi oksidasi selama pemeriksaan BOD merupakan hasil dari aktivitas biologis dengan kecepatan reaksi yang berlangsung sangat dipengaruhi oleh jumlah populasi dan suhu. Karenanya selama pemeriksaan BOD, suhu harus diusahakan konstan yaitu  $20^\circ\text{C}$  yang merupakan suhu umum di alam. Secara teoritis, waktu yang diperlukan untuk proses oksidasi yang sempurna sehingga bahan organik terurai menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  adalah tidak terbatas.

Pengukuran untuk BOD pada dasarnya cukup sederhana sekali, yaitu mengukur kandungan oksigen terlarut awal ( $\text{DO}_1$ ) dari sampel segera setelah pengambilan sampel atau contoh, kemudian mengukur kandungan oksigen terlarut setelah dilakukan inkubasi selama 5 hari dengan kondisi gelap dan suhu tetap  $20^\circ\text{C}$  atau sering disebut dengan  $\text{DO}_5$ . Nilai selisih dari  $\text{DO}_1$  dan  $\text{DO}_5$  adalah nilai BOD yang dihasilkan dan dinyatakan dalam satuan milig oksigen per liter (mg/L). Berikut ini adalah reaksi kimia yang terjadi pada saat penentuan BOD yaitu:



Oksidasi nitrogen anorganik ini memerlukan oksigen terlarut, sehingga perlu diperhitungkan.

BOD yang tinggi di dalam air limbah perlu diturunkan sampai dengan memenuhi baku mutu kualitas limbahnya. Pengolahan limbah penyamakan kulit menggunakan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) sebagai biofilter untuk menurunkan BOD selama 10 hari waktu detensi dari BOD awal yaitu 449,40 mg/L menjadi 148,04 mg/L, jika dipersentasekan limbah penyamakan kulit ini mengalami penurunan sebesar 100,70% (Mustaniroh *et al.*, 2009).

### 2.2.3. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Kebutuhan oksigen secara kimiawi atau yang lebih dikenal dengan *Chemical Oxygen Demand* (COD) adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi seluruh bahan organik (yang terurai dan sukar terurai) secara kimia dengan menggunakan oksidator kuat. Untuk mengoksidasi senyawa-senyawa organik COD dalam limbah domestik dapat diturunkan dengan menggunakan beberapa metode seperti halnya menggunakan tanaman maupun menggunakan yang lainnya. Menurut Wirawan *et al.* (2014) yang menyatakan bahwa kandungan COD dapat menurun menggunakan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) dengan teknik tanam hidroponik sistem DFT (*Deep Flow Technique*) selama 6 hari waktu aerasi mampu menurunkan kadar COD maksimal hingga 65,05%.

### 2.2.4. TSS (*Total Suspended Solid*)

Menurut Sugiharto (2008) TSS adalah jumlah berat dalam mg/liter kering lumpur yang ada dalam limbah setelah mengalami penyaringan dengan membran berukuran 0,45 mikron. Materi yang tersuspensi mempunyai dampak buruk terhadap kualitas air karena mengurangi penetrasi matahari ke dalam badan air, kekeruhan air meningkat yang menyebabkan gangguan pertumbuhan bagi organisme produser (Huda, 2009). Hadirnya material koloid menyebabkan air menjadi tampak keruh yang secara estetis kurang menarik dan mungkin bisa berbahaya bagi kesehatan. Kekeruhan dapat pula disebabkan oleh partikel-partikel tanah liat, lempung, lanau, atau akibat buangan limbah rumah tangga maupun limbah industri atau bahkan karena adanya mikroorganisme dengan jumlah yang besar (Herlambang, 2006). Hal ini seperti yang terjadi pada limbah penyamakan kulit kadar TSS yang tinggi menyebabkan air menjadi keruh dan mencemari

lingkungan oleh sebab itu digunakan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) sebagai biofilter limbah. Nilai TSS yang awalnya 502,74 mg/L mengalami penurunan hingga 199,51 mg/L atau sebesar 103,05% (Mustaniroh *et al.*, 2009).

#### 2.2.5. Nitrogen

Nitrogen merupakan salah satu unsur yang dibutuhkan oleh tanaman bagi pertumbuhan dan umumnya dipergunakan untuk pembentukan atau pertumbuhan bagian-bagian vegetatif pada tanaman seperti daun, batang maupun akar (Sutedjo, 2002). Nitrogen dibedakan menjadi dua bentuk yaitu nitrogen organik dan nitrogen anorganik. Bentuk dari nitrogen organik berupa asam amino, protein, urea dan nitrogen yang ditemukan di dalam tubuh manusia. Sedangkan nitrogen anorganik terdiri dari ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), amoniak ( $\text{NH}_3$ ), nitrit ( $\text{NO}_2$ ) dan nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) (Nancy, 2008). Nitrogen merupakan unsur utama dalam proses pembentukan asam amino dan selanjutnya akan membentuk senyawa kompleks protein yang dipergunakan untuk membangun struktur dari semua makhluk hidup termasuk tumbuhan (Khiatuddin, 2003).

#### 2.2.6. Amoniak ( $\text{NH}_3$ )

Amoniak atau  $\text{NH}_3$  merupakan senyawa nitrogen yang mudah larut di dalam air dan bersifat basa sehingga di dalam air akan membentuk amonium hidroksida. Amoniak dapat ditemukan dimanapun, mulai dari kadar yang rendah hingga kadar yang tinggi lebih dari 30 mg/L pada air buangan. Amoniak jika dalam konsentrasi yang tinggi dan masuk ke dalam badan air akan berbahaya bagi kehidupan makhluk hidup yang ada di air. Adanya amoniak ini dapat mengurangi kadar oksigen yang ada di air. Kadar amoniak ( $\text{NH}_3$ ) pada air adalah kurang dari 1 mg/L (syarat standar mutu kualitas air di Indonesia), namun khusus untuk air minum kadarnya harus 0 mg/L karena berbahaya.

Amoniak ( $\text{NH}_3$ ) berasal dari nitrogen organik yang telah diuraikan oleh organisme heterotrof. Organisme heterotrof adalah organisme yang membutuhkan nutrisinya dalam bentuk senyawa organik dan mereka memperoleh energi dengan cara mengoksidasi senyawa tersebut (Marsidi, 2002). Kadar amoniak ( $\text{NH}_3$ ) yang tinggi di dalam air buangan dapat diturunkan dan

diminimalkan sebelum siap dibuang ke lingkungan. Salah satunya adalah dengan tanaman yang mampu menyerap amoniak dalam jumlah yang besar. Amoniak ( $\text{NH}_3$ ) dalam air limbah mengalami penurunan setelah dilakukan perlakuan dengan menggunakan tanaman jerangau dalam waktu 15 hari waktu tinggal (detensi), yaitu dari kadar 0,583 mg/L menjadi 0,003 mg/L (Amansyah, 2012).

### 2.3. Proses Pengolahan Limbah

Pengolahan limbah merupakan salah satu cara yang penting untuk dilakukan untuk menanggulangi jumlah limbah yang setiap harinya mengalami penambahan, baik pengolahan secara fisika, biologi maupun secara kimia. Sesuai dengan pernyataan Ginting (2007) limbah membutuhkan pengolahan apabila banyak mengandung senyawa yang berbahaya dan menyebabkan pencemaran yang berakibat menciptakan kerusakan terhadap lingkungan atau paling tidak potensial menciptakan pencemaran. Suatu perkiraan harus dibuat terlebih dahulu dengan cara mengidentifikasi sumber pencemaran, sistem pengolahan, banyaknya buangan dan jenisnya, serta kegunaan bahan beracun dan berbahaya yang terdapat dalam pabrik.

#### 2.3.1. Pengolahan Secara Fisik

Pengolahan limbah secara fisika merupakan pengolahan yang dilakukan dengan cara beberapa tahapan. Pengolahan air limbah dengan cara fisik ini terlebih dahulu adalah dengan cara menyisihkan bahan-bahan yang berukuran besar dan terapung serta yang mudah mengendap disisihkan terlebih dahulu. Penyaringan (*screening*) merupakan cara yang paling efisien dan murah untuk menyisihkan bahan tersuspensi yang berukuran besar. Bahan yang tersuspensi yang mudah mengendap dapat disisihkan secara mudah dengan proses pengendapan. Proses flotasi banyak digunakan untuk menyisihkan bahan-bahan yang mengapung seperti minyak dan lemak agar tidak mengganggu proses pengolahan yang berikutnya. Flotasi dapat juga digunakan untuk menyisihkan bahan-bahan tersuspensi (*clarification*) atau pemekatan lumpur endapan (*sludge thickening*) dengan memberikan aliran udara ke atas (*air flotation*).

Pada proses filtrasi di dalam pengolahan air buangan, biasanya dilakukan untuk mendahului proses adsorpsi atau proses *reverse osmosis*-nya, akan dilaksanakan untuk menyisihkan sebanyak mungkin partikel tersuspensi dari dalam air agar tidak mengganggu proses adsorpsi atau menyumbat membran yang dipergunakan dalam proses osmosa. Proses adsorpsi, biasanya dengan menggunakan karbon aktif, dilakukan untuk menyisihkan senyawa aromatik (misalnya : fenol) dan senyawa organik terlarut lainnya, terutama jika ingin menggunakan kembali air buangannya lagi sebagai bahan yang lebih berguna. Teknologi membran (*reverse osmosis*) biasanya diaplikasikan untuk unit-unit pengolahan kecil, terutama jika pengolahan ditujukan untuk menggunakan kembali limbah cair yang sudah dilakukan pengolahan (Dephut, 2015).

### 2.3.2. Pengolahan Secara Kimia

Pengolahan air limbah secara kimia biasanya dilakukan untuk menghilangkan partikel-partikel yang tidak mudah untuk mengendap (koloid), logam-logam berat, senyawa fosfor, dan zat organik beracun; dengan cara menumbuhkan bahan kimia yang diperlukan. Penyisihan bahan kimia tersebut pada prinsipnya berlangsung melalui perubahan sifat-sifat dari bahan tersebut, yakni dari bahan yang tidak mudah untuk diendapkan menjadi bahan yang mudah untuk diendapkan (flokulasi-koagulasi), baik dengan atau tanpa reaksi oksidasi-reduksi, dan juga berlangsung sebagai hasil reaksi oksidasi. Pengendapan bahan tersuspensi yang tidak mudah larut dilakukan dengan membubuhkan elektrolit yang mempunyai muatan yang berlawanan dengan muatan koloidnya agar terjadi netralisasi muatan koloid tersebut, sehingga dapat diendapkan. Penyisihan logam berat dan senyawa fosfor dilakukan dengan membubuhkan larutan alkali (Dephut, 2015).

### 2.3.3. Pengolahan Secara Biologi

Pengolahan limbah secara biologi merupakan suatu cara pengolahan yang diarahkan untuk menurunkan substrat tertentu yang terkandung dalam air buangan dengan memanfaatkan aktivitas mikroorganisme yang menggunakan zat pencemar sebagai substrat (sumber energi dan karbon) untuk pertumbuhan dan sintesa sel. Transformasi bahan-bahan organik yang terkandung dalam air menjadi gas-gas

seperti CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, dan H<sub>2</sub>S merupakan contoh yang jelas mengenai proses yang melibatkan kegiatan mikroorganisme tersebut (Dephut, 2015).

#### 2.4. Lahan Basah Buatan (*Constructed Wetland*)

Sistem lahan basah buatan (*Wetlands*) merupakan sistem yang dirancang sebagai pengolahan limbah seperti debit airnya, beban bahan organik, kedalaman dari media, jenis tanaman yang akan digunakan sebagai bahan untuk menyerap unsur berbahaya dan lainnya sehingga air limbah yang keluar dapat terkontrol atau dapat diatur sesuai dengan keinginan. Sistem Lahan Basah Buatan (*Constructed Wetland*) merupakan suatu sistem yang berperan dalam proses pengolahan limbah yang meniru dari aplikasi dari proses penjernihan air yang berada di lahan basah atau di rawa (*Wetlands*), dimana tumbuhan air (*Hydrophyta*) yang berada di sekitar rawa memiliki peranan penting dalam proses penjernihan air limbah yang terbuang secara alamiah (*self purification*) (Suprihatin, 2014).

*Wetland* juga bisa diartikan sebagai proses pembersihan logam berat yang terjadi di lahan basah yang melibatkan serangkaian mekanisme: *filtration of solids* (penyaringan padatan)

- *asorption to organic matter* (serapan ke bahan organik)
- *oxidation and hydrolysis* (oksidasi dan hidrolisis)
- *formation of carbonates* (pembentukan karbonat)
- *formation of insoluble sulfides* (pembentukan sulfida larut)
- *binding to iron and manganese oxides* (mengikat besi dan mangan oksida)
- *reduction to nonmobile forms by bacterial activity* (pengurangan ke bentuk non seluler oleh aktivitas bakteri)
- *biological methylation and volatilization of mercury* (metilasi biologis dan penguapan air raksa)

#### 2.5. Macam - Macam *Constructed Wetland*

Sistem lahan basah (*constructed wetland*) terdapat dua macam tipe yaitu *Free Water Surface System (FWS)* dan *Sub-Surface Flow System (SSF)*. *Constructed wetland* yang menggunakan sistem aliran permukaan *Free Water*

*Surface* (FWS), sistem ini terdiri dari kolam-kolam dan saluran yang dibuat untuk mendukung pertumbuhan tanaman terutama perakaran sehingga medianya terbuat dari tanah. Sistem FWS ini bentuknya sangat mirip dengan bentuk *wetland* secara alami (*natural wetland*) dan biasanya berupa kolam-kolam yang ditanami dengan menggunakan tanaman air. Namun, penggunaan sistem ini memiliki kelemahan, yaitu membutuhkan lahan yang luas untuk membuat kolam dan estetikanya juga kurang baik serta menimbulkan bau.

Klasifikasi lahan basah berdasarkan jenis tanaman yang dipergunakan untuk lahan basah ada 3 yaitu :

- a. Menggunakan tanaman *makrophyta* mengambang atau sering disebut dengan lahan basah sistem tanaman air mengambang (*Floating Aquatic Plant System*)
- b. Menggunakan tanaman *makrophyta* dalam air (*submerged*) dan umumnya digunakan pada sistem lahan basah buatan tipe aliran permukaan (*Surface Flow Wetland*)
- c. Menggunakan tanaman *makrophyta* yang akarnya tenggelam atau sering juga disebut *amphibious plants* dan biasanya digunakan untuk lahan basah buatan tipe aliran bawah permukaan (*Subsurface Flow Wetland*) SSF-Wetland (Suriawiria, 1993).

Sistem Aliran Bawah Permukaan (*SSF-Wetland*) merupakan sistem pengolahan limbah yang relatif masih baru, namun telah banyak diteliti dan dikembangkan oleh banyak negara dengan berbagai alasan tertentu. Menurut (Tangahu dan Warmadewanthi, 2001) bahwa pengolahan air limbah dengan sistem tersebut lebih dianjurkan karena beberapa alasan sebagai berikut : dapat mengolah limbah domestik, pertanian dan sebagian limbah industri termasuk logam berat. Efisiensi pengolahan tinggi (80%). Biaya perencanaan, pengoperasian dan pemeliharaan murah.

## **2.6. Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Sistem Lahan Basah Bawah Permukaan (SSF-Wetlands)**

Ada empat komponen yang dapat mempengaruhi kinerja dari sistem lahan basah bawah permukaan, yaitu:

## 1. Media

Media yang sering digunakan dalam reaktor Lahan Basah Aliran Bawah Permukaan (*SSF- Wetland*) secara umum dapat menggunakan tanah, pasir, batuan atau bahan-bahan lainnya. Peranan dari media ini adalah sebagai tempat tumbuh bagi tanaman, media berkembangbiaknya organisme, membantu proses terjadinya sedimentasi, membantu penyerapan (*absorpsi*) bau dari gas hasil dari biodegradasi. Selain itu, ada peranan lain dari media yang digunakan adalah sebagai tempat terjadinya proses transformasi kimiawi, tempat penyimpanan bahan-bahan nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman. Menurut Khiatuddin (2003) yang menyatakan bahwa kinerja *SSF-Wetlands* berdasarkan media yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 2. Kinerja Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan berdasarkan media yang digunakan

No.	Jenis Media	Presentase Pengurangan Polutan		
		BOD (mg/L)	SS (mg/L)	Colliform
1	Kerikil	55 – 96	51 – 98	99
2	Tanah	62 – 85	49 – 85	-
3	Pasir	96	94	100
4	Tanah Liat	92	91	-

Sumber : Khiatuddin, (2003).

## 2. Tanaman

Tanaman yang digunakan dalam sistem lahan basah bawah permukaan adalah jenis tanaman air yang mampu hidup dan tahan terhadap genangan air (*Submerged plants* atau *amphibious plants*). Tipe tanaman ini dibedakan menjadi bagian berdasarkan area pertumbuhannya di dalam air. Pada umumnya tanaman ini dibedakan menjadi tiga kelompok yaitu:

- Tanaman yang mencuat ke permukaan air, merupakan tanaman yang mempunyai sistem perakaran ada tanah di dasar perairan dan daunnya berada jauh di atas permukaan air.
- Tanaman yang mengambang dalam air, merupakan tanaman yang seluruh bagian dari tanaman (akar, batang, dan daun) berada di dalam permukaan air.

- c) Tanaman yang mengapung di permukaan air, merupakan tanaman yang akar dan batangnya berada di dalam air sedangkan daunnya berada di atas permukaan air.

### 3. Mikroorganisme

Mikroorganisme yang diharapkan untuk tumbuh dan berkembang di media *SSF-Wetlands* adalah jenis mikroorganisme heterotropik aerobik, karena pengolahan berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan mikroorganisme anaerobik (Tangahu dan Warmadewanthi, 2001). Agar kehidupan dari mikroorganisme tersebut dapat terjamin dan dapat tumbuh dengan baik, maka perlu adanya transfer energi berupa oksigen yang berasal dari akar tanaman sehingga dapat mencukupi kehidupan dari mikroorganisme.

Kandungan oksigen yang terdapat di dalam media ini akan disuplai oleh akar tanaman yang merupakan hasil sampingan dari hasil fotosintesis tanaman dengan bantuan sinar matahari. Sehingga, ada saat siang hari akan sering terjadi pelepasan oksigen. Kondisi lingkungan dari media yang aerob terutama pada daerah perakaran (*Rhizosphere*) dan ketergantungan mikroorganisme terhadap pasokan oksigen dari sistem sistem perakaran tanaman yang ada pada sistem *SSF-Wetlands*, sehingga menyebabkan jenis-jenis mikroorganisme tertentu dan spesifik yang dapat tumbuh di sekitar perakaran.

### 4. Temperatur

Temperatur atau suhu dari air limbah juga akan berpengaruh terhadap aktivitas mikroorganisme maupun tanaman, sehingga akan mempengaruhi kinerja pengolahan air limbah yang masuk ke bak atau *cell SSF-Wetlands* yang akan digunakan. Meskipun batas kematian pada setiap mikroorganisme pada daerah suhu yang cukup luas (0-90°C), namun setiap jenis organisme memiliki kisaran tertentu pada ambang batas hidupnya. Berdasarkan dari kisaran temperatur maka mikroorganisme dikelompokkan menjadi tiga jenis yaitu : Mikroorganisme Psikrofil (pertumbuhan optimal ada suhu 15°C), Mikroorganisme Mesofil

(pertumbuhan optimal ada suhu 25-37°C) dan Mikroorganismen Termofil (pertumbuhan optimal pada suhu 55-60°C).

### 2.7. Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)

Tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) merupakan tanaman rawa dan salah satu tanaman yang dimanfaatkan karena mampu menyerap unsur berbahaya terutama yang ada di dalam air. Kayu apu (*Pistia stratiotes*) sebenarnya adalah gulma air yang hidup menggenang dan menempati urutan ketiga di Asia Tenggara untuk gulma padi. Tanaman ini mempunyai perakaran yang lebat dan panjang, bercabang halus dan sistem perakarannya luas. Kayu apu termasuk dalam famili Araceae, yang terdiri dari spesies tunggal dengan nama *Pistia stratiotes* atau sering disebut dengan selada air atau kubis Nil. Tanaman ini hampir terdapat di seluruh saluran permukaan air, baik dari iklim tropis maupun subtropis. Gambar tanaman kayu apu disajikan pada Gambar 1.

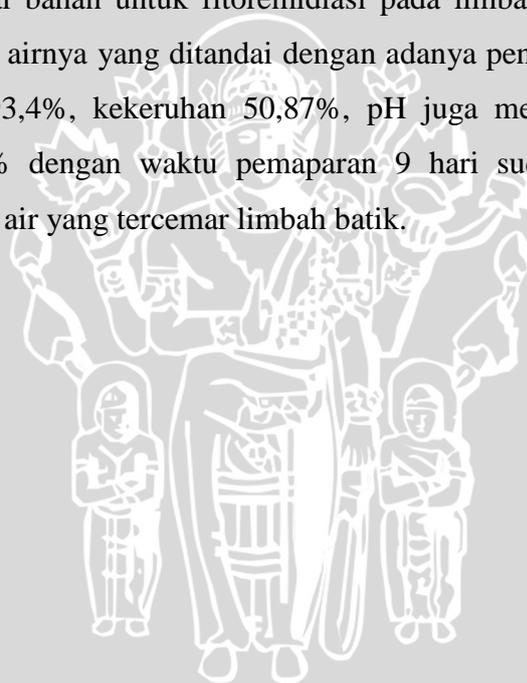


Gambar 1. *Pistia stratiotes*  
(Sumber: Plantamor 2016)

Tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) merupakan tanaman yang banyak ditemukan di perairan maupun rawa-rawa. Tanaman ini mengambang di atas permukaan air dan akarnya menggantung terendam di bawah daun mengambang. Daunnya bisa mencapai ukuran 14 cm dan tidak memiliki batang, berwarna hijau muda, dengan urat paralel, berdaun tunggal, berbentuk solet menyerupai mawar, ujung membulat, pangkalnya runcing, tepi daun berlekuk dengan panjang sekitar 2-10 cm, lebarnya 2-6 cm dengan pertulangan sejajar (monokotil) memiliki tinggi sekitar 5-10 cm. Tanaman kayu apu memiliki manfaat yaitu dapat mengurangi konsentrasi limbah cair dengan proses fitoremediasi (Ramey, 2001). Berikut adalah

klasifikasi dari tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) : kingdom Plantae, subkingdom Tracheobionta, superdivisi Spermatophyta, divisi Magnoliophyta, kelas Liliopsida, subkelas Areciade, ordo Arales, famili Araceae, genus Pistia dan spesies : *Pistia stratiotes*.

Kayu apu (*Pistia stratiotes*) dalam menyerap amoniak menjadi N-total pada tanaman adalah dengan menggunakan akar dan bantuan dari mikroorganisme. Menurut Krismawati dan Ahdia (2013) yang menguji keefektifan kayu apu dalam mereduksi N-total pada limbah POME sebesar 30,78% selama 6 hari waktu detensi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Hernayanti dan Proklamasiningsih, 2004) menyatakan bahwa tanaman kayu apu dapat berperan sebagai bahan untuk fitoremediasi pada limbah cair batik untuk meningkatkan kualitas airnya yang ditandai dengan adanya penurunan Cu 91,5%, BOD 64,26%, TSS 93,4%, kekeruhan 50,87%, pH juga mengalami kenaikan 36,1% dan DO 300% dengan waktu paparan 9 hari sudah efektif dalam meningkatkan kualitas air yang tercemar limbah batik.



### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada Agustus sampai dengan Oktober 2016 di Rumah Kaca Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang. Pengambilan sampel limbah cair karet di PT. Perusahaan Perkebunan Kalibendo, Banyuwangi. Analisa air dilaksanakan di Laboratorium Kimia Jurusan Tanah Fakultas Pertanian, Laboratorium Lingkungan Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Negeri Malang dan di Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I, Malang.

#### 3.2. Alat dan Bahan Penelitian

##### 3.2.1. Alat

Alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Alat Penelitian

No.	Nama Alat	Fungsi
1	Bak Reaktor	wadah yang dipergunakan untuk pengelolaan limbah cair karet dengan dimensinya tersaji pada Lampiran 2.
2	Curigen 35 L	media penampungan air limbah pada saat pengambilan limbah cair karet
3	Gayung	media yang digunakan untuk memindahkan limbah cair karet ke dalam reaktor <i>constructed wetland</i> dan jerigen
4	Botol plastik	wadah sampel yang sudah siap untuk uji
5	Penggaris	untuk mengukur pada saat pembuatan media
6	Kran air	penghubung dan pemutus aliran limbah
7	Timbangan	untuk menimbang berat basah dan kering tanaman
8	Gelas Ukur	untuk mengukur sampel air pada saat akan diuji
9	Alat-alat laboratorium	untuk menguji sampel air limbah
10	Alat tulis	untuk mencatat hasil pengujian sampel limbah
11	Kamera	untuk mendokumentasikan hasil penelitian

##### 3.2.2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan untuk kegiatan penelitian ini antara lain :

Tabel 4. Bahan Penelitian

No.	Bahan Penelitian	Fungsi
1	Limbah cair karet	sebagai bahan perlakuan
2	Kayu Apu ( <i>Pistia stratiotes</i> )	sebagai tanaman perlakuan
3	Aquades	untuk aklimatisasi tanaman
4	Pasir	media dalam sistem <i>constructed wetland</i>
5	Kerikil	media dalam sistem <i>constructed wetland</i>

### 3.3. Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan dalam penelitian ini berupa Rancangan Acak Lengkap (RAL). Rancangan ini digunakan untuk menguji tanaman yang mampu menyerap bahan berbahaya yang dapat mencemari lingkungan dengan sistem *constructed wetland*. Rancangan penelitian ini menggunakan lima perlakuan dengan ulangan sebanyak tiga kali. Berikut ini adalah tabel rancangan yang akan digunakan (Tabel 5). Denah rancangan percobaan terdapat pada Lampiran 1 dan gambar ilustrasi pembuatan bak reaktor pada Lampiran 2.

Tabel 5. Perlakuan dalam Penelitian

Perlakuan	Kode	Ukuran
Kontrol (Limbah)	A	Limbah sebanyak 10 liter.
Limbah + Kerikil + Tanaman	B	Kerikil diisikan ke dalam bak reaktor dengan ketebalan 5 cm + 10 liter limbah + 100 g kayu apu.
Limbah + Pasir + Tanaman	C	Pasir diisikan ke dalam bak reaktor dengan ketebalan 5 cm + 10 liter limbah + 100 g kayu apu.
Limbah + Kerikil + Pasir + Tanaman	D	Kerikil dimasukkan ke dalam bak dengan ketebalan 2,5 cm + pasir dengan ketebalan 2,5 cm + 10 liter limbah + 100 g kayu apu.
Limbah + Tanaman	E	Limbah 10 liter + 100 g kayu apu.

Pengamatan dilakukan selama 20 hari ini didasarkan pada penelitian sebelumnya yang menggunakan tanaman *Typha angustifolia* pada limbah kerupuk untuk menurunkan kadar amoniak ( $\text{NH}_3$ ), TSS (*Total Suspended Solid*), BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) dengan interval pengamatan 5 hari sekali, yaitu pada hari ke- 5, 10 dan 15 (Abdulghani *et al*, 2014). Ukuran ketebalan didasarkan pada penelitian sebelumnya yang menggunakan ketebalan 10 cm pada masing-masing media dengan jumlah limbah yang diberikan sebanyak 20 L (Oktareza, 2015).

### 3.4. Pelaksanaan Penelitian *Constructed Wetland* dengan Tanaman Kayu Apu (*Pistia striototes*)

Tahapan pengolahan limbah dilakukan dengan cara pembuatan reaktor *constructed wetland*, pengambilan sampel limbah cair karet, aklimatisasi tanaman, pengolahan limbah cair karet oleh sistem *constructed wetland*, pengambilan dan pengujian sampel. Ilustrasi untuk alur kegiatan terdapat pada Lampiran 3.

### 1. Pembuatan Reaktor *Constructed Wetland*

Reaktor *constructed wetland* ini terbuat dari bahan plastik yang memiliki ukuran diameter 40 cm dan tinggi 20 cm. Pada bagian bawah reaktor ini dilengkapi dengan keran sebagai saluran untuk mengeluarkan limbah cair karet pada saat akan dilakukan pengambilan sampel uji. Pada penelitian ini akan menggunakan bak reaktor sebanyak 15 buah. Masing-masing perlakuan ada 3 buah bak. Keseluruhan reaktor ini menggunakan sistem *sub-surface flow* yaitu, air limbah karet akan mengalir dari atas ke bawah atau secara vertikal.

Bak reaktor yang sudah siap diisi kerikil pada perlakuan pertama dengan ukuran diameternya adalah 1-2 cm dengan tinggi sekitar 5 cm dari dasar bak, fungsi dari kerikil adalah sebagai filter. Selanjutnya untuk perlakuan kedua bak reaktor diisi dengan menggunakan media pasir dengan tinggi sekitar 5 cm dari permukaan bak. Pada perlakuan yang ketiga bak reaktor diisi dengan menggunakan kerikil ukuran 1-2 cm dengan tinggi 2,5 cm dari bagian bawah bak dan pada bagian atas diisi oleh pasir dengan tinggi 2,5 cm. Barulah ditambahkan air limbah karet pada bagian atasnya. Media tanam yaitu kerikil dan pasir diperoleh dari toko bangunan. Hal ini dimaksudkan, apabila diaplikasikan di Perkebunan Kalibendo lebih mudah dalam mencari bahan sebagai media filtrasi limbah.

### 2. Aklimatisasi Tanaman

Aklimatisasi tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) dilakukan agar tanaman dapat menyesuaikan diri terhadap lingkungan atau media tumbuhnya yang baru. Aklimatisasi dilakukan pada bak dengan diameter 40 cm dengan tinggi 30 cm. Aklimatisasi dilakukan selama 7 hari, sehingga tanaman melewati masa vegetatif. Tanaman yang diambil adalah tanaman yang kira-kira berumur 7 hari. Aklimatisasi tanaman dengan menggunakan aquades sebanyak 15 liter yang berfungsi sebagai stok kultur. Aklimatisasi tanaman dilakukan agar tanaman dapat menyesuaikan dengan lingkungan barunya sebelum dipindahkan ke lingkungan perlakuan.

Tanaman kayu apu yang akan diisikan ini masing-masing bak 100 g. Penentuan 100 g ini didasarkan pada penelitian terdahulu yang menggunakan 75 g

oleh Hernayanti dan Proklamasiningsih (2004) dalam menurunkan limbah cair baik dan Fachrurozi *et al.* (2010) yang menggunakan tanaman kayu apu sebanyak 200 g dalam menurunkan limbah cair tahu. Sehingga, digunakan berat diantara kedua pertimbangan penelitian tersebut.

### 3. Pengambilan Limbah Sebelum Perlakuan

Pengambilan sampel untuk penelitian dilakukan pada saat pengolahan karet dari lateks menjadi karet kering selesai dilakukan. Sampel diambil dari Perkebunan Kalibendo, Banyuwangi. Pengambilan sampel air limbah karet sebanyak 165 liter. Teknik pengambilan sampel dengan mengambil secara komposit yaitu pada bagian ujung dan tengah bak penampungan dari limbah karet.

### 4. Pengolahan Limbah oleh Bak Reaktor *Constructed Wetland*

Pengoprasian dari reaktor dilakukan selama 20 hari dengan waktu tinggal pengambilan sampel selama 5 hari. Pada masing-masing perlakuan akan diisikan air limbah sebanyak 10 liter.

### 5. Pengambilan dan Pengujian Sampel

Pengambilan sampel untuk diuji dilakukan dengan menggunakan metode sampel grab atau metode pengambilan sampel yang dilakukan pada satu waktu. Pengambilan sampel uji dilakukan pada hari ke 5, 10, 15, dan 20 hari. Pengambilan sampel dilakukan dengan cara membuka kran pada bak reaktor kemudian di tampung dengan gayung dan dimasukkan kedalam botol plastik dengan ukuran 600 ml. Kemudian sampel air dibawa ke laboratorium untuk dilakukan pengujian pada setiap parameternya sebagai baku mutu kualitas air untuk limbah cair karet.

### 6. Menimbang Berat Tanaman

Penimbangan berat tanaman dilakukan pada saat akhir pengamatan untuk mengetahui adanya penambahan atau penurunan berat diawal dan akhir penelitian.

## 3.5. Pengukuran Parameter Limbah Cair Karet

Pengujian setiap kadar parameter untuk baku mutu kualitas air limbah cair karet Perkebunan Kalibendo yang telah dilakukan pengolahan untuk mengetahui besar penurunan pada setiap parameter yang diamati. Pengukuran parameter

pengamatan dilakukan sebelum dilakukan pengujian dan perlakuan serta setelah dilakukannya perlakuan atau hasil akhir. Pada tahapan ini parameter yang akan diujikan (Tabel 6).

Tabel 6. Parameter Pengamatan

Variabel	Metode	Waktu
BOD ( <i>Biochemical Oxygen Demand</i> )	Winkler	0 dan 20 hari
COD ( <i>Chemical Oxygen Demand</i> )	Spektrofotometri	0 dan 20 hari
pH	Elektrometri	0, 5, 10, 15 dan 20 hari
TSS ( <i>Total Suspended Solid</i> )	Gravimetri	0 dan 20 hari
Amoniak (NH <sub>3</sub> )	Phenat	0, 5, 10, 15 dan 20 hari
Nitrogen Total	Kjeldahl	0, 5, 10, 15 dan 20 hari
Berat Basah (BB)	-	0 dan 20 hari

Kadar BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), TSS (*Total Suspended Solid*), N-total dan amoniak (NH<sub>3</sub>) selanjutnya akan dilakukan perhitungan efisiensi dengan menggunakan persamaan:

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

dimana:

E = efisiensi (100%)

C<sub>0</sub> = konsentrasi awal (mg/l)

C<sub>1</sub> = konsentrasi akhir (mg/l)

### 3.6. Analisis Data

Data yang sudah diperoleh dilakukan analisis dengan menggunakan *Microsoft Excel* dengan aplikasi pengolah data DSTAAT dan uji ANOVA dengan taraf nyata (F = 5%) untuk melihat pengaruh antar perlakuan kemudian dilanjutkan dengan uji BNT pada taraf 5% untuk melihat perbedaan yang terlihat antar perlakuan.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Karakteristik Limbah Cair Karet yang Digunakan dalam Penelitian

Produksi latek dipengaruhi oleh umur tanaman, apabila terlalu muda tidak akan menghasilkan latek begitu pula sebaliknya, jika terlalu tua juga tidak akan menghasilkan. Karet mulai menghasilkan latek pada saat berumur 4-6 tahun dengan puncak produktivitasnya antara umur 12-20 tahun, setelah usia tersebut sekitar 25-30 tahun sudah menurun tingkat produktivitasnya (Janudianto *et al.*, 2013). Latek yang diambil biasanya pada karet yang sudah memiliki lingkaran batang 45 cm pada ketinggian minimal 100 cm dari bawah permukaan tanah. Latek yang sudah diambil selanjutnya dibawa ke tempat pengolahan untuk selanjutnya dijadikan lembaran karet kering yang disebut dengan slab. Selain menghasilkan karet kering pengolahan latek juga menghasilkan produk lain berupa limbah.

Limbah karet yang diambil untuk penelitian ini adalah limbah karet yang berada di Perkebunan Kalibendo, Banyuwangi. Karakteristik dari limbah cair karet setelah dari pengolahan dan sebelum dibuang ke lingkungan adalah berwarna putih kekeruhan dan berbau asam. Adanya bau yang asam pada limbah disebabkan oleh kandungan amoniak dan aktivitas dari mikroba (Tabel 7).

Tabel 7. Analisis Dasar Limbah Cair Karet

No.	Parameter	Satuan	Hasil	Standar Baku Mutu* (Maksimum)
1	pH (H <sub>2</sub> O)	-	6,5	6,0-9,0
2	BOD	mg/L	68,65	100
3	COD	mg/L	116,0	200
4	TSS	mg/L	54,4	100
5	Nitrat	mg/L	3,387	-
6	Nitrit	mg/L	0,041	-
7	Nitrogen	mg/L	<b>28,90</b>	25
8	Amoniak	mg/L	<b>22,10</b>	10

\*) Standar Baku Mutu Sesuai dengan : Per. Gub. No. 52 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Kualitas Air untuk Limbah Cair Karet.

Analisis dasar dilakukan dengan satu kali pengambilan sampel. Hasil pengujian sampel pada Tabel 7 terdapat beberapa parameter yang belum sesuai dengan baku mutu kualitas limbah karet. Parameter yang belum sesuai adalah

amoniak ( $\text{NH}_3$ ) dan N-Total. Menurut Sutedjo (2002) nitrogen sebenarnya memiliki dampak yang positif karena nitrogen dibutuhkan oleh tanaman untuk proses pertumbuhan terutama pada fase vegetatif, akan tetapi tidak semua limbah memiliki dampak positif, hal ini dikarenakan di dalam limbah masih ada zat yang menjadi racun apabila langsung digunakan tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu. Oleh sebab itu, adanya peningkatan amoniak ( $\text{NH}_3$ ) perlu diturunkan kadarnya agar sesuai dengan baku mutu kualitas limbah cair karet dibuang ke lingkungan.

## 4.2. Hasil Pengukuran Parameter Kualitas Limbah Cair Karet Terhadap Lama Waktu Pengamatan

### 4.2.1. pH $\text{H}_2\text{O}$

pH merupakan salah satu baku mutu kualitas limbah karet cair. Pada saat pengamatan pH menunjukkan nilai yang berbeda setiap waktu pengamatan 5, 10, 15 dan 20 hari. pH dapat dipengaruhi oleh kondisi suatu lingkungan yang mendukung untuk nilai pH asam ataupun basa. Nilai pH pada masing-masing pengamatan tersaji dalam Tabel 8.

Tabel 8. pH Limbah Cair Karet selama 20 Hari Pengamatan

Perlakuan	Waktu Pengamatan Hari Ke-			
	5	10	15	20
A	6,5	6,7 b	7,7 c	7,6 c
B	6,5	5,8 a	6,6 a	6,4 b
C	6,7	6,7 b	7,1 b	7,3 c
D	6,7	6,7 b	7,3 bc	7,2 c
E	6,6	6,6 b	6,2 a	5,4 a
BNT 5%	-	0,33	0,52	0,64

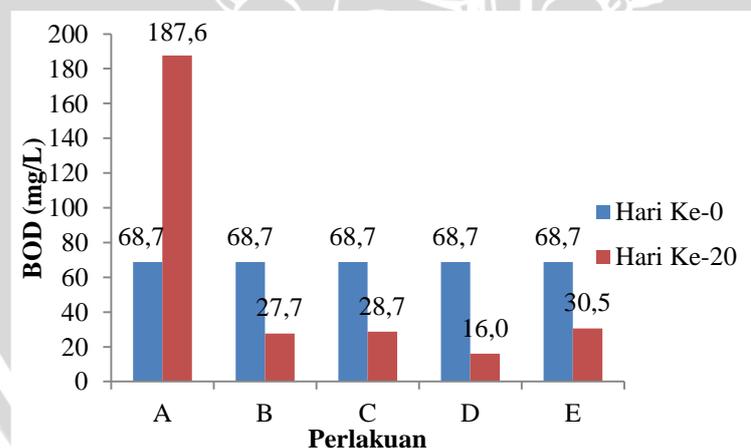
Keterangan: A(kontrol); B(limbah+kerikil+tanaman); C(limbah+pasir+tanaman); D(limbah+kerikil+pasir+tanaman); E(limbah+tanaman). Angka yang bernotasi sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata menurut BNT pada taraf 5%

Pada hari ke-5 tidak ada perbedaan yang nyata antar perlakuan. Pengamatan hari ke-10 hari terdapat perbedaan nyata, pH tertinggi rata-rata 6,7 dan terendah pada perlakuan B yaitu 5,8. Pada pengamatan 15 hari pengaruh perlakuan berbeda nyata terhadap pH dengan pH tertinggi pada perlakuan A (Kontrol) dan terendah dengan rata-rata pH 6,4, kemudian pada 20 hari rata-rata tertinggi rata-rata pH 7,4 dan terendah pada perlakuan E yaitu sebesar 5,4. Nilai pH limbah cair dari kelima perlakuan dalam kondisi pH agak masam sampai

netral merupakan pH yang masih memungkinkan adanya kehidupan di dalam air berjalan dengan baik dan proses fotosintesis tanaman air juga berjalan dengan baik (Ginting, 2007). Apabila dilihat secara keseluruhan pH tertinggi terdapat pada perlakuan A (kontrol) dengan pH berkisar 6,5-7,7, dan pH terendah pada perlakuan E dengan pH berkisar 5,4-6,6. Hal ini didukung dengan pernyataan Yuningsih *et al.* (2014) pH perairan terbuka lebih tinggi dibandingkan dengan pH perairan tertutup tanaman eceng gondok dengan nilai pH masing-masing 5,8 dan 5,2.

#### 4.2.2. BOD (*Biological Oxygen Demand*)

BOD merupakan oksigen yang terlarut dalam air dan diperlukan oleh mikroorganisme dalam air untuk proses dekomposisi bahan organik. Lama waktu berpengaruh nyata dalam menurunkan BOD limbah cair karet pada akhir pengamatan (Lampiran 9a). Pada perlakuan D mendapatkan hasil terendah 16,0 mg/L dibandingkan dengan perlakuan A dengan hasil tertinggi yaitu 187,6 mg/L. Hal tersebut disebabkan oleh semakin rendahnya kandungan BOD di dalam air maka kualitas limbah cair karet menjadi meningkat. Kadar BOD masing-masing perlakuan disajikan dalam Gambar 2.



Keterangan: A(kontrol); B(limbah+kerikil+tanaman); C(limbah+pasir+tanaman); D(limbah+kerikil+pasir+tanaman); E(limbah+tanaman)

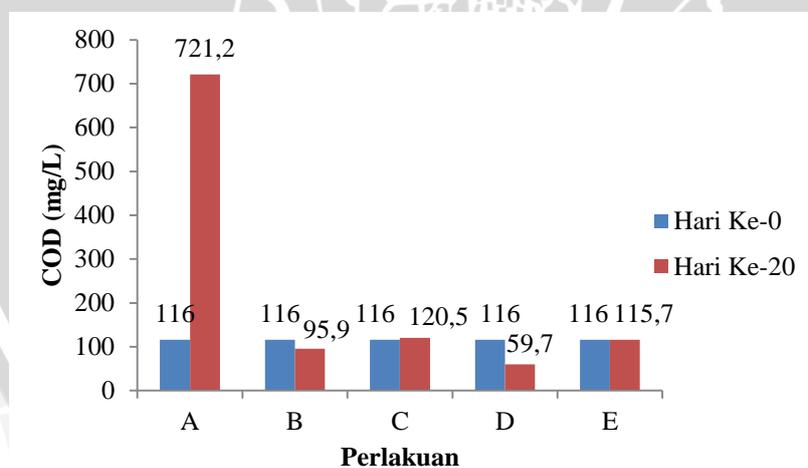
Gambar 2. BOD (*Biological Oxygen Demand*) limbah cair karet setelah 20 hari

Setiap perlakuan mengalami penurunan kadar BOD kecuali perlakuan kontrol. Muhajir (2013) BOD dalam penelitian limbah cair tahu mengalami penurunan maksimum dari 800 mg/L menjadi 177 mg/L selama 20 hari. Hal

tersebut diindikasikan bahwa semakin lama waktu maka dapat menurunkan BOD hingga memenuhi syarat baku mutu kualitas limbah cair karet untuk di alirkan ke lingkungan. Lama waktu tinggal pada limbah menyebabkan akar tanaman kayu apu dapat mengikat atau menyaring bahan organik maupun anorganik yang terdapat di dalam limbah sehingga memudahkan mikroorganisme perombak dalam melakukan aktivitas pendegradasiannya (Mustaniroh *et al.*, 2010). Penurunan BOD disebabkan oleh berkurangnya kandungan bahan organik maupun anorganik pada limbah cair, karena semakin rendah kandungan bahan organik maka kebutuhan oksigen oleh mikroba untuk mendegradasi atau mengikat bahan organik maupun anorganik juga semakin kecil (Sugiharto, 1987 *dalam* Mustaniroh *et al.*, 2010).

#### 4.2.3. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD merupakan kebutuhan oksigen secara kimia yang dipergunakan untuk mengoksidasi keseluruhan bahan organik (baik yang mudah diuraikan maupun yang sukar untuk diuraikan). COD dalam limbah cair karet setelah 20 hari mengalami penurunan jika dibandingkan dengan perlakuan A (Gambar 3).



Keterangan: A= kontrol; B= limbah + kerikil + tanaman; C= limbah + pasir + tanaman; D= limbah + kerikil + pasir + tanaman; E= limbah + tanaman

Gambar 3. COD (*Chemical Oxygen Demand*) limbah cair karet setelah 20 hari

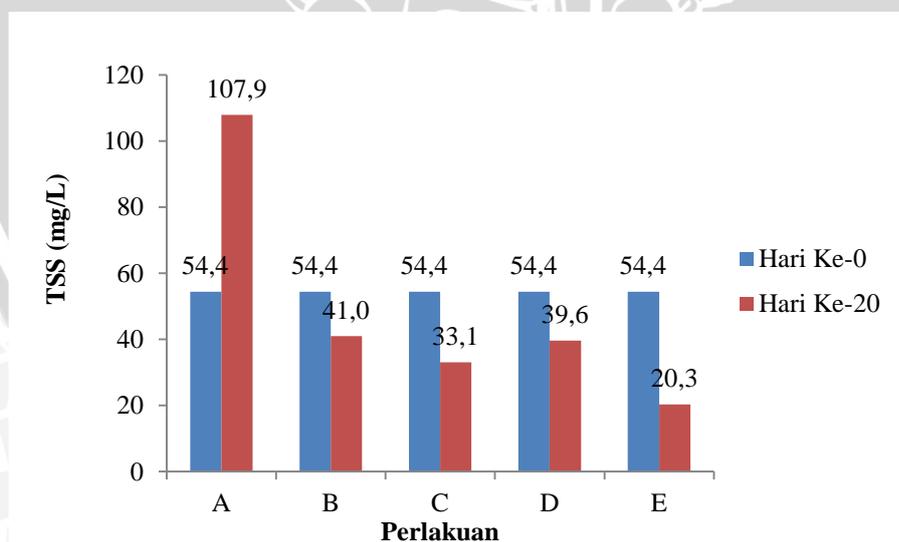
Hasil pengukuran kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) pada akhir pengamatan berbeda nyata (Lampiran 9b). Kadar COD tertinggi adalah perlakuan A (kontrol) yaitu dengan kadar COD sebesar 721,2 mg/L dan kadar terendah adalah pada perlakuan D yaitu dengan kadar COD sebesar 59,7 mg/L. Hal ini

didukung oleh pernyataan dari Muhajir (2013) yang menyatakan bahwa selama 20 hari pengamatan COD pada limbah cair tahu mengalami penurunan dari 1232mg/L menjadi 277 mg/L.

Penurunan COD juga dikarenakan suplai oksigen terlarut cukup banyak terutama dari hasil fotosintesis tanaman sehingga menyebabkan dekomposisi bahan organik menjadi lebih efektif. Waktu kontak yang lebih lama antara air limbah dengan beberapa perlakuan dapat memberikan kesempatan bagi organisme anaerob untuk melakukan degradasi. Metabolisme organisme aerob inilah akan menghasilkan senyawa-senyawa yang mudah untuk diserap tanaman kayu apu seperti posphat, nitrit dan CO<sub>2</sub> (Krismawati dan Ahdia, 2013).

#### 4.2.4. TSS (*Total Suspended Solid*)

TSS (*Total Suspended Solid*) merupakan salah satu parameter limbah cair karet apabila dalam jumlah yang banyak dapat menyebabkan pencemaran, yaitu air berwarna keruh sehingga sinar matahari sulit untuk menembus ke dalam air. Pada akhir pengamatan kadar TSS (*Total Suspended Solid*) yang ada di dalam limbah cair karet pada masing-masing perlakuan mengalami penurunan kecuali pada perlakuan kontrol (Gambar 4).



Keterangan: A= kontrol; B= limbah + kerikil + tanaman; C= limbah + pasir + tanaman; D= limbah + kerikil + pasir + tanaman; E= limbah + tanaman

Gambar 4. TSS (*Total Suspended Solid*) limbah cair karet setelah 20 hari

Hasil pengukuran kadar TSS (*Total Suspended Solid*) pada akhir pengamatan berbeda nyata (Lampiran 9c). Kadar TSS tertinggi adalah perlakuan A (kontrol) yaitu dengan kadar TSS sebesar 107,9 mg/L dan kadar terendah adalah pada perlakuan E yaitu dengan kadar TSS sebesar 20,3 mg/L. Pengolahan limbah dengan menggunakan sistem *constructed wetland* dengan lama waktu tinggal 20 hari sudah mampu menurunkan kadar TSS dalam limbah cair karet. Menurut Muhajir (2013) kandungan TSS selama 20 hari pengamatan mengalami penurunan kadar dari 667 mg/L menjadi 146 mg/L. Penurunan kadar TSS selama waktu 20 hari ini mengakibatkan adanya pengendapan atau sedimentasi yang dipengaruhi oleh adanya gaya tarik bumi (gravitasi) sehingga semakin lama waktu tinggal maka kesempatan untuk *suspended solid* dapat mengendap lebih lama (Abdulghani *et al.*, 2014).

#### 4.2.5. N-Total

Hasil N-Total selama 20 hari menunjukkan hasil yang beragam. N-total menunjukkan perubahan yang signifikan selama pengolahan limbah berlangsung. Berikut merupakan pengaruh lama waktu terhadap penurunan kadar N-total dalam limbah cair karet disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. N-Total Selama 20 Hari Pengamatan

Perlakuan	Waktu Pengamatan Hari Ke-			
	5	10	15	20
A	1,411 b	1,197 d	1,220 b	1,155 b
B	1,134 a	1,072 b	1,078 a	1,106 a
C	1,227 a	1,054 a	1,186 b	1,126 ab
D	1,185 a	1,054 a	1,198 b	1,093 a
E	1,113 a	1,092 c	1,178 b	1,230 c
BNT 5%	0,12	0,05	0,07	0,03

Keterangan: A(kontrol);B(limbah+kerikil+tanaman);C(limbah+pasir+tanaman);D(limbah+kerikil+pasir+tanaman); E(limbah+tanaman). *Angka yang bernotasi sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata menurut BNT pada taraf 5%*

Hasil N-Total pada setiap pengamatan cenderung menurun. Penurunan N-total terjadi secara signifikan pada 5 hari yaitu dari 28,90 mg/L. Pada pengamatan 5 hari terdapat perbedaan yang nyata antar perlakuan apabila dibandingkan dengan perlakuan kontrol. N-total yang tertinggi pada perlakuan A

dengan N-total sebesar 1,411 mg/L sedangkan rata-rata N-terendah yaitu 1,164 mg/L. Penurunan yang signifikan diindikasikan adanya pengaruh lingkungan yaitu suhu lingkungan yang tinggi sehingga Nitrogen menguap. Selain menguap Nitrogen didegradasi oleh mikroorganisme dalam air (nitrifikasi dan denitrifikasi) serta diserap oleh tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*). Nitrogen yang didegradasi oleh mikroorganisme melalui proses nitrifikasi yaitu mengubah amoniak menjadi nitrit selanjutnya nitrit akan dirubah menjadi nitrat dengan proses anaerob. Perubahan di dalam kedua proses ini melibatkan dua genus bakteri yakni bakteri yaitu Nitrosomonas untuk mengoksidasi amoniak dan nitrobacter untuk mengoksidasi nitrit (Prayitno dan Sholeh, 2014). Nitritasi:  $2\text{NH}_3^+ + 3\text{O}_2$  dibantu dengan bakteri Nitrosomonas menjadi  $4\text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{NO}_2^-$ . Nitratasi:  $2\text{NO}_2^- + \text{O}_2$  dibantu dengan bakteri nitrobakter menjadi  $2\text{NO}_3^-$ . Setelah proses ini maka dilanjutkan proses denitrifikasi yaitu proses tanpa menggunakan oksigen yang mengubah nitrit dan nitrat akan dipecah menjadi molekul yang dapat diserap oleh tanaman atau nitrogen gas akan dilepas ke udara (Lee *et al.*, 2009).

Pengamatan selanjutnya penurunan N-total tidak terlalu signifikan. Pengamatan 10 hari antar perlakuan berbeda nyata dengan nilai tertinggi pada perlakuan A yaitu sebesar 1,197 mg/L dan perlakuan terendah dengan rata-rata 1,054 mg/L. Pengamatan hari ke-15 terdapat pengaruh yang nyata antar perlakuan jika dibandingkan dengan perlakuan A (kontrol), N-total tertinggi yaitu sebesar 1,220 mg/L dan rata-rata N-total terendah yaitu 1,160 mg/L. Penyebab kadar amoniak pada perlakuan kontrol pengamatan hari ke-10 dan hari ke-15 adalah pada perlakuan ini tidak ada tanaman yang mampu menyerap N sehingga kadarnya lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Pada pengamatan hari ke-20 terdapat pengaruh nyata antar perlakuan dengan nilai tertinggi yaitu pada perlakuan E sebesar 1,230 mg/L dan rata-rata terendah yaitu 1,009 mg/L. Penurunan disebabkan oleh Nitrogen yang mudah mudah menguap apabila suhu tinggi. Serta adanya aktivitas dari bakteri yang mampu merubah nitrogen dalam bentuk amoniak, nitrit dan juga nitrat dalam proses amonifikasi, nitrifikasi dan denitrifikasi, sehingga kandungannya menurun serta adanya tanaman kayu apu yang membutuhkan Nitrogen dalam proses pertumbuhannya.

#### 4.2.6. Amoniak (NH<sub>3</sub>)

Amoniak (NH<sub>3</sub>) merupakan salah satu parameter baku mutu kualitas limbah cair karet yang belum memenuhi baku mutu standar aman untuk dibuang ke lingkungan. Kadar awal amoniak (NH<sub>3</sub>) adalah 22,1 mg/L sedangkan kadar amoniak (NH<sub>3</sub>) yang diperbolehkan untuk dibuang adalah sesuai baku mutu yaitu 10 mg/L, sehingga jumlahnya yang tinggi perlu diturunkan agar amoniak (NH<sub>3</sub>) yang ada tidak sampai mencemari lingkungan. Salah satu caranya adalah dengan sistem *constructed wetland* menggunakan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*). Amoniak yang ada dalam limbah mulai mengalami penurunan selama 20 hari pengamatan setelah dilakukan perlakuan. Hasil amoniak (NH<sub>3</sub>) selama 20 hari menunjukkan hasil yang beragam. Berikut merupakan pengaruh lama waktu terhadap penurunan kadar N-total dalam limbah cair karet disajikan pada Tabel 9.

Tabel 10. Amoniak (NH<sub>3</sub>) selama 20 hari pengamatan

Perlakuan	Waktu Pengamatan Hari Ke-			
	5	10	15	20
A	1,564 d	1,283 b	1,372 c	1,484 c
B	1,107 a	1,029 a	1,072 ab	1,057 a
C	1,435 c	1,089 a	1,140 b	1,065 a
D	1,243 b	1,057 a	1,004 a	1,005 a
E	1,130 a	1,052 a	1,029 ab	1,189 b
BNT 5%	0,10	0,12	0,12	0,11

**Keterangan:** A(kontrol); B(limbah+kerikil+tanaman); C(limbah+pasir+tanaman); D(limbah+kerikil+pasir+tanaman); E(limbah+tanaman). Angka yang bernotasi sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata menurut BNT pada taraf 5%

Hasil amoniak (NH<sub>3</sub>) menunjukkan hasil yang berbeda nyata pada pengamatan hari ke-5, dengan amoniak tertinggi pada perlakuan A sebagai kontrol yaitu 1,564 mg/L, sedangkan amoniak terendah rata-rata 1,118 mg/L. Penurunan amoniak yang signifikan dari kadar awal 22,1 mg/L diindikasikan amoniak (NH<sub>3</sub>) mengalami penguapan dikarenakan senyawa amoniak merupakan senyawa yang mudah menguap di udara maupun adanya penguraian pada perlakuan yang menggunakan tanaman ataupun media oleh mikroorganisme yang mampu merombak bahan organik ataupun anorganik. Amoniak merupakan senyawa yang berasal dari nitrogen organik yang diuraikan oleh organisme heterotrof, yaitu organisme yang membutuhkan nutrisinya dalam bentuk senyawa organik dan memperoleh energi dengan cara mengoksidasi (Marsidi,

2002). Amoniak ( $\text{NH}_3$ ) dapat berubah-ubah konsentrasinya berdasarkan pengaruh waktu. Amoniak ( $\text{NH}_3$ ) merupakan senyawa yang akan menjadi  $\text{NH}_4^+$  jika dalam pH yang rendah.

Pada pengamatan hari ke-10 terdapat perbedaan nyata antar perlakuan jika dibandingkan dengan kontrol dengan amoniak tertinggi yaitu 1,283 mg/L, sedangkan rata-rata amoniak terendah yaitu 1,056 mg/L. Pengamatan hari ke-15 terdapat perbedaan yang nyata antar perlakuan dengan amoniak tertinggi pada perlakuan A yaitu 1,372 dan perlakuan terendah pada perlakuan D yaitu 1,004 mg/L. Pada pengamatan hari ke-20 terdapat perbedaan nyata antar perlakuan dan amoniak tertinggi yaitu 1,484 mg/L sedangkan amoniak terendah rata-rata 1,042 mg/L.

Tingginya kandungan amoniak ( $\text{NH}_3$ ) disebabkan oleh adanya penguraian produk limbah nitrogen organik (Popo *et al.*, 2008). Kadar amoniak ( $\text{NH}_3$ ) yang tinggi di perairan akan menurunkan kadar oksigen sehingga berbahaya bagi makhluk hidup yang ada di air, sehingga keberadaannya di dalam limbah perlu diturunkan. Penurunan amoniak ini diakibatkan oleh adanya perombakan senyawa organik yang dilakukan oleh bakteri pengurai pada saat terjadi proses amonifikasi, nitrifikasi, denitrifikasi, sedimentasi, penyaringan dan penyerapan ion amonium ke dalam sedimen organik maupun anorganik (Liehr, 2000). Penurunan konsentrasi amoniak ( $\text{NH}_3$ ) pada limbah dipengaruhi juga oleh proses berbasis bioteknologi yang terjadi secara bioremoval. Proses bioremoval adalah terakumuasinya bahan penyebab polusi atau polutan dalam suatu perairan oleh material biologi dengan menggunakan mikroorganisme seperti alga, bakteri, fungi maupun tanaman air yang dapat menurunkan polutan dalam air sehingga aman dibuang ke badan air dan ramah terhadap lingkungan (Amansyah, 2012).

### **4.3. Pengaruh Media Pada Sistem *Constructed Wetland* Menggunakan Tanaman Kayu Apu dalam Meningkatkan Kualitas Limbah Cair Karet**

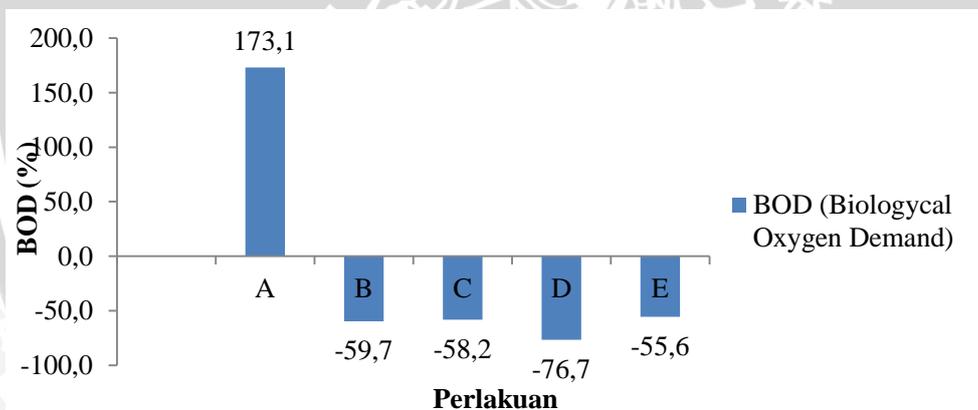
#### **4.3.1. pH**

pH limbah cair karet pada sistem *constructed wetland* menggunakan kayu apu (*Pistia stratiotes*) menunjukkan pH yang sesuai dengan baku mutu kualitas limbah cair karet untuk dibuang ke lingkungan. pH limbah cair karet pada akhir

pengamatan berkisar antara 5,4-7,7 termasuk dalam kategori agak asam-basa. Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Abdulghani *et al.* (2014) bahwa bahwa penggunaan sistem *constructed wetland* dengan tanaman *Thypha angustifolia* pH tetap dalam kondisi netral yaitu berkisar antara 6,3-6,8. Kondisi pH yang demikian adalah kondisi pH yang dapat mendukung terjadinya proses fotosintesis.

#### 4.3.2. BOD

BOD (*Biological Oxygen Demand*) merupakan salah satu parameter baku mutu kualitas air untuk limbah cair karet. Kebutuhan oksigen biokimiawi atau BOD adalah perkiraan jumlah maksimum oksigen yang digunakan untuk aktivitas pernapasan mikroorganisme yang menggunakan bahan organik dalam limbah untuk pertumbuhan dan metabolisme serta penyusunan sel-selnya. Hasil pengukuran BOD (*Biological Oxygen Demand*) pada sistem *constructed wetland* menggunakan tanaman kayu apu disajikan dalam Gambar 5.



Keterangan: A = kontrol; B = limbah + kerikil + tanaman; C = limbah + pasir + tanaman; D = limbah + kerikil + pasir + tanaman; E = limbah + tanaman

Gambar 5. Penurunan BOD (*Biological Oxygen Demand*) pada sistem *constructed wetland* menggunakan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*)

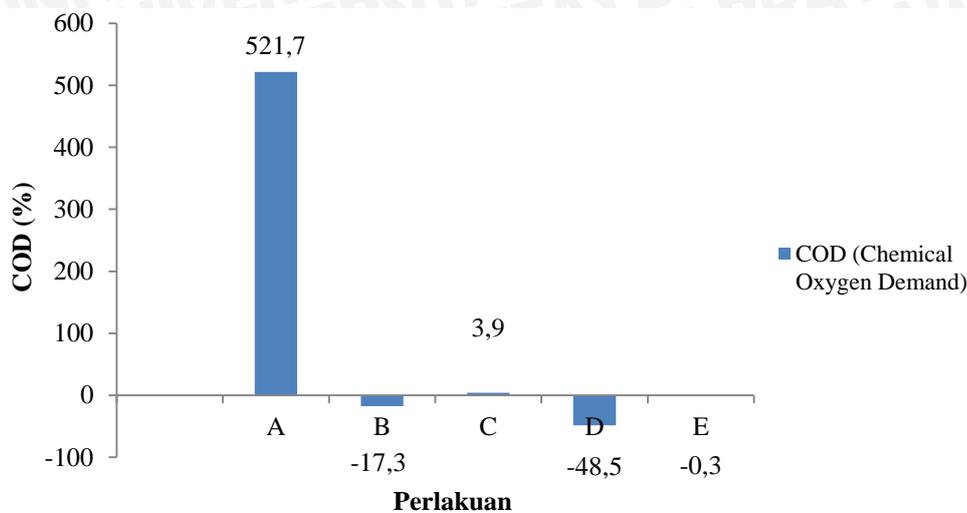
Gambar 5 menunjukkan bahwa masing-masing perlakuan mengalami penurunan, kecuali perlakuan kontrol (A) mengalami peningkatan kadar BOD sebesar 173,1 %. Penurunan tertinggi terdapat pada perlakuan D yaitu sebesar 76,6%, sedangkan perlakuan B, C dan E juga mengalami penurunan kadar BOD masing-masing 59,7%, 58,2% dan 55,6% (Lampiran 13a). Hal ini sesuai yang diungkapkan oleh Muhajir (2013) pada limbah cair tahu dengan sistem

*constructed wetland* mampu menurunkan kandungan BOD hingga 77,8% dalam waktu 20 hari menggunakan tanaman *Cattail*.

Pada perlakuan A mengalami kenaikan hal ini disebabkan oleh tidak adanya media yang dapat menyaring bahan organik maupun anorganik yang larut di dalam air. Sedangkan pada perlakuan D (kerikil+pasir) merupakan perlakuan yang mampu menurunkan BOD tertinggi. Penurunan BOD disebabkan oleh menurunnya kandungan bahan organik dalam air limbah. Kadar BOD menurun dipengaruhi oleh adanya tanaman maupun media filtrasi yaitu pasir dan juga kerikil yang dipergunakan. Seperti yang diungkapkan oleh Khiatuddin (2003) bahwa kerikil mampu menyerap polutan BOD 55-96 mg/L dan pasir mampu menyerap sebesar 96 mg/L. Selain itu, penurunan disebabkan oleh tanaman kayu apu mensuplai oksigen hasil dari fotosintesis ke dalam limbah dan menyerap hasil dekomposisi bahan organik (Fachrurozi *et al.*, 2010).

#### 4.3.3. COD

Kebutuhan oksigen secara kimiawi atau yang lebih dikenal dengan *Chemical Oxygen Demand* (COD) adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi seluruh bahan organik (yang terurai dan sukar terurai) secara kimia dengan menggunakan oksidator kuat. Pengaruh penggunaan sistem *constructed wetland* menggunakan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) mampu menurunkan kadar COD yang ada pada limbah cair karet. COD pada setiap perlakuan mengalami penurunan kecuali perlakuan A (kontrol). Kadar awal COD limbah cair karet adalah 116 mg/L, setelah menggunakan sistem *constructed wetland* mengalami penurunan kadar kecuali perlakuan kontrol (Lampiran 13b). Pada perlakuan A mengalami kenaikan sebesar 521,7%, hal ini diindikasikan bahwa pada perlakuan ini tidak adanyamedia yang berfungsi sebagai media penyaring (filter) serta melekatnya mikroorganisme yang mampu untuk mendegradasi bahan organik maupun anorganik. Perlakuan B,C dan E mengalami penurunan masing-masing 17,3%, 3,9% dan 0,3 % (Gambar 6). Hal ini didukung dengan penelitian dari Muhajir (2013) bahwa COD mampu turun sampai dengan 77,1% selama 20 hari dengan menggunakan tanaman *Cattail*.



Keterangan: A= kontrol; B= limbah + kerikil + tanaman; C= limbah + pasir + tanaman; D= limbah + kerikil + pasir + tanaman; E= limbah + tanaman

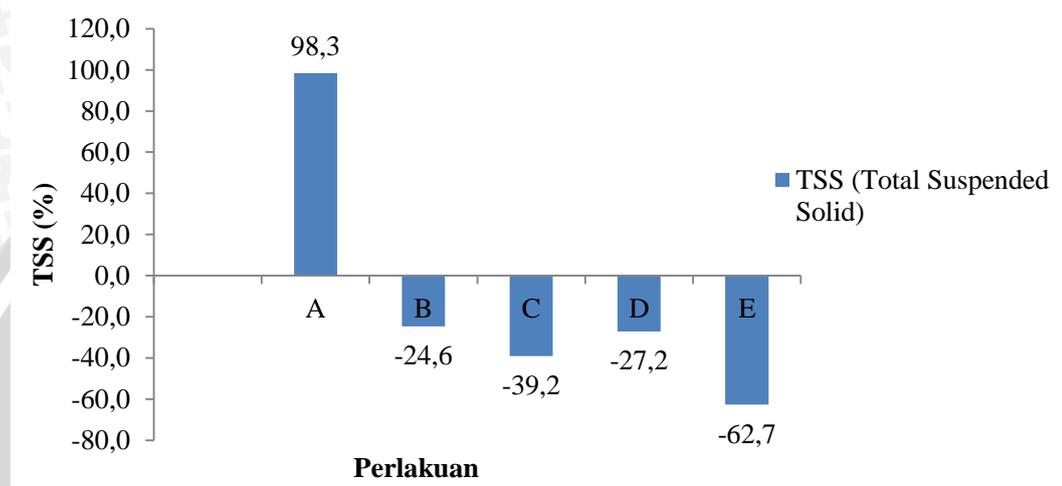
Gambar 6. Penurunan COD (*Chemical Oxygen Demand*) pada sistem *constructed wetland* menggunakan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*)

Penurunan tertinggi terdapat pada perlakuan D (kerikil+pasir) dengan kadar penurunan 48,5%, penurunan ini disebabkan adanya media kerikil yang dikombinasikan dengan pasir sebagai penyaring (filtrasi) sehingga limbah cair karet yang dihasilkan jernih. Kerikil memiliki kemampuan dalam menyerap kadar polutan hingga 55-96 mg/L dan pasir 96 mg/L (Khatuddin, 2003). Selain media kerikil+pasir, penurunan COD juga diindikasikan adanya pengaruh tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*). Hal ini didukung dengan pernyataan dari Fachrurozi *et al.* (2010) kayu Apu (*Pistia stratiotes*) dengan sistem *constructed wetland* mampu menurunkan kadar COD selama 20 hari hingga 97,96%. Penurunan COD ini disebabkan oleh bahan organik yang ada di dalam air akan didegradasi oleh mikroorganisme yang tumbuh dan menempel pada akar tanaman (Pinton, 2001). Semakin tinggi penurunan kadar COD pada limbah maka semakin baik, sehingga aman dibuang ke lingkungan. Kadar COD untuk limbah cair karet sudah sesuai dengan baku mutunya maka, tidak bermasalah jika dibuang ke lingkungan.

#### 4.3.4. TSS (*Total Suspended Solid*)

TSS merupakan salah satu parameter limbah cair karet apabila dalam jumlah yang banyak dapat menyebabkan pencemaran. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem *constructed wetland* menggunakan

tanaman kayu apu berpengaruh terhadap perubahan kadar TSS pada air limbah (Gambar 7). Pada hari terakhir dengan waktu 20 hari pada setiap perlakuan mengalami penurunan kecuali pada perlakuan kontrol. Penurunan kadar tertinggi pada perlakuan E sebesar 62,7%, sedangkan perlakuan B, C dan D juga mengalami penurunan masing-masing 24,6%, 39,2% dan 27,2%. Tetapi pada perlakuan A mengalami kenaikan sebesar 98,3% (Lampiran 13c).



Keterangan: A= kontrol; B= limbah + kerikil + tanaman; C= limbah + pasir + tanaman; D= limbah + kerikil + pasir + tanaman; E= limbah + tanaman

Gambar 7. Penurunan TSS (*Total Suspended Solid*) pada sistem *constructed wetland* menggunakan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*)

Pada perlakuan E mengalami penurunan TSS hingga 62,7% meskipun tidak menggunakan media yang memiliki peranan sebagai penyaring (*filter*) hal tersebut disebabkan oleh akar-akar tanaman kayu apu yang mampu menyerap zat yang tidak dapat terlarut dalam air dan berat tanaman kayu apu yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan lain maka akarnya juga lebih banyak.

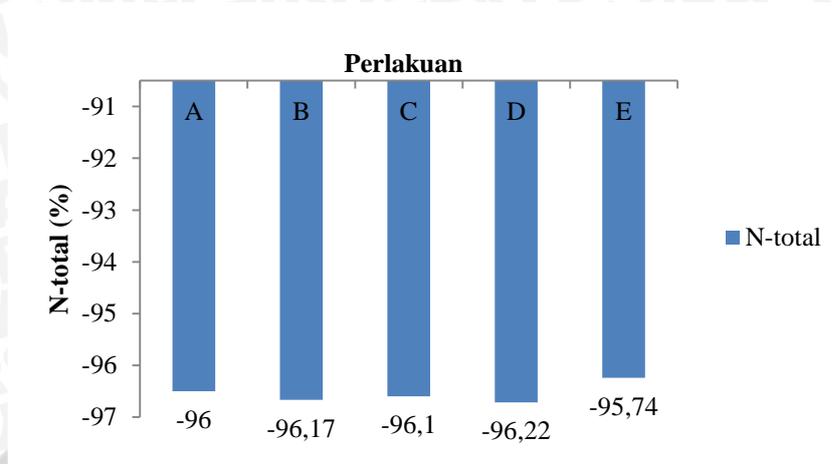
Penyebab utama adanya TSS adalah bahan anorganik yang umum dijumpai di perairan. Materi organik maupun anorganik yang tersuspensi mempunyai dampak buruk terhadap kualitas air, karena dapat mengurangi penetrasi sinar matahari ke dalam badan air, kekeruhan air meningkat yang menyebabkan gangguan pertumbuhan bagi organisme produsen (Huda, 2009). Perbedaan penurunan pada setiap perlakuan mungkin bisa saja dikarenakan adanya perbedaan berat tanaman sehingga memiliki perakaran yang banyak juga

di dalam bak reaktor. TSS yang turun disebabkan oleh tanaman kayu apu yang memiliki akar yang banyak dan lebih halus yang dapat menjadi tempat untuk menempelnya koloid yang melayang-layang di atas air. Semakin banyak akar serabut yang ada pada tanaman kayu apu maka semakin banyak koloid yang menempel pada akar-akar tanaman kayu apu (Fachrurozi *et al.*, 2010).

Penurunan kandungan TSS yang ada dalam air limbah juga dipengaruhi adanya media. Hal ini diindikasikan dengan adanya media maka akan terjadi proses penyaringan suspensi yang ada pada limbah cair karet. Secara mekanis pada saat air limbah itu melewati media yang ada maka terjadi penyaringan (filtasi) (Stowell *et al.*, 1980 dalam Abdulghani *et al.*, 2014). Selain itu, pengolahan menggunakan sistem lahan basah dengan aliran bawah permukaan tidak hanya terjadi proses biologis saja melainkan ada proses fisika yakni adanya filtrasi dan sedimentasi (Supradata, 2005).

#### 4.3.5. N-Total

N- total merupakan parameter yang terdapat di dalam baku mutu kualitas limbah cair karet. Limbah cair karet untuk parameter N-total belum memenuhi baku mutu. Pengolahan limbah cair karet dengan sistem *constructed wetland* menggunakan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) mampu menurunkan N-total dalam limbah cair karet. Danya perlakuan media limbah cair karet adalah menurunkan kadar N-total yang belum sesuai dengan kadar N-total. Kadar N-total menunjukkan penurunan pada masing-masing perlakuan. Penurunan tertinggi terdapat pada perlakuan D dengan media kerikil+pasir yaitu sebesar 96,22%, sedangkan penurunan terendah terdapat pada perlakuan A (kontrol) yaitu sebesar 96%.



Keterangan: A= kontrol; B= limbah + kerikil + tanaman; C= limbah + pasir + tanaman; D= limbah + kerikil + pasir + tanaman; E= limbah + tanaman

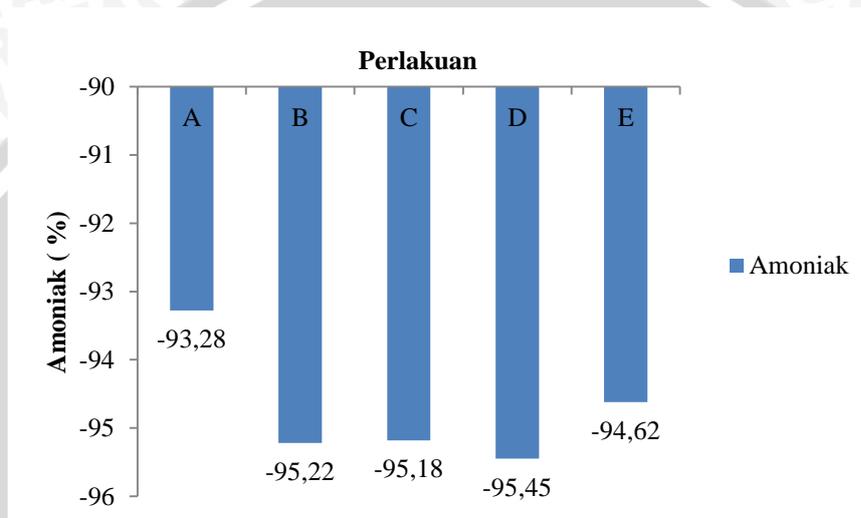
Gambar 8. Penurunan N-total pada sistem *constructed wetland* menggunakan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*)

Hal ini diindikasikan adanya pengaruh lingkungan yang memungkinkan adanya penurunan nitrogen. Pengaruh lingkungan diantaranya adalah adanya suhu, yaitu pada saat pengamatan kondisi lingkungan di dalam rumah kaca dalam kondisi panas sehingga menyebabkan evaporasi atau penguapan.

Nitrogen merupakan unsur utama dalam proses pembentukan asam amino dan selanjutnya akan membentuk senyawa kompleks protein yang dipergunakan untuk membangun struktur dari semua makhluk hidup termasuk tumbuhan (Khatuddin, 2003). Nitrogen yang terlarut di dalam air akan diikat oleh sejumlah bakteri yang mampu mengikat nitrogen dan juga sejumlah tanaman air. Penurunan nitrogen total yang terdapat di dalam sistem *constructed wetland* menggunakan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) tersebut dipengaruhi oleh adanya interaksi yang terjadi antara tanaman dengan limbah. Hal ini dikarenakan tanaman dapat menyerap nitrogen yang ada di dalam limbah dapat diserap secara langsung oleh tanaman melalui akar-akar tanaman kayu apu dalam bentuk amonium nitrat ( $\text{NH}_4^+$ ) yang sebelumnya adalah bentuk amoniak ( $\text{NH}_3$ ) dari proses amonifikasi (Marsidi, 2002). Faktor lain yang mempengaruhi penurunan adalah dari faktor lingkungan seperti pH, temperatur, salinitas, dan jenis tanaman (Faulwetter, 2009).

#### 4.3.6. Amoniak ( $\text{NH}_3$ )

Pengolahan limbah cair karet dengan sistem *constructed wetland* menggunakan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) mampu menurunkan amoniak ( $\text{NH}_3$ ). Pada Gambar 7 menunjukkan amoniak ( $\text{NH}_3$ ) yang menurun. Penurunan tertinggi pada perlakuan D yang memiliki tingkat presentase 95,45%. Sedangkan penurunan terendah adalah pada perlakuan A yaitu 93,28% (Lampiran 15).



Keterangan: A= kontrol; B= limbah + kerikil + tanaman; C= limbah + pasir + tanaman; D= limbah + kerikil + pasir + tanaman; E= limbah + tanaman

Gambar 9. Penurunan amoniak ( $\text{NH}_3$ ) pada sistem *constructed wetland* dengan tanaman kayu apu

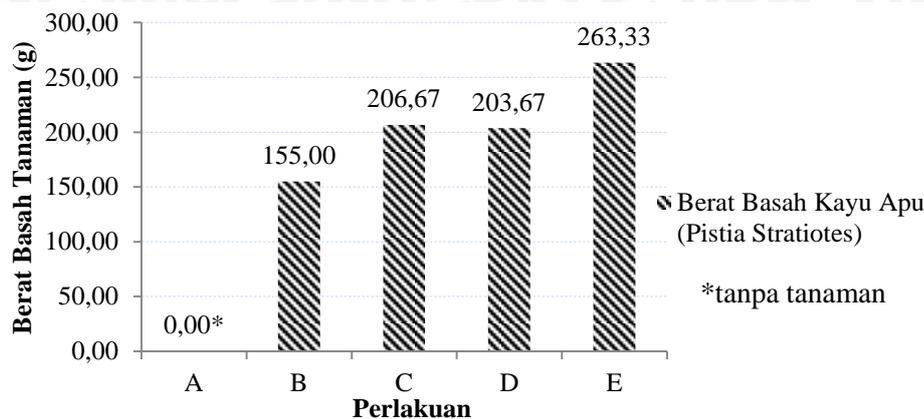
Penurunan kadar amoniak ( $\text{NH}_3$ ) pada perlakuan kontrol diindikasikan adanya penguapan meskipun mengalami penurunan namun, air limbah lebih keruh dan berwarna hijau serta menimbulkan bau yang tidak sedap dibandingkan air limbah dengan perlakuan menggunakan sistem *constructed wetland*. Hal ini didukung oleh pernyataan Sari *et al.* (2014) sistem *constructed wetland* dengan tanaman *Cyperus artemifolius* berperan sebagai media filtrasi dan asorban mampu menurunkan amoniak pada limbah industri minyak kayu putih.

Sistem *constructed wetland* dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu media dan tanaman. Penelitian ini menggunakan media kerikil dan pasir dikarenakan fungsinya dalam mengurangi kadar polutan yang tinggi, yaitu mencapai 98% (Khatuddin, 2003). Pada penelitian ini peranan dari media adalah sebagai tempat tumbuhnya tanaman media berkembangbiak bagi mikroorganisme,

membantu dalam proses sedimentasi, membantu proses penyerapan bau yang dihasilkan oleh limbah akibat adanya proses biodegradasi (Crites dan Tchobanoglous, 1998). Tanaman sendiri dimaksudkan untuk menyerap amoniak ( $\text{NH}_3$ ) yang ada di dalam limbah cair karet. Tanaman yang digunakan adalah tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) karena tanaman ini mempunyai perakaran yang cukup panjang hingga 80 cm (Ramey, 2001). Oleh karena itu, penggunaan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) ini dimaksudkan sebagai tempat untuk pelekatan mikroorganisme dan menyediakan oksigen melalui akar-akar tanaman (*rhizosfer*) sehingga mendukung tumbuhnya bakteri aerob (Wood, 1995 dalam Tangahu dan Warmadewanthi, 2001). Adanya bakteri aerob inilah yang nantinya akan menguraikan amoniak ( $\text{NH}_3$ ) menjadi amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) melalui proses amonifikasi yang kemudian akan diasimilasikan oleh tanaman menjadi beberapa bentuk senyawa organik sebagai bahan dasar untuk proses pertumbuhan, kadar amoniak yang awalnya tinggi menjadi lebih rendah dengan penurunan yang signifikan (Singleton, 1995).

#### 4.4. Berat Basah Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)

Berat tanaman merupakan salah satu indikator yang sering digunakan dalam menggambarkan pertumbuhan tanaman. Pada akhir pengamatan dilakukan penimbangan tanaman kayu apu untuk mengetahui berat akhir setelah dilakukan perlakuan selama 20 hari. Tanaman kayu apu rata-rata mengalami penambahan berat basah tanaman dari berat awal. Kenaikan berat basah ini mengindikasikan bahwa di dalam limbah karet mengandung unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman dalam pertumbuhannya. dapat dilihat adanya kenaikan pada setiap perlakuan. Pada perlakuan E mengalami kenaikan tertinggi yakni 263,33 g dibandingkan dengan perlakuan B, C dan D. Rerata berat masing-masing adalah 155 g, 206,67 g dan 203,67 g, jika dipersentasekan penambahan berat tanaman secara berurutan masing-masing adalah 19%, 25%, 25% dan 32% (Gambar 10).



**Keterangan:** A = kontrol; B = limbah + kerikil + tanaman; C = limbah + pasir + tanaman; D = limbah + kerikil + pasir + tanaman; E = limbah + tanaman

Gambar 10. Berat Basah Tanaman

Gambar 10 menunjukkan kenaikan berat basah terendah pada perlakuan B, sedangkan kenaikan berat basah tertinggi terdapat pada perlakuan E, hal ini diindikasikan tanaman mendapatkan banyak nutrisi karena akarnya yang panjang dan kemampuan dalam menyerap bahan organik penyebab tingginya BOD, COD ataupun TSS pada limbah cair karet. Tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) merupakan salah satu tanaman yang memiliki kemampuan dalam menyerap bahan yang berbahaya, seperti limbah karet ini. Menurut Fachrurozi *et al.* (2010) kayu apu mampu menurunkan kadar BOD (92,70%), COD (96,05%) dan TSS (84,64%) pada limbah cair tahu Kayu apu (*Pistia stratiotes*) pada akhir pengamatan mengalami peningkatan berat. Peningkatan berat basah tanaman dipengaruhi adanya akar-akar tanaman yang mampu menyerap bahan organik karena mengandung nutrisi dan disimpan dalam jaringan vaskular untuk proses metabolisme dan perbanyakan sel (Indah *et al.*, 2004). Selain itu, berat basah tanaman juga dipengaruhi oleh jumlah air limbah yang ada, jika kondisi air terbatas maka akan mempengaruhi fotosintesis tanaman.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian ini sebagai berikut:

1. Waktu inkubasi 5 hari sesuai untuk menurunkan amoniak ( $\text{NH}_3$ ) dan N-total, sedangkan waktu inkubasi 20 hari mampu menurunkan BOD, COD dan TSS serta pH limbah cair karet dalam kondisi agak asam ataupun basa sehingga meningkatkan kualitas limbah cair karet.
2. Penggunaan sistem *constructed wetland* menggunakan media kerikil+pasir (perlakuan D) efektif dalam meningkatkan kualitas limbah cair karet melalui penurunan kadar BOD (76,7%), COD (48,5%), N-total (96,22%) serta amoniak (95,45%) dan tanaman kayu apu (perlakuan E) mampu menurunkan kadar TSS (62,7%) serta meningkatkan berat basah tanaman sampai dengan 39%.

### 5.2. Saran

Pada penelitian selanjutnya perlu ditambahkan parameter pengamatan serapan N pada tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*), serta perlu dilakukan pengembangan penelitian terkait potensi limbah cair karet sebagai bahan pupuk.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdulghani, H., M. Izzati dan Sudarno, 2014. Kemampuan Tumbuhan *Typha Angustifolia* Dalam Sistem Subsurface Flow Constructed Wetland Untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Kerupuk (Studi Kasus Limbah Cair Sentra Industri Kerupuk Desa Kenanga Kecamatan Sindang Kabupaten Indramayu Jawa Barat. *BIOMA*, 16 (1) :90-101.
- Amansyah, M., A. Daud., dan N.B. Noer. 2012. Studi Kemampuan Tanaman Jerangu (*Acorus calanus*) dalam Menurunkan Amoniak (NH<sub>3</sub>) dalam Air Limbah Rumah Sakit. *Kesehatan Masyarakat*. 4 (2): 28-36.
- Badan Pusat Statistika. 2015. Produksi Tanaman Perkebunan Indonesia. (Online). <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/839>. Diakses pada 28 Januari 2017.
- Crites, R and Tchobanoglaus. 1998. Smaal and Decentralized Wastewater Management Systems : Wetlands and Aquatic Treatment Systems. Mc Graw Hill. Singapore.
- Dephut, 2015. Dasar-Dasar Teknologi Pengolahan Limbah Cair. [Online] Available at: [http://www.dephut.go.id/Informasi/Setjen/Pusstan/info\\_5\\_1\\_0604/isi\\_5.htm](http://www.dephut.go.id/Informasi/Setjen/Pusstan/info_5_1_0604/isi_5.htm) [Diakses 30 Januari 2016].
- Efendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air Bagi Penelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan. Yogyakarta : Kanisius.
- Fachrurozi, M., L.B. Utami., dan D. Suryani. 2010. Pengaruh Variasi Biomassa *Pistia strtiotes* L. Terhadap Penurunan Kadar BOD, COD dan TSS Limbah Cair Tahu di Dusun Kleno Sleman Yogyakarta. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*. 4 (1) : 1-75.
- Faulwetter, J.L., Gagnon, V., Sumberg, C. 2009. Microbial Processes Influencing Performance of Treatment Wetlands: A review. *Ecological Engineering*. 35 : 987-1004.
- Frasawi, A., R. Robert., dan W. Julian. 2013. Potensi Budidaya Ikan di Waduk Embung Klamalu Kabupaten Sorong Provinsi Papua Barat. *Kajian Kualitas Fisika Kimia Air. Jurnal Budidaya Perairan*. 1 (3) : 24-30.
- Ginting, P. 2007. Sistem Pengelolaan Lingkungan dan Limbah Industri. Bandung : Yrama Widya..
- Herlambang, A. 2006. Pencemaran Air dan Strategi Penanggulangannya. *JAI*. 2 (1) : 16-29.

- Hernayanti dan E. Proklamasiningsih. 2004. Fitoremediasi Limbah Cair Batik Menggunakan Kayu apu (*Pistia statiotes L.*) Sebagai Upaya Memperbaiki Kualitas Air. *Pembangunan Perdesaan*, 4 (3).
- Hidayati, N., S. Fauzia., dan T. Juhaeti. 2009. Pemanfaatan *Salvinia molesta* D.S. Mitchell, Akumulator Merkuri di Sawah Tercemar Limbah Penambangan Emas. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 10 (3) : 249-256.
- Huda, T., 2009. Hubungan Antara Total Suspended Solid Dengan Turbidity Dan Dissolved Oxygen. [Online] Available at: <http://thorik.staff.uui.ac.id/2009/08/23/hubungan-antara-total-suspendedsolid-> [Diakses 29 Agustus 2016].
- Indah, L.S., B. Hendrarto., dan P. Soedarsono. 2014. Kemampuan Eceng Gondok (*Eichhornia sp.*), Kangkung Air (*Ipomea sp.*), dan Kayu Apu (*Pistia sp.*) Dalam Menurunkan Bahan Organik Limbah Industri Tahu (Skala Laboratorium). *Diponegoro Journal of Maquares*. 3 (1) : 1-6.
- Khiatuddin, M., 2003. Melestarikan Sumber Daya Air Dengan Teknologi Buatan. Yogyakarta: Gadjah Mada Press.
- Lee, C.G., T.D. Fletcher., dan G. Sun. 2009. Nitrogen Removal in Constructed Wetland Systems. *Engineering in Life Sciences*. 9 (1) : 11-22.
- Liehr, S.K. 2000. Constructed Wetlands Treatment of High Nitrogen Landfill Leachte. Water Environment Research Foundation. Alexandria. Virginia.
- Krismawati, R., dan R. Ahdia. 2013. Pengolahan Efluen Pond Fakultatif Anaerobik IPAL Industri Kelapa Sawit Secara Fakultatif Anaerobik-Fitoremediasi Sebagai Pre-Treatment Media Tumbuh Algae. *Teknologi Kimia dan Industri*. 2 (2) : 286-294.
- Marsidi, R dan A. Herlambang. 2002. Proses Nitrifikasi dengan Sistem Biofilter Untuk Pengolahan Air Limbah yang Mengandung Amoniak Konsentrasi Tinggi. *Teknologi Lingkungan*. 3 (3):195-209.
- Michael, H. G., 2002. Nitrication and Denitrification In The Activated Sludge Process. John Willey and Son. Inc United States, p. 191.
- Muhajir, M.S. 2013. Penurunan Limbah Cair BOD dan COD Pada Industri Tahu Menggunakan Tanaman Cattail (*Typha angustifolia*) Dengan Sistem Constructed Wetland. Skripsi. Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.
- Mustaniroh, S. A., Wignyanto, dan B. Endi. 2009. Efektifitas Penurunan Bahan Organik dan Anorganik Limbah Cair Penyamakan Kulit menggunakan Tanaman Kayu Apu Sebagai Biofilter. *Teknologi Pertanian*. 10 (1) : 1-12.
- Nancy , M. 2008. Nitrogen: The Essential Element. <http://pmep.cce.cornell.edu>. Diakses Pada 2 November 2016.

- Oktareza, A.N. 2015. Penurunan Kadar BOD dan COD Limbah Cair Rumah Pemotongan Hewan dengan Sistem Constructed Wetland. Skripsi. Teknik Lingkungan. Universitas Brawijaya.
- Peraturan Gubernur Jawa Timur. 2013. Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Dan/Atau Kegiatan Usaha Lainnya. Nomor 72. Gubernur Jawa Timur.
- Pinton. 2001. The Rhizosphere Biochemistry and Organik Substances at The Soil-Plant Interface. New York : Marcel Dekker, Inc.
- Popo, A., M.S. Mahendra., dan I. K. Sundra. 2008. Studi Kualitas Perairan Pantai di Kawasan Industri Perikanan, Desa Pengambengan, Kecamatan Negara, Kabupaten Jembrana. ECHOTROPIC. 3 (2) : 98-103.
- Prayitno dan M. Sholeh. 2014. Pengurangan Nitrogen Pada Limbah Cair Terolah Indudtri Penyamakan Kulit Menggunakan Sistem Wetland Buatan. Majalah Kulit, Karet, dan Plastik. 30 (2) : 79-88.
- Ramey, V., 2001. Water Lettuce. *Florida*, 5 (8): 4-17.
- Sari, P., Sudarsono., dan I. Wisnu. 2014. Pengaruh Jumlah Tanaman *Cyperus Alternifolius* dan Waktu Tinggal Limbah dalam Penyisihan Kadar Amoniak, Nitri, dan Nitrat. Teknik Lingkungan. Universitas Diponegoro.
- Situmorang, M., 2007. Kimia Lingkungan. Medan: FMIPA-UNIMED.
- Stowell, R.L., J. Colt., dan G. Tchnobanogbalus. 1980. Toward The Rational Design of Aquatic Treatment System. Dep. Of Civil Eng. University of California.
- Supradata. 2005. Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Tanaman Hias *Cyperus altermifolius*, L. dalam Sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (SSF-Wetlans). Thesis. Ilmu Lingkungan. UNDIP. Semarang.
- Suprihatin, H., 2014. Penurunan Konsentrasi BOD Limbah Domestik Menggunakan Sistem. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, 1: (80-87).
- Sugiharto. 2008. Dasar-Dasar Pengolahan Limbah. Jakarta: Universitas Indonesia
- Suriawiria, U., 1993. Mikrobiologi Air. Bandung: Alurni.
- Sutedjo. 2002. Pupuk dan Cara pemupukan. Jakarta : Rineka Cipta.
- Tangahu, B.V . dan I.D.A.A.Warmadewanthi. 2001. Pengolahan Limbah Rumah Tangga Dengan Memanfaatkan Tanaman Cattail (*Typha angustifolia*) dalam Sistem Constructed Wetland. Jurnal Purifikasi. ITS-Surabaya. 2 (3).
- Tjitrosoepomo, G., 2007. Morfologi Tumbuhan. Yogyakarta: UGM PRESS.

Wirawan, W. A., R. Wirosedarmo., dan L.D. Susanawati. 2014. Pengolahan Limbah Cair Domestik Menggunakan Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) Dengan Teknik Tanam Hidroponik Sistem DFT (DeepFlowTechnique). Universitas Brwajaya-Malang. Sumberdaya Alam dan Lingkungan. 63-70.

Wood, A. 1995. Construted Wetland in Polution Control : Fundamentals to Their Understanding. *Wet Sci Tech.* 32 (3) : 21-29.

Yuni, I., W. Lestari., dan Yelmida, 2014. Kajian Efektifitas Kayu Apu (*Pistia stratoites*) Dalam Mereduksikan N-Total Sebagai Perbaikan Kualitas Limbah Cair Industri Tahu. *JOM FMIPA*, 1(2) : 283-290.

Yuningsih, H.D., P. Soedarsono., dan S. Anggoro. 2014. Hubungan Bahan Organik Dengan Produktivitas Perairan Pada Kawasan Tutupan Eceng Gondok, Perairan Terbuka dan Keramba Jaring Apung Di Rawa Pening, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah. *UNDIP Jurnal Maquares.* 3 (1) : 37-43.

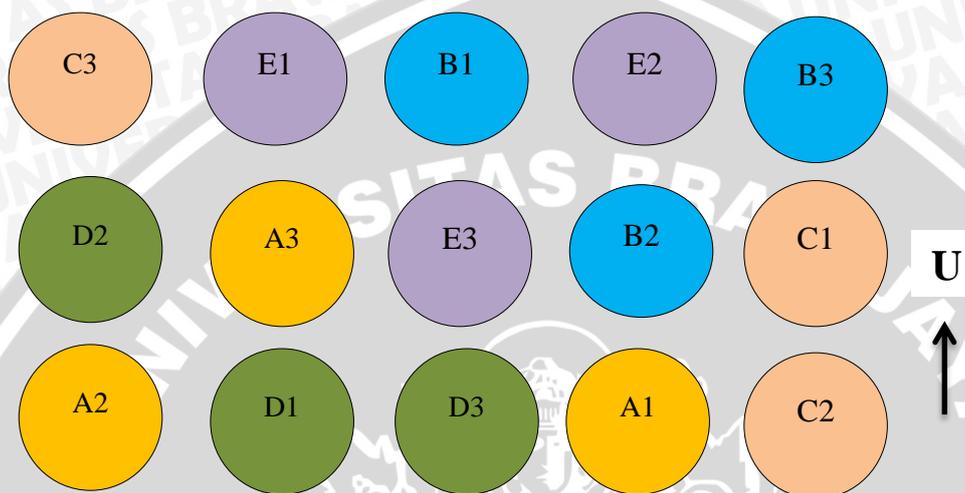
Zaman, B dan E. Sutrisno. 2006. Kemampuan Penyerapan Eceng Gondok Terhadap Amoniakk Dalam Limbah Rumah Sakit Berdasarkan Umur dan Lama Kontak (Studi Kasus: RS Panti Wilasa Semarang). *Presipitasi.* 1 (1).



## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Denah Percobaan

Pembuatan denah untuk rancangan didasarkan pada 1000 angka teracak. Berikut merupakan denah rancangan percobaan untuk penelitian



Keterangan :

A = Kontrol

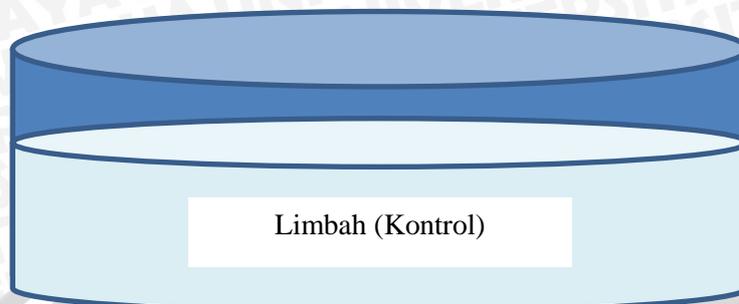
B = Limbah + Kerikil + Tanaman (KT)

C = Limbah + Pasir + Tanaman (PT.)

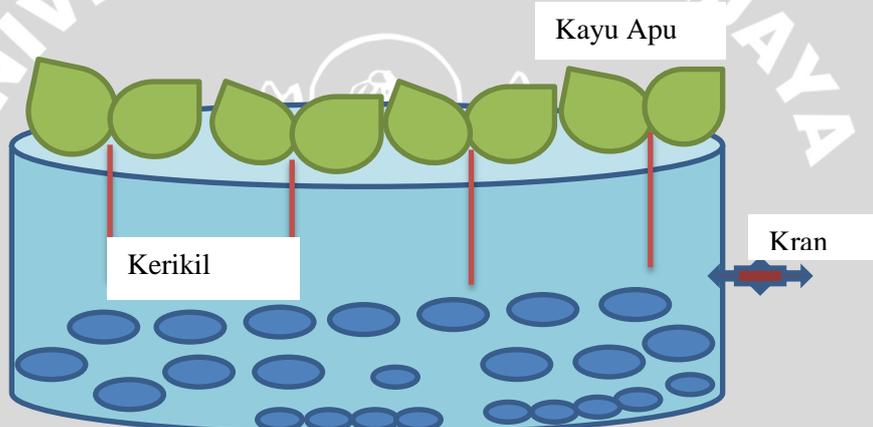
D = Limbah + Kerikil + Pasir + Tanaman (KPT.)

E = Limbah + Tanaman (LT)

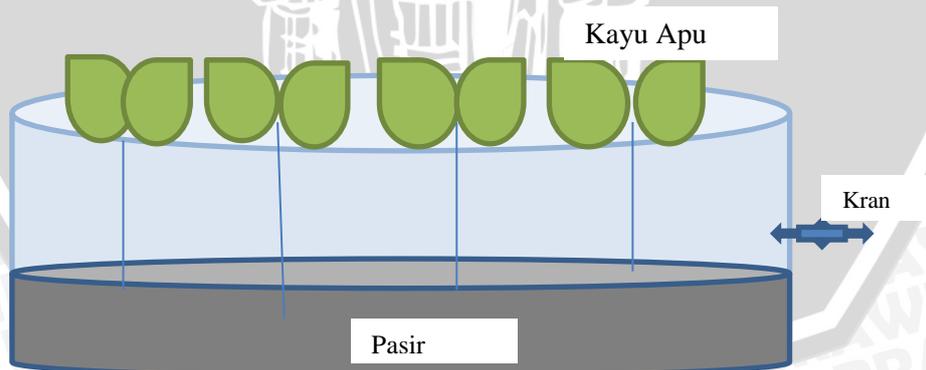
Lampiran 2. Ilustrasi Bak Reaktor



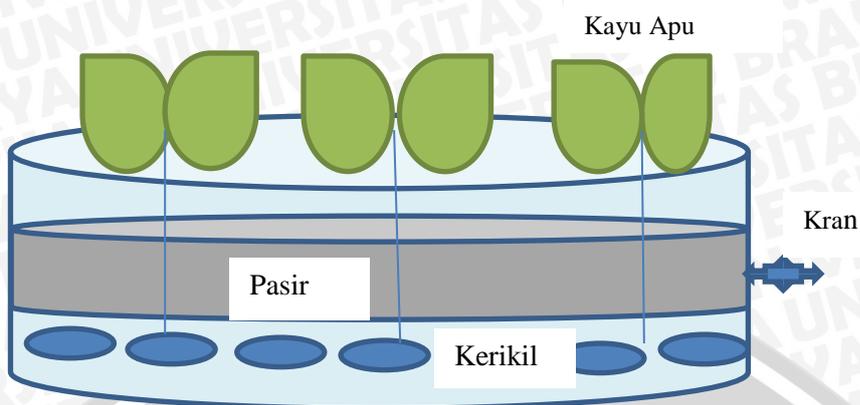
Gambar 1. Limbah (Kontrol)



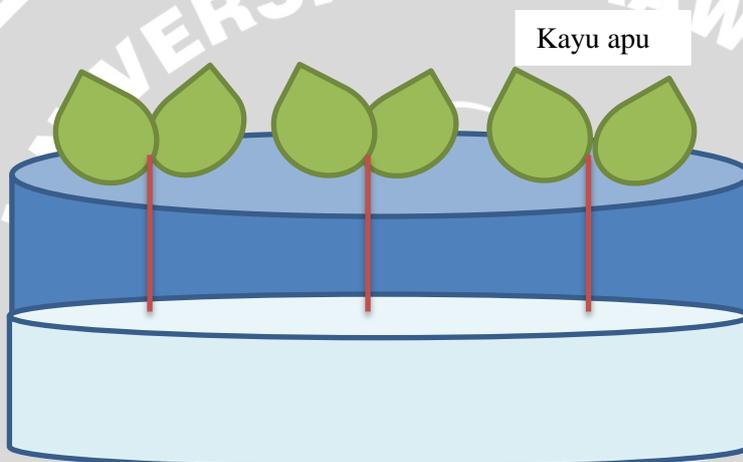
Gambar 2. Kerikil dengan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)



Gambar 3. Pasir dengan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)



Gambar 4. Pasir, Kerikil dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)



Gambar 5. Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)

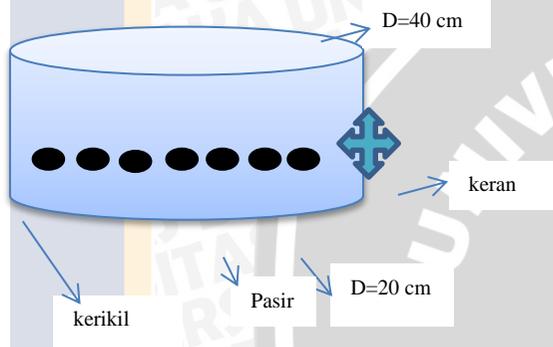
Keterangan:

Diameter bak atas = 40 cm

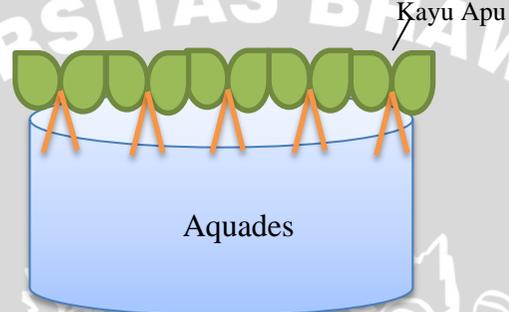
Diameter bak bawah = 20 cm

### Lampiran 3. Alur Pelaksanaan Kegiatan

#### 1. Pembuatan Bak Reaktor



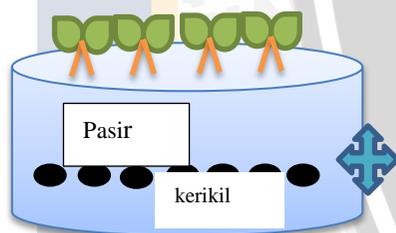
#### 2. Aklimatisasi Tanaman (7-10 hari)



#### 3. Pengambilan Sampel Limbah



#### 4. Pengoprasian Bak Reaktor



Pengolahan limbah cair karet dengan menggunakan Bak Reaktor (Tanaman Kayu Apu 100 g yang sudah dilakukan aklimatisasi+ Pasir + Kerikil)

#### 5. Pengujian Sampel



Pengambilan sampel limbah dilakukan pada hari ke 5,10,15 dan 20 hari. Masing-masing diambil sebanyak 300 ml dengan menggunakan botol ukuran 600 ml. Selanjutnya dilakukan pengukuran pada setiap variabel di laboratorium untuk mengetahui hasil pada setiap perlakuan.

#### 6. Penimbangan BB Tanaman

Penimbangan berat basah tanaman dilakukan pada saat sebelum dan sesudah dari perlakuan, sedangkan penimbangan dari berat kering tanaman dilakukan pada saat akhir waktu perlakuan.

**Lampiran 4. Hasil Pengukuran Amoniak (NH<sub>3</sub>)**

Perlakuan	Pengamatan Hari Ke-	Ulangan				Rata-rata	Satuan
		1	2	3	Total		
A (Kontrol)	5	1,532	1,699	1,460	4,692	1,564	mg/L
	10	1,187	1,377	1,286	3,850	1,283	mg/L
	15	1,422	1,454	1,242	4,117	1,372	mg/L
	20	1,512	1,532	1,410	4,453	1,484	mg/L
B (Limbah+Kerikil+Kayu Apu)	5	1,103	1,110	1,107	3,320	1,107	mg/L
	10	1,033	1,011	1,044	3,087	1,029	mg/L
	15	1,149	1,066	1,000	3,215	1,072	mg/L
	20	1,016	1,097	1,057	3,171	1,057	mg/L
C (Limbah+Pasir+Kayu Apu)	5	1,431	1,448	1,424	4,304	1,435	mg/L
	10	1,198	1,032	1,037	3,267	1,089	mg/L
	15	1,103	1,178	1,141	3,421	1,140	mg/L
	20	1,149	1,000	1,046	3,196	1,065	mg/L
D (Limbah+Krikil Pasir+Kayu Apu)	5	1,245	1,241	1,243	3,728	1,243	mg/L
	10	1,111	1,000	1,062	3,172	1,057	mg/L
	15	1,000	1,008	1,004	3,013	1,004	mg/L
	20	1,000	1,009	1,005	3,014	1,005	mg/L
E (Limbah+Kayu Apu)	5	1,129	1,158	1,103	3,390	1,130	mg/L
	10	1,028	1,076	1,052	3,155	1,052	mg/L
	15	1,084	1,001	1,001	3,086	1,029	mg/L
	20	1,000	1,027	1,112	3,139	1,046	mg/L

**Lampiran 5. Hasil Analisis N-Total**

Perlakuan	Pengamatan Hari Ke-	Ulangan			Total	Rata-rata	Satuan
		1	2	3			
A (Kontrol)	5	1,259	1,557	1,416	4,232	1,411	mg/L
	10	1,196	1,197	1,197	3,590	1,197	mg/L
	15	1,214	1,226	1,220	3,659	1,220	mg/L
	20	1,184	1,126	1,155	3,465	1,155	mg/L
B (Limbah+Kerikil+Kayu Apu)	5	1,133	1,136	1,134	3,403	1,134	mg/L
	10	1,068	1,076	1,072	3,217	1,072	mg/L
	15	1,070	1,087	1,078	3,235	1,078	mg/L
	20	1,081	1,131	1,106	3,318	1,106	mg/L
C (Limbah+Pasir+Kayu Apu)	5	1,198	1,256	1,228	3,682	1,227	mg/L
	10	1,049	1,058	1,054	3,162	1,054	mg/L
	15	1,177	1,194	1,186	3,557	1,186	mg/L
	20	1,116	1,137	1,126	3,379	1,126	mg/L
D (Limbah+Krikil Pasir+Kayu Apu)	5	1,173	1,197	1,185	3,555	1,185	mg/L
	10	1,054	1,055	1,055	3,163	1,054	mg/L
	15	1,301	1,092	1,201	3,594	1,198	mg/L
	20	1,124	1,062	1,094	3,280	1,093	mg/L
E (Limbah+Kayu Apu)	5	1,125	1,102	1,114	3,340	1,113	mg/L
	10	1,085	1,098	1,092	3,275	1,092	mg/L
	15	1,161	1,195	1,178	3,534	1,178	mg/L
	20	1,240	1,220	1,230	3,690	1,230	mg/L

**Lampiran 6. Hasil Analisis pH**

Perlakuan	Pengamatan Hari Ke-	Ulangan			Total	Rata-rata	Satuan
		I	II	II			
A (Kontrol)	5	6,2	6,7	6,5	19,4	6,5	mg/L
	10	6,3	7,1	6,7	20,1	6,7	mg/L
	15	7,2	8,1	7,7	23,0	7,7	mg/L
	20	7,7	7,5	7,6	22,8	7,6	mg/L
B (Limbah+Kerikil+Kayu Apu)	5	6,4	6,5	6,5	19,4	6,5	mg/L
	10	5,5	6,0	5,8	17,3	5,8	mg/L
	15	6,5	6,6	6,6	19,7	6,6	mg/L
	20	6,5	6,3	6,4	19,2	6,4	mg/L
C (Limbah+Pasir+Kayu Apu)	5	6,6	6,7	6,7	20,0	6,7	mg/L
	10	6,6	6,7	6,7	20,0	6,7	mg/L
	15	7,1	7,1	7,1	21,3	7,1	mg/L
	20	7,2	7,4	7,3	21,9	7,3	mg/L
D (Limbah+Krikil Pasir+Kayu Apu)	5	6,6	6,7	6,7	20,0	6,7	mg/L
	10	6,5	6,8	6,7	20,0	6,7	mg/L
	15	7,2	7,3	7,3	21,8	7,3	mg/L
	20	7,0	7,3	7,2	21,5	7,2	mg/L
E (Limbah+Kayu Apu)	5	6,6	6,6	6,6	19,8	6,6	mg/L
	10	6,5	6,6	6,6	19,7	6,6	mg/L
	15	5,5	6,8	6,2	18,5	6,2	mg/L
	20	4,4	6,3	5,4	16,1	5,4	mg/L

**Lampiran 7. Hasil Analisis Baku Mutu Kualiatas Limbah Cair Karet**

No	Parameter	Satuan	Hasil																		Standar Baku Mutu
			H-20																		
			H-0	Kontrol (A)			Limbah+Kerikil+Tanaman (B)			Limbah+Pasir+Tanaman (C)			Limbah+Kerikil+Pasir+Tanaman (D)			Limbah+Tanaman (E)					
			Ulangan																		
			I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III				
1	pH	-	6,5	7,7	7,5	7,6	6,5	6,3	6,4	7,2	7,4	7,3	7,0	7,3	7,2	<b>4,4</b>	6,3	<b>5,4</b>	6,0 - 9,0		
2	BOD	mg/L	68,7	157,9	217,2	187,6	25,2	30,2	27,7	26,9	30,4	28,7	13,6	18,4	16,0	25,8	35,2	30,5	100		
3	COD	mg/L	116,0	548,9	893,5	721,2	78,5	113,3	95,9	89,9	151,1	120,5	54,0	65,4	59,7	104,8	126,6	115,7	200		
4	TSS	mg/L	54,4	51,4	164,4	107,9	21,7	60,2	41,0	38,6	27,5	33,1	69,0	10,2	39,6	9,5	31,1	20,3	100		
5	Ammoniak	mg/L	<b>22,1</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,2	10		
6	Nitrogen	mg/L	<b>28,9</b>	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,1	0,2	0,5	0,5	0,5	25		

**Lampiran 8. Anova pH Selama 20 Hari Pengamatan****Lampiran 8a. Anova pH Hari Ke-5**

SK	JK	db	KT	F.Hit	F.Tab (5%)
Perlakuan	0,12	4	0,03	2,09 tn	3,48
Galat	0,15	10	0,01		
Total	0,27	14	0,01		

Keterangan : (tn) tidak nyata

**Lampiran 8b. Anova pH Hari Ke-10**

SK	JK	db	KT	F.Hit	F.Tab (5%)
Perlakuan	1,90	4	0,48	9,38*	3,48
Galat	0,51	10	0,05		
Total	2,41	14	0,17		

Keterangan : (\*) uji lanjut

**Lampiran 8c. Anova pH Hari Ke-1**

SK	JK	db	KT	F.Hit	F.Tab (5%)
Perlakuan	4,19	4	1,05	8,27*	3,48
Galat	1,27	10	0,13		
Total	5,46	14	0,39		

Keterangan : (\*) uji lanjut

**Lampiran 8d. Anova pH Hari Ke-20**

SK	JK	db	KT	F.Hit	F.Tab (5%)
Perlakuan	9,71	4	2,43	12,67*	3,48
Galat	1,91	10	0,19		
Total	11,61	14	0,83		

Keterangan : (\*) uji lanjut

**Lampiran 9. Anova BOD, COD, TSS dan BB Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)****Lampiran 9a. Anova BOD Setelah 20 Hari Pengamatan**

SK	JK	db	KT	F.Hit	F. Tab (5%)
Perlakuan	63258,80	4	15814,7	86,30*	3,48
Galat	1832,57	10	183,26		
Total	65091,38	14	4649,39		

Keterangan : (\*) uji lanjut

**Lampiran 9b. Anova COD Setelah 20 Hari Pengamatan**

SK	JK	Db	KT	F. Hit	F. Tab (5%)
Perlakuan	9x10 <sup>5</sup>	4	234782,5	37,78*	3,48
Galat	62155	10	6215,54		
Total	1x10 <sup>6</sup>	14	71520,38		

Keterangan : (\*) uji lanjut

## Lampiran 9c. Anova TSS Setelah 20 Hari Pengamatan

SK	JK	db	KT	F. Hit	F. Tab (5%)
Perlakuan	14092,98	4	3523,25	3,85*	3,48
Galat	9149,23	10	914,92		
Total	23242,21	14	1660,16		

Keterangan : (\*) uji lanjut

## Lampiran 9d. Anova BB Setelah 20 Hari Pengamatan

SK	JK	db	KT	F.Hit	F. Tab (5%)
Perlakuan	120668,93	4	30167,23	3,41 tn	3,48
Galat	88344	10	8834,4		
Total	209012,93	14	14929,5		

Keterangan : (tn) tidak nyata

## Lampiran 10. Rata-rata BOD, COD dan TSS Setelah 20 Hari Pengamatan

Perlakuan	BOD	COD	TSS
A	187,6 b	721,2 b	107,9 b
B	27,7 a	95,9 a	41,0 a
C	28,7 a	120,5 a	33,1 a
D	16,0 a	59,7 a	39,6 a
E	30,5 a	115,7 a	20,3 a

Keterangan: A=kontrol; B=limbah+kerikil+tanaman; C=limbah+pasir+tanaman; D=limbah+kerikil+pasir+tanaman; E=limbah+tanaman

Angka yang bernotasi sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata menurut BNT pada taraf 5%

## Lampiran 11. Anova N-Total (Nitrogen Total) Selama 20 Hari Pengamatan

## Lampiran 11a. Anova N-Total (Nitrogen Total) Hari Ke-5

SK	JK	db	KT	F Hit.	F Tab (5%)
Perlakuan	0,17	4	0,04	9,05*	3,48
Galat	0,05	10	0,00		
Total	0,22	14	0,06		

Keterangan: (\*) uji lanjut

## Lampiran 11b. Anova N-Total (Nitrogen Total) Hari Ke-10

SK	JK	db	KT	F Hit.	F Tab (5%)
Perlakuan	0,04	4	0,01	658,19*	3,48
Galat	0,00	10	1,62x10 <sup>-5</sup>		
Total	0,04	14	0,00		

Keterangan : (\*) uji lanjut

Lampiran 11c. Anova N-Total (Nitrogen Total) Hari Ke-15

SK	JK	db	KT	F Hit.	F Tab (5%)
Perlakuan	0,04	4	0,00	3,96*	3,48
Galat	0,02	10	0,00		
Total	0,06	14	0,00		

Keterangan: (\*) uji lanjut

Lampiran 12d. Anova N-Total (Nitrogen Total) Hari Ke-20

SK	JK	db	KT	F Hit.	F Tab (5%)
Perlakuan	0,04	4	0,00	16,89*	3,48
Galat	0,00	10	0,00		
Total	0,04	14	0,00		

Keterangan : (\*) uji lanjut

Lampiran 12. Anova Amoniak (NH<sub>3</sub>) Selama 20 Hari Pengamatan

Lampiran 12a. Anova NH<sub>3</sub> Hari Ke-5

SK	JK	db	KT	F Hit	F Tab (5%)
Perlakuan	0,47	4	0,12	37,09*	3,48
Galat	0,03	10	0,00		
Total	0,50	14	0,04		

Keterangan : (\*) uji lanjut

Lampiran 12b. Anova NH<sub>3</sub> Hari Ke-10

SK	JK	db	KT	F Hit	F Tab (5%)
Perlakuan	0,13	4	0,03	7,37*	3,48
Galat	0,04	10	0,00		
Total	0,17	14	0,01		

Keterangan : (\*) uji lanjut

Lampiran 12c. Anova NH<sub>3</sub> Hari Ke-15

SK	JK	db	KT	F. Hit	F Tab (5%)
Perlakuan	0,26	4	0,07	14,84*	3,48
Galat	0,04	10	0,00		
Total	0,31	14	0,02		

Keterangan : (\*) uji lanjut

Lampiran 12d. Anova NH<sub>3</sub> Hari Ke-20

SK	JK	db	KT	F Hit	F Tab (5%)
Perlakuan	0,45	4	0,11	27,82*	3,48
Galat	0,04	10	0,00		
Total	0,49	14	0,03		

Keterangan : (\*) uji lanjut

**Lampiran 13. Rerata Efisiensi Penurunan Kadar BOD, COD dan TSS Sebelum dan Sesudah Selama 20 Hari Perlakuan**

Lampiran 13a. Rerata Efisiensi Penurunan Kadar BOD Sebelum dan Sesudah Selama 20 Hari Perlakuan

Perlakuan	Kadar BOD (mg/L)		Penurunan Kadar BOD (mg/L)	Persentase Penurunan (%)
	Sebelum	Sesudah		
A		187,6	-118,9	-173,1*
B		27,7	41,0	59,7
C	68,7	28,7	40,0	58,2
D		16,0	52,7	76,7
E		30,5	38,2	55,6

Keterangan: (\*)mengalami kenaikan BOD

Lampiran 13b. Rerata Efisiensi Penurunan Kadar COD Sebelum dan Sesudah Selama 20 Hari Perlakuan

Perlakuan	Kadar COD (mg/L)		Penurunan Kadar COD (mg/L)	Persentase Penurunan (%)
	Sebelum	Sesudah		
A		721,2	-605,0	-521,5*
B		95,9	20,1	17,3
C	116,0	120,5	-4,5	-3,9
D		59,7	56,3	48,5
E		115,7	0,3	0,3

Keterangan: (\*)mengalami kenaikan COD

Lampiran 13c. Rerata Efisiensi Penurunan Kadar TSS Sebelum dan Sesudah Selama 20 Hari Perlakuan

Perlakuan	Kadar TSS (mg/L)		Penurunan Kadar TSS (mg/L)	Persentase Penurunan (%)
	Sebelum	Sesudah		
A		107,9	-53,5	-98,3*
B		41,0	13,4	24,6
C	54,4	33,1	21,3	39,2
D		39,6	14,8	27,2
E		20,3	34,1	62,7

Keterangan: (\*)mengalami kenaikan TSS

**Lampiran 14. Perubahan Kadar N-Total dengan Sistem *Constructed Wetland* Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) Selama 20 Hari**

Perlakuan	Waktu (Pengamatan Hari Ke-)					Perubahan Kadar (mg/L)	Prosentase Penurunan (%)
	0	5	10	15	20		
A	28,9	1,411	1,197	1,220	1,155	27,75	96,00
B	28,9	1,134	1,072	1,078	1,106	27,80	96,17
C	28,9	1,227	1,054	1,186	1,126	27,78	96,10
D	28,9	1,185	1,054	1,198	1,093	27,81	96,22
E	28,9	1,113	1,092	1,178	1,230	27,67	95,74

Keterangan: A=kontrol; B=limbah+kerikil+tanaman; C=limbah+pasir+tanaman; D=limbah+kerikil+pasir+tanaman; E=limbah+tanaman

**Lampiran 15. Perubahan Kadar Amoniak (NH<sub>3</sub>) dengan Sistem *Constructed Wetland* Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) Selama 20 Hari**

Perlakuan	Waktu (Pengamatan Hari Ke-)					Perubahan Kadar	Persentase Penurunan (%)
	0	5	10	15	20		
A	22,1	1,564	1,283	1,372	1,484	20,616	93,28
B	22,1	1,107	1,029	1,072	1,057	21,043	95,22
C	22,1	1,435	1,089	1,140	1,065	21,035	95,18
D	22,1	1,243	1,057	1,004	1,005	21,095	95,45
E	22,1	1,130	1,052	1,029	1,189	20,911	94,62

**Keterangan:** A=kontrol; B=limbah+kerikil+tanaman; C=limbah+pasir+tanaman; D=limbah+kerikil+pasir+tanaman; E=limbah+tanaman

**Lampiran 16. Berat Basah Tanaman Sebelum dan Sesudah Selama 20 Hari**

Perlakuan	Pengamatan Hari Ke-	
	0	20
Kontrol (A)	0	0,00
Limbah+Kerikil+Tanaman (B)	100	155,00
Limbah+Pasir+Tanaman (C)	100	206,67
Limbah+Kerikil+Pasir+Tanaman (D)	100	203,67
Limbah+Tanaman (E)	100	263,33

**Lampiran 17. Dokumentasi Kegiatan Penelitian**



Gambar 1. Tempat Pengambilan Kayu Apu



Gambar 2. Bak Reaktor untuk Sistem *Constructed wetland*



Gambar 3. Aklimatisasi Tanaman Kayu Apu



Gambar 4. Tempat Pengambilan Sampel Limbah Karet



Gambar 5. Kerikil dalam bak



Gambar 6. Pasir dalam bak



Gambar 7. Pengisian media dan limbah



Gambar 8. Sampel uji laboratorium



Gambar 9. Denah Percobaan Penelitian

Lampiran 17a. Pengamatan 5 HST

A1



A2



A3



B1



B2



B3



C1



C2



C3



D1



D2



D3



E1



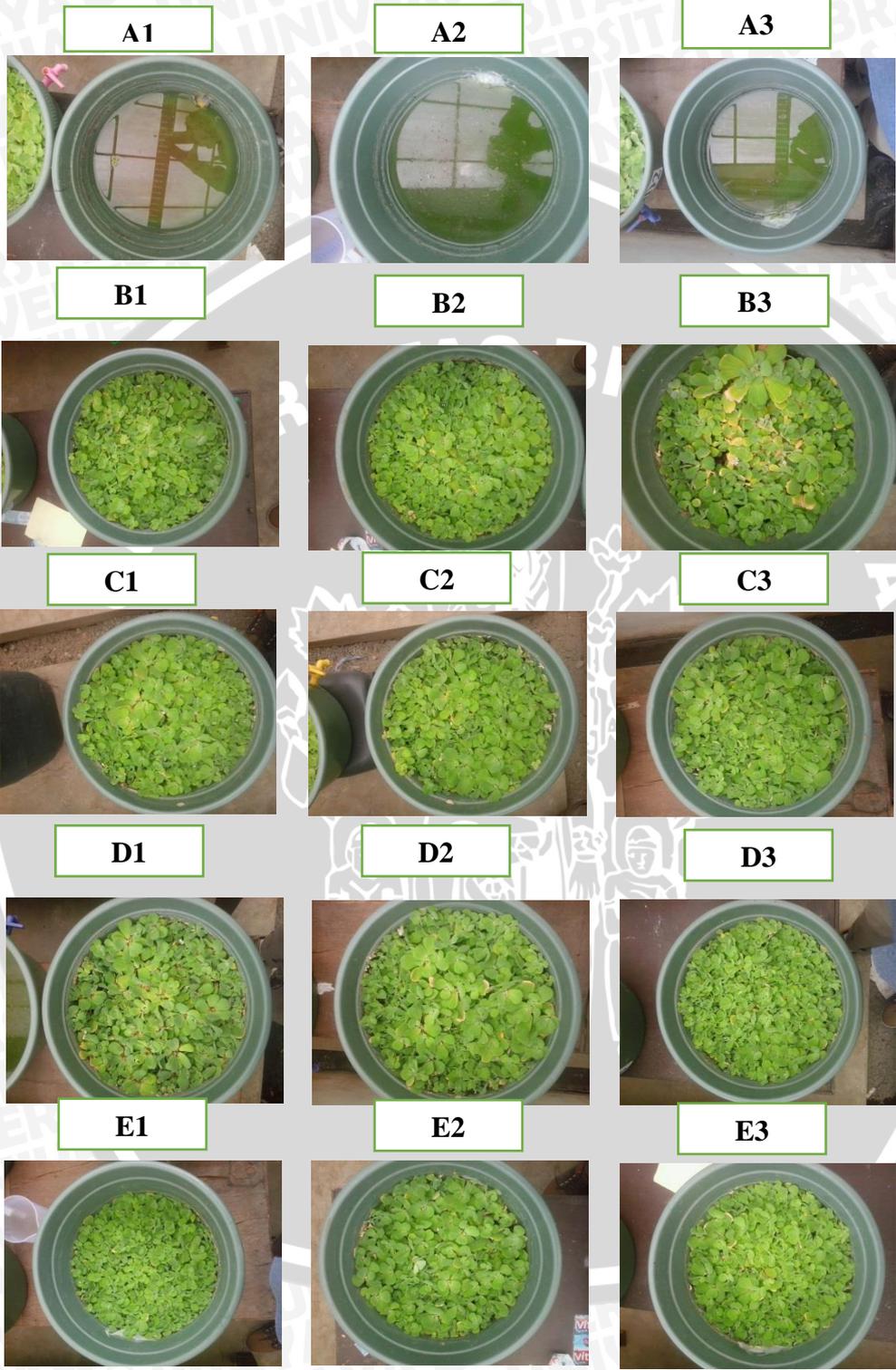
E2



E3



Lampiran 17b. Pengamatan 10 HST



Lampiran 17c. Pengamatan 15 HST

A1



A2



A3



B1



B2



B3



C1



C2



C3



D1



D2



D3



E1



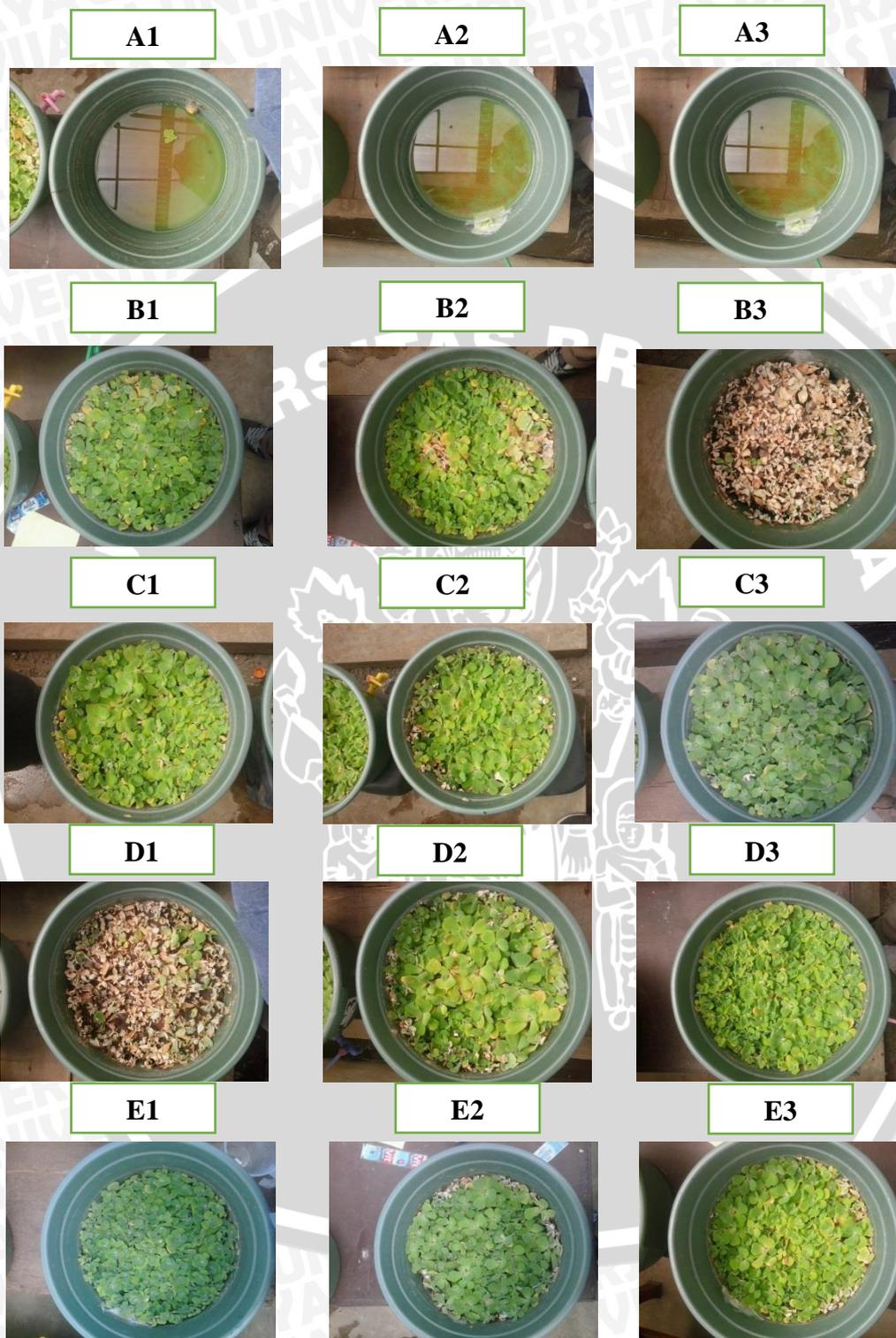
E2



E3



Lampiran 17d. Pengamatan 20 HST



**Lampiran 18. Daftar Istilah**

<b>Istilah</b>	<b>Keterangan</b>
Absorpsi	merupakan suatu proses penyerapan
Aerob	merupakan proses respirasi yang membutuhkan udara
Aklamatisasi	merupakan proses penyesuaian diri (adaptasi) terhadap lingkungan baru yang akan dimasukkannya
Anaerob	merupakan proses respirasi yang tidak membutuhkan udara
Biodegradasi	merupakan proses penghancuran bahan organik oleh enzim yang dihasilkan mikroorganisme (seperti bakteri dan jamur)
Biomassa	merupakan jumlah bahan hidup yang terdapat di dalam satu atau beberapa jenis organisme yang berada di dalam habitat tertentu
Bioremoval	merupakan proses penyerapan logam berat secara biologi sehingga material dapat dibuang dan ramah terhadap lingkungan
BOD ( <i>Biological Oxygen Demand</i> )	merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan hampir semua zat organik yang terlarut dan tersuspensi dalam air buangan
COD ( <i>Chemical Oxygen Demand</i> )	merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang terdapat dalam limbah cair
Constructed Wetland	merupakan sistem rekayasa yang telah di desain dan dibangun dengan memanfaatkan proses alamiah yang melibatkan tumbuhan, tanah dan media lain, dan kumpulan mikroba yang saling berhubungan untuk membantu pengolahan limbah cair
Dekomposisi	merupakan proses perubahan menjadi bentuk yang lebih sederhana;penguraian
Domestik	lokal
Eutrofikasi	suatu proses dimana suatu tumbuhan

---

	tumbuh dengan sangat cepat dibandingkan dengan pertumbuhan normal karena jumlah nutrisi unsur hara yang ada di diperairan meningkat. Unsur yang dimaksud adalah nitrogen dan fosfor
Filtrasi	penyaringan (merupakan metode pemisahan campuran yang digunakan untuk memisahkan cairan dan padatan yang tidak larut berdasarkan pada perbedaan ukuran partikel zat-zat yang tercampur
Fitoremediasi	merupakan suatu sistem atau satu teknologi yang memanfaatkan tumbuhan untuk mengurangi polutan pada lingkungan baik pada air, tanah dan udara yang diakibatkan oleh logam berat atau bahan organik
Flotasi	merupakan suatu proses pemisahan suatu zat dari zat lainnya pada suatu cairan/larutan berdasarkan perbedaan sifat permukaan zat yang dipisahkan dengan cara pengapungan
Fluktuatif	merupakan kondisi atau keadaan yang tidak stabil, yang menunjukkan gejala yang tidak tetap dan selalu berubah-ubah (terkadang naik dan terkadang turun)
H <sub>2</sub> O	air
Heterotrof	merupakan makhluk hidup yang tidak dapat membuat makanan sendiri sehingga memperoleh makanan dengan memakan makhluk hidup lainnya
Inkubasi	merupakan proses penjagaan atau perawatan terhadap sesuatu hal dengan kondisi tertentu agar sesuatu hal tersebut dapat berkembang dengan baik
Koloid	merupakan bentuk campuran zat yang homogen (satu jenis) menjadi zat yang bersifat heterogen (lebih dari satu jenis)
Konduktivitas	merupakan ukuran seberapa kuat suatu larutan dapat menghantarkan listrik
Latek	getah karet

---

Mesofilik	merupakan bakteri yang mampu tumbuh dengan batas temperatur antara 5°C sampai 60°C sedangkan temperatur optimumnya antara 25°C sampai 40°C
NH <sub>3</sub>	amoniak
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	amonium
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	nitrit
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	nitrat
Oksidasi	merupakan proses pengikatan oksigen atau pelepasan hidrogen atau pelepasan elektron
Osmosis	merupakan proses perpindahan pelarut dari larutan yang memiliki konsentrasi rendah atau pelarut murni melalui membran semipermeabel menuju larutan yang memiliki konsentrasi konsentrasi lebih tinggi
Permeabilitas	merupakan kemampuan bahan dalam meloloskan partikel dengan menembusnya
Psikrofilik	merupakan bakteri yang mampu tumbuh pada temperatur antara 0°C sampai 30°C, sedangkan untuk temperatur optimumnya antara 10°C sampai 20°C
Reduksi	merupakan proses pelepasan oksigen atau pengikatan hidrogen atau pengikatan elektron
Sedimentasi	merupakan proses pengendapan material padat
Termofilik	merupakan bakteri yang mampu tumbuh dengan batas temperatur minimum dan maksimum antara 40°C sampai 80°C sedangkan temperatur optimumnya 55°C sampai 65°C
Toksik	racun
TSS ( <i>Total Suspended Solid</i> )	merupakan sisa material dari padatan total yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel maksimal 2 mikrometer atau lebih besar dari ukuran partikel koloid

