



TUGAS AKHIR - RE 141581

**KOMBINASI BIOFILTER DOWNFLOW-UPFLOW
MENGGUNAKAN *Scirpus Grossus* SEBAGAI
PENGOLAHAN SPIKED POND WATER**

**BARA AWANDA MARHENDRA
3313 100 008**

**Dosen Pembimbing
Arseto Yekti Bagastyo S.T., M.T., M.Phil., Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



TUGAS AKHIR - RE 141581

**KOMBINASI BIOFILTER DOWNFLOW-UPFLOW
MENGGUNAKAN *Scirpus Grossus* SEBAGAI
PENGOLAHAN SPIKED POND WATER**

**BARA AWANDA MARHENDRA
3313 100 008**

**Dosen Pembimbing
Arseto Yekti Bagastyo S.T., M.T., M.Phil., Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - RE 141581

***HYBRID OF DOWNFLOW-UPFLOW STAGED
BIOFILTER USING Scirpus Grossus AS SPIKED
POND WATER TREATMENT***

**BARA AWANDA MARHENDRA
3313 100 008**

**Supervisor
Arseto Yekti Bagastyo S.T., M.T., M.Phil., Ph.D.**

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

KOMBINASI BIOFILTER DOWNFLOW-UPFLOW MENGGUNAKAN *Scirpus grossus* SEBAGAI PENGOLAHAN SPIKED POND WATER

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik
pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

BARA AWANDA MARHENDRA
NRP 3313100008

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :



Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., M.Phil., Ph.D.
NIP. 19820804 200501 1 001



Kombinasi Biofilter Aliran Downflow-Upflow Menggunakan *Scirpus grossus* Sebagai Pengolahan Spiked Pond Water

Nama Mahasiswa : Bara Awanda Marhendra
NRP : 3313 100 008
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Arseto Yekti Bagastyo ST., MT., MPhil., Ph.D.

ABSTRAK

Air limbah domestik di Indonesia dibagi menjadi dua, yakni *black water* yang masuk ke dalam *septic tank* serta *grey water* yang langsung dibuang ke badan air melalui saluran drainase. Hal ini akan meningkatkan pencemaran yang terjadi pada badan air, yang akan digunakan sebagai sumber air baku. Salah satu alternatif yang dapat diterapkan adalah pembuatan *constructed wetland* sebagai kombinasi pengolahan menggunakan biofilter serta proses fitoteknologi. Alternatif ini memiliki banyak keunggulan, mulai dari mampu mengikuti konsep alami dari siklus air, mudah dalam pengoperasian dan perawatan, serta lebih murah dibandingkan pengolahan air limbah konvensional lainnya. Di dalam pembangunan *constructed wetland*, ada beberapa faktor penting yang mempengaruhi efisiensi pengolahan, seperti media filter yang digunakan, arah aliran, serta tumbuhan yang digunakan pada *constructed wetland*.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi dari dua jenis media filter yang digunakan, yakni media pasir dan kerikil ketika digunakan sendiri maupun dikombinasikan secara berjenjang, di dalam menurunkan kandungan organik dan nitrogen pada air limbah. Pengaruh dari konfigurasi reaktor terhadap efisiensi penurunan optimum tumbuhan juga diuji untuk melihat potensi dari peletakan kompartemen biofilter terhadap penyebarluasan beban pencemar. Penelitian dilakukan dalam skala uji laboratorium menggunakan reaktor berbentuk persegi panjang dengan penambahan sekat pada titik tengah dari panjang reaktor hingga kedalaman 10 cm dari dasar reaktor dan dilaksanakan pada Laboratorium Remediasi Jurusan Teknik Lingkungan FTSP

ITS. Air limbah dialirkan pada reaktor dengan HRT selama tiga hari dan efisiensi penyisihan beban pencemar diukur berdasarkan parameter BOD, COD, ammonium, dan fosfat.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan penyisihan beban pencemar ditunjukkan oleh reaktor dengan konfigurasi memanjang yang menggunakan kombinasi media kerikil pada kompartemen pertama dan media pasir pada kompartemen kedua. Reaktor ini mampu menurunkan nilai COD hingga 87% dan nilai ammonium sebesar 94%.

Kata Kunci: Biofilter, *Constructed Wetland*, Fitoteknologi, *Scirpus grossus*.

Kombinasi Biofilter Aliran Downflow-Upflow Menggunakan *Scirpus grossus* Sebagai Pengolahan Spiked Pond Water

Student Name : Bara Awanda Marhendra
NRP : 3313 100 008
Department : Environmental Engineering
Supervisor : Arseto Yekti Bagastyo ST., MT., MPhil., Ph.D.

ABSTRACT

Municipal wastewater in Indonesia is divided into municipal black water that goes into septic tank and municipal grey water which goes directly to water bodies through drainage system. This will have an impact in increasing pollutant in water bodies, which are used as a source of raw water. One of the waste water treatment alternatives is to create constructed wetland as combination of biofiltration process and phytotreatment technology. It has many advantages such as has a natural concept of water cycle, simple in operation and maintenances, and consider cheaper than other conventional treatment. There are several factor that affect constructed wetland removal efficiency, such as media filter, hydrology, and vegetation of constructed wetlands.

The objective of this research is to investigate the efficiency of two types of media which are sand and pebbles, when used separately or combined sequentially, to remove organic material and nitrogen from wastewater. Influence of reactor configuration is also conducted to find the best possible placement of the reactor compartment towards the optimum removal efficiencies. This research used reactor in a scale of laboratory test using rectangular reactor with baffled that goes across the reactor till 10 cm above the bottom of the reactor and conducted in Remediation Laboratory of Environmental Engineering Department, FTSP ITS. Three days HRT was applied to the operation and afterwards some parameters, such as COD, BOD, and ammonium are measured.

The result indicated that the highest removal efficiency is shown by the reactor with lengthwise configuration and media

combination of gravel in the first compartment and sand in the second compartment. This reactor have the ability to reduce the COD by 87% and ammonia by 94%.

Keywords: Biofilter, Constructed Wetland, Phytotechnology,
Scirpus grossus.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, Penyusun dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir. Laporan ini disusun untuk meningkatkan kemampuan pemahaman serta wawasan penyusun terhadap pola pikir sarjana teknik lingkungan. Dalam penyusunan laporan ini, penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Arseto Yekti Bagastyo S.T., M.T., M.Phil., Ph.D., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang senantiasa meluangkan waktunya untuk membimbing serta memberikan ilmu dan wawasan yang bermanfaat untuk terselesaikannya tugas ini.
2. Ibu Harmin Sulistyaningtitah S.T., M.T., Ph.D., Ibu Bieby Vojiant Tangahu S.T., M.T., Ph.D., serta Bapak Alfan Purnomo S.T., M.T., selaku dosen pengarah tugas akhir yang sudah memberikan banyak sekali bantuan berupa saran dan masukan serta evaluasi yang membangun bagi penyusun.
3. Keluarga Marhendra yang senantiasa memberikan dukungan baik moral, material, maupun spiritual sehingga penyusun dapat terus mengerjakan laporan tugas akhir.
4. Rekan mahasiswa Laboratorium Remediasi Lingkungan, Laboratorium Pengolahan Air, serta rekan Workshop dan Laboratorium Limbah Padat dan B3 yang senantiasa membantu dan memberikan dukungan moral satu sama lain.

Penyusun telah berusaha menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan sebaik-baiknya, namun sadar bahwa laporan yang telah dibuat masih memiliki banyak sekali kekurangan. Penyusun mengharapkan kritik serta saran yang dapat membantu membuat tugas akhir ini menjadi lebih baik lagi.

Surabaya, 24 April 2017

Penyusun

Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB 1	
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
BAB 2	
STUDI LITERATUR.....	5
2.1 Air Limbah Domestik	5
2.2 Biofilter	7
2.3 Media.....	8
2.4 Proses Fitoteknologi	9
2.5 Makrofita (Tumbuhan Air).....	13
2.5.1 Kerapatan Tumbuhan.....	14
2.5.2 <i>Scirpus grossus</i>	14
2.6 <i>Constructed Wetland</i>	15
2.7 Hidrolika Aliran dari Constructed Wetlands	17
2.7.1 Aliran Horizontal	17
2.7.2 Aliran Vertikal	18
2.8 Perkembangan Terbaru Constructed Wetland	19
2.8.1 Sistem <i>Hybrid</i> pada CWs.....	20
2.8.2 Resirkulasi <i>Effluent</i>	20
2.8.3 <i>Tidal Operation</i>	20
2.8.4 Sistem <i>Circular Flow Corridor</i>	21
2.8.6 Sistem <i>Baffled Subsurface Flow CWs</i>	21
BAB 3	
METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Gambaran Umum Penelitian	23
3.2 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian.....	23

3.3 Kerangka Penelitian	23
3.3.1 Ide Penelitian.....	24
3.3.2 Studi Literatur	24
3.3.3 Variabel dan Parameter Penelitian	24
3.3.4 Persiapan Penelitian.....	28
3.3.5 Penelitian Utama	32
3.3.6 Observasi Hasil Penelitian.....	34
3.3.7 Metode Pengumpulan Data.....	34
3.3.8 Analisis dan Pembahasan	35
3.3.9 Kesimpulan dan Saran	35
BAB 4	
HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Karakteristik <i>Spiked Pond Water</i>	37
4.1.1 Uji Karakteristik Grey Water	37
4.1.2 Pembuatan Larutan <i>Spiked Pond Water</i>	40
4.2 Tahap Propagasi	43
4.3 Tahap Aklimatisasi	46
4.4 Uji Kemampuan Biofilter <i>Downflow-Upflow</i>	47
4.4.1 Analisis Parameter pH dan Suhu.....	48
4.4.2 Analisis Penyisihan Organik Parameter COD.....	50
4.4.3 Analisis Parameter Ammonium.....	57
4.4.4 Analisis Parameter Fosfat.....	61
4.4.5 Analisis Berat Basah-Berat Kering Tumbuhan	64
4.4.6 Perhitungan Koloni Mikroorganisme	67
4.4.7 Pemilihan Reaktor dan Media Terbaik.....	69
4.4.8 Uji ANOVA (Analysis of Variance)	73
4.5 Kondisi Reaktor Biofilter	75
BAB 5	
KESIMPULAN DAN SARAN	77
5.1 Kesimpulan.....	77
5.2 Saran.....	77
Daftar Pustaka.....	79

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Kualitas Air Limbah Domestik	6
Tabel 2.2 Karakteristik Air Limbah Domestik di Indonesia.....	6
Tabel 2.3 Karakteristik Media Tipikal.....	9
Tabel 2.4 Penyisihan CWs Aliran Horizontal dan Vertikal	19
Tabel 2.5 Kemampuan <i>Constructed Wetlands</i> Inovasi Baru	22
Tabel 3.1 Matriks variabel Bebas	27
Tabel 4.1 Hasil Uji Karakteristik Air Limbah.....	39
Tabel 4.2 Identifikasi Mikroorganisme dengan Metode CFU	68
Tabel 4.3 Nilai Signifikansi Variabel	74

Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Phytoextraction.....	11
Gambar 2.2 Phytovolatilization.....	12
Gambar 2.3 <i>Scirpus grossus</i>	15
Gambar 2.4 Aliran Horizontal pada <i>Constructed Wetland</i>	17
Gambar 2.5 Aliran Vertikal dari Constructed Wetland	18
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian	25
Gambar 3.2 Bentuk 3D Reaktor Konfigurasi Melintang	29
Gambar 3.3 Bentuk 3D Reaktor Konfigurasi Memanjang	29
Gambar 3.4 Bahan Pembuatan Larutan <i>Spiked</i>	30
Gambar 3.5 Diagram Alir Konfigurasi Melintang	33
Gambar 3.6 Diagram Alir Konfigurasi Memanjang	33
Gambar 3.7 Reaktor Konfigurasi Melintang.....	34
Gambar 3.8 Titik Sampling Konfigurasi Melintang.....	35
Gambar 4.1 Lokasi Sampling Air Limbah Jalan Arif Rahman Hakim.....	38
Gambar 4.2 lokasi Sampling Air Limbah Sungai Kalidami	38
Gambar 4.3 Lokasi Sampling <i>Pond Water</i> TL ITS.....	39
Gambar 4.4 Pertumbuhan Tunas <i>Scirpus grossus</i>	44
Gambar 4.5 Penumbuhan <i>Scirpus grossus</i> di Rumah Kaca Teknik Lingkungan.....	44
Gambar 4.6 Fase Generatif <i>Scirpus grossus</i> di Daerah Rungkut Surabaya.....	45
Gambar 4.7 Laju Pertumbuhan <i>Scirpus grossus</i>	46
Gambar 4.8 Nilai pH Reaktor Media Kerikil	49
Gambar 4.9 Nilai pH Reaktor Media Kerikil Pasir	49
Gambar 4.10 Nilai pH Reaktor Media Kerikil Pasir.....	50
Gambar 4.11 Penyisihan COD pada Media Kerikil.....	51
Gambar 4.12 Penyisihan COD pada Media Kerikil Pasir	52
Gambar 4.13 Penyisihan COD pada Media Pasir	53
Gambar 4.14 Rasio BOD/COD pada Reaktor Biofilter	56
Gambar 4.15 Penyisihan Ammonium pada Media Kerikil	57
Gambar 4.16 Penyisihan Ammonium pada Media Kerikil Pasir .	58
Gambar 4.17 Penyisihan Ammonium pada Media Pasir	59
Gambar 4.18 Penyisihan Fosfat pada Media Kerikil.....	62
Gambar 4.19 Penyisihan Fosfat pada Media Kerikil Pasir.....	62
Gambar 4.20 Penyisihan Fosfat pada Media Pasir	63
Gambar 4.21 Berat Basah dan Berat Kering Tumbuhan	64

Gambar 4.22 Berat Basah Bagian-Bagian Tumbuhan	66
Gambar 4.23 Berat Kering Bagian-Bagian Tumbuhan	67
Gambar 4.24 Penyisihan COD Reaktor Memanjang	70
Gambar 4.25 Penyisihan COD Reaktor Melintang	70
Gambar 4.26 Penyisihan Ammonium Reaktor Memanjang	71
Gambar 4.27 Penyisihan Ammonium Reaktor Melintang	71
Gambar 4.28 Penyisihan Fosfat Reaktor Memanjang	72
Gambar 4.29 Penyisihan Fosfat Reaktor Melintang	73
Gambar 4.30 Kondisi Awal Reaktor Uji Biofilter	75
Gambar 4.31 Kondisi Akhir Reaktor Uji Biofilter	75

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	
PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM	87
LAMPIRAN B	
DATA HASIL ANALISA	95
LAMPIRAN C	
DOKUMENTASI PENELITIAN	102

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Surabaya sebagai Ibu Kota Provinsi Jawa Timur merupakan kota terbesar kedua di Indonesia. Kota Surabaya dikenal sebagai pusat sektor industri, komersil, serta maritim yang sangat penting di Jawa Timur. Sayangnya, sistem perpipaan dan pengolahan air limbah terpusat masih belum tersedia di Kota Surabaya. Seperti kota-kota lain yang ada di Indonesia, pemukiman di Surabaya memisahkan air limbah rumah tangganya, di mana *black water*, biasanya masuk ke dalam *septic tank* sedangkan *grey water* dibuang ke dalam badan air melalui saluran drainase (Prihandrijanti & Firdayati, 2011). Hal ini menyebabkan peningkatan polusi pada badan air yang akan digunakan sebagai sumber air baku. Situasi ini beresiko mempengaruhi kesehatan manusia dan juga lingkungan. Teknologi alternatif dibutuhkan untuk mengatasi permasalahan air limbah domestik *grey water* agar tidak mencemari sumber air baku.

Salah satu alternatif teknologi yang dapat digunakan untuk mengolah air limbah adalah dengan membuat sistem biofiltrasi, seperti *constructed wetland*, untuk memperbaiki kualitas air limbah melalui sistem filtrasi menggunakan media biologis seperti tumbuhan dan mikroorganisme terikat. Sistem biofiltrasi memiliki sejumlah keunggulan jika dibandingkan dengan sistem proses pengolahan konvensional lain, seperti presipitasi, koagulasi-flokulasi, dan lumpur aktif. *Constructed wetland* sederhana untuk diterapkan di masyarakat, tidak perlu tenaga ahli terampil untuk melakukan operasional dan perawatan, serta mengikuti konsep alami dari siklus air (Wu, et al., 2015). *Typha angustifolia* dan *Scirpus grossus* adalah dua tumbuhan yang biasa digunakan pada *constructed wetland* (Brisson & Chazarenc, 2009) dan bisa ditemukan di Kota Surabaya. Tumbuhan ini diketahui memiliki kemampuan untuk menyerap kandungan pencemar dalam air dan bisa hidup di lingkungan dengan konsentrasi pencemar yang sangat tinggi.

Terdapat beberapa jenis *constructed wetland* berdasarkan arah aliran dan hidrologi air mulai dari *constructed wetland* dengan *free surface water* dan *subsurface water* serta arah aliran

horizontal dan vertikal (Vymazal, 2010) dan setiap jenis *constructed wetland* memiliki proses pengolahan yang berbeda-beda. Pada *constructed wetland* yang menggunakan aliran horizontal, terbatasnya oksigen transfer dari udara menuju air limbah menyebabkan dominannya reaksi denitrifikasi, sedangkan pada aliran vertikal yang menggunakan aliran *downflow*, dengan adanya perbedaan zona jenuh dan tidak jenuh memungkinkan terjadinya transfer oksigen yang lebih baik sehingga reaksi nitrifikasi menjadi lebih dominan (Mena, et al., 2008). Sedangkan pada aliran vertikal *upflow* merupakan alternatif untuk menciptakan waktu kontak dengan air limbah yang lebih lama, sehingga menciptakan suasana aerobik yang lebih dominan daripada vertikal *downflow*.

Namun, sebagian besar metode aliran *wetland*, seperti *free water surface* dan *horizontal flow constructed wetland*, membutuhkan area yang sangat luas. Bahkan *wetland* yang dibangun menggunakan aliran vertikal, walaupun menggunakan area yang tidak terlalu luas, membutuhkan sistem perpipaan dan pompa untuk menciptakan kondisi ideal untuk memaksimalkan proses yang terjadi pada *constructed wetland*. Seiring dengan semakin ketatnya baku mutu, pada akhir tahun 1990an terjadi peningkatan penggunaan model *hybrid* atau kombinasi, yang menggabungkan kemampuan penyisihan beban pencemar dari metode aliran horizontal dan vertikal (Vymazal, 2013). Metode ini digunakan untuk meningkatkan efisiensi penurunan beban pencemar dalam air limbah (Abidi, et al., 2009) sehingga kualitas air limbah dapat memenuhi ambang batas baku mutu yang telah ditetapkan oleh pemerintah.

Mengingat ruang yang dibutuhkan untuk membangun sistem biofiltrasi di Kota Surabaya sangat terbatas, perlu pendekatan yang berbeda untuk memaksimalkan potensi *constructed wetland* sebagai pengolahan *grey water* sehingga dapat diterapkan pada ruang yang tersedia. Oleh karena itu, Kota Surabaya membutuhkan desain *constructed wetland* yang tidak membutuhkan lahan terlalu luas, akan tetapi memiliki hasil yang hampir sama dengan sistem *constructed wetland* pada umumnya, yaitu kombinasi biofilter menggunakan *downflow* dan *upflow* untuk menciptakan proses nitrifikasi dan denitrifikasi secara berurutan pada satu buah reaktor *constructed wetland*. Aliran pada biofilter

dibuat vertikal dengan *downflow* dan *upflow* sehingga mengurangi luas lahan yang dibutuhkan. Oleh karena itu, kemampuan pengolahan berupakan salah satu indikator penting sebagai evaluasi sebelum desain ini dapat diterapkan.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah utama yang akan dibahas pada penelitian kali ini adalah bagaimana cara untuk mengembangkan kombinasi biofilter *downflow-upflow* sebagai sarana pengolahan air limbah domestik *grey water*. Permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh dari jenis dan susunan media yang digunakan di dalam meningkatkan kemampuan pengolahan air limbah?
2. Bagaimana pengaruh dari perbedaan konfigurasi desain reaktor dengan kemampuan penyisihan polutan pada air limbah?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan kombinasi biofilter *downflow-upflow* yang dapat diterapkan untuk mengolah air limbah domestik *grey water* di Kota Surabaya. Sasaran yang dituju dari penelitian kali ini adalah:

1. Menentukan pengaruh dari jenis serta susunan media yang digunakan di dalam meningkatkan kemampuan pengolahan air limbah.
2. Menentukan pengaruh konfigurasi desain reaktor dengan kemampuan penyisihan polutan pada air limbah.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan pengetahuan mengenai metode baru yang dapat diterapkan pada pembuatan *constructed wetland*.
2. Sebagai referensi pembuatan rancangan kombinasi biofilter *downflow-upflow* dalam skala pilot.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup yang digunakan pada penelitian kali ini adalah:

1. Air limbah domestik yang akan digunakan pada penelitian ini adalah *spiked water* yang berasal dari kolam retensi Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS.
2. Parameter yang akan diuji adalah BOD, COD, fosfat, serta ammonium.
3. Reaktor yang akan digunakan terbuat dari *fiberglass* dengan tinggi maksimal 40 cm.
4. Lama *hydraulic retention time* yang digunakan adalah tiga hari.
5. Jenis media yang akan digunakan adalah pasir dengan diameter 0,6-2 mm dan kerikil dengan diameter 5-12 mm.
6. Media penyangga yang akan digunakan merupakan kerikil dengan diameter 12-40 mm.
7. Tumbuhan yang akan digunakan adalah *Scirpus grossus*.

BAB 2

STUDI LITERATUR

Sistem biofiltrasi menggunakan *constructed wetland* merupakan salah satu alternatif untuk mengolah air limbah dengan mengombinasikan kemampuan penyisihan yang cukup tinggi dengan perawatan dan pengoperasian yang mudah. (Mena, et al., 2008). *Constructed wetland* dirancang untuk mengambil keunggulan dari proses yang terjadi secara alamiah di alam dengan lingkungan yang telah dikontrol (Vymazal, 2010). *Constructed wetland* dikategorikan menjadi dua kelompok utama, yakni aliran air permukaan dan aliran air di bawah permukaan (*free surface flow* dan *subsurface flow*) dan lebih jauh lagi diklasifikasikan menjadi aliran horizontal dan aliran vertikal. (Sehar, et al., 2015). Walaupun sudah lebih dari tiga dekade semenjak pengembangannya, masih terdapat beberapa permasalahan pada kemampuan *constructed wetland*, mulai dari penyumbatan hingga optimalisasi pengolahan sehingga memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah.

2.1 Air Limbah Domestik

Air limbah domestik merupakan air limbah yang dihasilkan dari kegiatan rumah tangga seperti mencuci, mandi, memasak, serta buang air. Air limbah domestik sendiri dapat dibedakan menjadi dua, yaitu *grey water* yang berasal dari air bekas mencuci dan kamar mandi, serta *black water* yang merupakan air yang sudah terkena kotoran dan berpotensi mengandung patogen (Mubin, et al., 2016). Di Kota Surabaya, pemukiman memisahkan air limbah domestik *black water* yang masuk ke dalam *septic tank* serta *grey water* yang dibuang langsung pada saluran drainase. (Prihandrijanti & Firdayati, 2011). Itu berarti tidak terdapat pengolahan *grey water* sebelum menuju badan air. Ketika air limbah tidak diolah lebih dulu, maka dapat terjadi pencemaran badan air dan mengganggu kehidupan biota air. Perlu dilakukan upaya agar air limbah yang dibuang tidak melebihi baku mutu yang ditetapkan pemerintah untuk meminimalisir pencemaran yang terjadi pada badan air. Berikut ini merupakan standar baku mutu air limbah yang ditetapkan oleh pemerintah pada Tabel 2.1. Dengan adanya Peraturan Gubernur ini, maka air limbah domestik

yang akan dibuang menuju badan air harus memenuhi baku mutu agar terjadi upaya pencegahan pencemaran lingkungan. Baku mutu nitrogen pada air limbah domestik tidak tercantum di dalam Pergub Jatim nomor 72 Tahun 2013 sehingga tidak ada batas minimum bagi pemukiman untuk membuang limbah domestik yang mengandung banyak nitrogen yang berasal dari kamar mandi maupun dari aktivitas lainnya.

Tabel 2.1 Baku Mutu Kualitas Air Limbah Domestik

Nilai Baku Mutu Air Limbah Domestik Volume Maksimal air limbah 120 L/orang.hari)	
Parameter	Konsentrasi Maksimal (mg/L)
BOD ₅	30
COD	50
TSS	50
Minyak dan Lemak	10
pH	6-9

Sumber: Pergub Jatim Nomor 72/2013

Tentu saja kualitas air limbah domestik yang akan dibuang harus diketahui lebih dahulu sehingga diketahui bahwa apakah air limbah domestik dapat langsung dibuang ke dalam badan air ataukah perlu ada upaya pengolahan sebelum air limbah dapat dibuang ke dalam badan air. Karakteristik air limbah domestik di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Karakteristik Air Limbah Domestik di Indonesia

No	Sumber	Sumber Air Limbah	Parameter	Konsentrasi (mg/L)
1	(Setiawati & Purwati, 2016)	Pemukiman di Kecamatan Sikomerto, Surabaya	BOD	494
			COD	799
2	(Afandi, et al., 2013)	Pemukiman di Kecamatan	BOD	353.43
			TSS	119.25

No	Sumber	Sumber Air Limbah	Parameter	Konsentrasi (mg/L)
		Mayangan, Probolinggo		
3	(Mubin, et al., 2016)	Pemukiman di Kelurahan Istiqalal, Manado	BOD	300

Pada tabel karakteristik air limbah domestik di atas, maka dapat diketahui bahwa kualitas air limbah domestik yang ada di Indonesia lebih besar daripada baku mutu yang berlaku, terutama standar baku mutu yang ditetapkan di Jawa Timur. Untuk memenuhi standar kualitas yang ada, air limbah domestik *grey water* tidak bisa dibuang secara langsung menuju badan air. Pengolahan harus dilakukan untuk memastikan bahwa kualitas air limbah tidak melampaui standar baku mutu yang ditetapkan pemerintah.

2.2 Biofilter

Biofilter merupakan semua jenis filter dengan biomassa yang terikat pada media filter (Chaudhary, et al., 2003) dan sering digunakan untuk mengolah air serta udara tercemar. Proses biofiltrasi ini terjadi dengan menggunakan tumbuhan maupun mikroorganisme sebagai biomassa yang menyerap kontaminan (Gisolfi & Wilk, 2007), (Kumar, et al., 2013). Banyak penelitian yang telah dilakukan terkait dengan sistem biofiltrasi, akan tetapi secara teoritis sangat sulit untuk menjelaskan sifat dari biofilter. Sangat tidak mungkin untuk menyamaratakan aktivitas mikroorganisme yang terdapat di dalam biofilter, yang disebabkan karena perbedaan mikroorganisme yang dapat tumbuh di dalam biofilter yang diakibatkan dari perbedaan kondisi pembentukan tiap jenis mikroorganisme pada biofilter. Selain itu, ketika membandingkan antara vegetasi dengan jenis tumbuhan yang berbeda, terdapat perbedaan penyerapan polutan, yang bisa disebabkan karena ukuran tumbuhan yang berbeda, ataupun fisiologi akar di dalam tanah yang berbeda-beda pada setiap

tumbuhannya (Read, et al., 2008). Perbedaan kecepatan aliran serta karakteristik air limbah yang masuk ke dalam biofilter juga dapat menciptakan perbedaan effisiensi penyisihan untuk parameter pencemar yang berbeda. Pada awalnya, biofilter dibangun menggunakan batu sebagai media filter. Akan tetapi, sekarang ini beberapa jenis media filter telah dikembangkan dan mulai digunakan, mulai dari antrasit, pasir, kerikil, hingga menggunakan karbon aktif yang berbentuk granular (Chaudhary, et al., 2003). Karena pada biofilter terjadi penyisihan polutan secara fisik akibat penggunaan media filter, maka penyumbatan sering kali menjadi permasalahan di dalam sistem biofiltrasi (Hatt, et al., 2009) sehingga hidrologi serta mekanisme penyisihan zat pencemar pada biofilter harus dipahami dengan baik, untuk memperpanjang umur dari biofilter.

2.3 Media

Media merupakan tempat tumbuhnya biomassa yang menyediakan tempat untuk proses adsorpsi maupun nutrisi (Priya, et al., 2013). Selain itu, media berfungsi sebagai tempat terikatnya perakaran tumbuhan, meratakan beban aliran pencemar di dalam reaktor, menyediakan permukaan sebagai tempat tumbuhnya mikroorganisme, hingga filter perangkap bagi partikel pencemar (United Nations Human Settlements, 2008). Media menyediakan jalur pori-pori antara partikel media, sehingga ketika air melewati media, mikroorganisme yang berada pada pori-pori media mendapatkan makanan dari air limbah yang berarti menurunkan beban pencemar dari air limbah (Zidan, et al., 2015). Pemilihan media sangat penting karena media berfungsi sebagai tempat tumbuhnya biomassa dan sebagai tempat penyimpanan pencemar (Calheiros, et al., 2008). *Bed media* pada biofilter dapat tersusun dari satu jenis media atau lebih sebagai kombinasi. Terdapat berbagai macam jenis media dan pada mulanya tanah digunakan sebagai *bed media* pada *constructed wetland*, akan tetapi, akibat sering terjadinya penyumbatan, maka banyak negara di Eropa yang beralih kepada kerikil sebagai media yang akan digunakan pada *constructed wetland* dengan ukuran partikel 5-10 mm ataupun 6-12 mm (Cooper, 2009). Kerikil sangat efisien di dalam menurunkan nitrogen ammonia, total nitrogen, fosfor, serta materi organik (Saeed & Sun, 2011). Sebuah penelitian juga

menunjukkan bahwa kerikil memberikan oksigen terhadap sistem biofiltrasi lebih baik daripada pasir, akan tetapi pasir memiliki daya adsorpsi yang lebih baik daripada kerikil (Priya, et al., 2013).

Berikut ini merupakan karakteristik tipikal dari media yang biasa digunakan pada *constructed wetland*:

Tabel 2.3 Karakteristik Media Tipikal

Jenis Media	Ukuran Efektif D ₁₀ mm	n, Porositas %	K _s , Konduktivitas Hidrolik (m ³ /m ² /d)
Pasir Kasar	2	32	1000
Pasir Berkerikil	8	35	5000
Kerikil Halus	16	38	7500
Kerikil Medium	32	40	10000
Kerikil Kasar	128	45	100000

Sumber: (United States - Environmental Protection Agency, 1993)

2.4 Proses Fitoteknologi

Fitoteknologi merupakan teknologi pengolahan air serta tanah tercemar menggunakan tumbuhan. Teknologi ini menggunakan tumbuhan sebagai metode untuk menyelesaikan permasalahan lingkungan pada tanah dan air tercemar menggunakan konsep yang alami (Trihadiningrum, et al., 2007). Fitoteknologi sendiri memiliki beberapa macam mekanisme yang berbeda, mulai dari *phytoextraction*, *phytodegradation*, *phytovolatilization*, *rhizofiltration*, dan *phytostabilization* (Materac, et al., 2015).

- *Phytoextraction*

Phytoextraction merupakan mekanisme penyerapan kontaminan dari sumbernya oleh akar tumbuhan dan memindahkannya pada bagian-bagian dalam tumbuhan, yang kemudian dapat dihilangkan dengan cara memanen tumbuhan yang telah menyerap pencemar (*National Risk Management Research Laboratory of U.S. EPA*, 2000). Mekanisme ini dianggap

sebagai strategi yang paling efektif namun paling sulit untuk dilakukan yang melibatkan budidaya tumbuhan yang toleran terhadap konsentrasi pencemar pada bagian jaringan tumbuhan di atas tanah (Kraemer, 2005). Jumlah biomassa terkontaminasi ini ketika diolah akan jauh lebih sedikit daripada ketika melakukan proses pengolahan lain seperti penggalian (*excavation*). Biomassa ini dapat dikeringkan dan dibuang ke dalam *dump site* ataupun diinsinerasi.

- *Rhizofiltration*

Rhizofiltration merupakan adsorpsi ataupun presipitasi kontaminan ataupun pencemar yang berada pada zona akar kepada tumbuhan (*National Risk Management Research Laboratory of U.S. EPA*, 2000). Peristiwa adsorpsi terjadi akibat adanya perbedaan muatan ion antara akar tumbuhan dengan kontaminan, yang menciptakan ikatan ion. Sedangkan presipitasi terjadi akibat adanya kontaminan yang mudah mengendap.

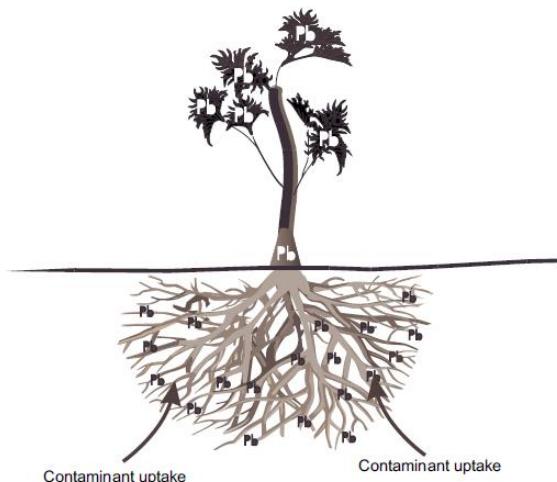
- *Phytostabilization*

Phytostabilization merupakan mekanisme untuk mencegah terjadinya perpindahan atau migrasi dari kontaminan dengan memberikan vegetasi menggunakan tumbuhan yang memiliki sistem perakaran yang cukup panjang (Trihadiningrum, et al., 2007). Fitostabilisasi terjadi pada zona akar, memanfaatkan aktivitas mikroorganisme serta keadaan kimia dari media lingkungan, merubah kelarutan dan mobilitas dari logam dengan merubah logam terlarut menjadi tidak terlarut (*National Risk Management Research Laboratory of U.S. EPA*, 2000).

- *Rhizodegradation*

Rhizodegradation merupakan mekanisme pemecahan kontaminan organik di area sekitar akar melalui aktivitas mikroba, juga dikenal sebagai peningkatan biodegradasi mizosfer (*National Risk Management Research Laboratory of U.S. EPA*, 2000). Akar tumbuhan meningkatkan aerasi pada tanah karena

tumbuhan melepaskan oksigen ke dalam rizosfer, sehingga menciptakan degradasi aerobik dan meningkatkan degradasi mikroba di sekitar zona perakaran (Brix, 1994). Akar tumbuhan juga mengeluarkan enzim yang dapat meningkatkan populasi maupun aktivitas mikroba di dalam rizosfer, sehingga meningkatkan biodegradasi kontaminan organik.



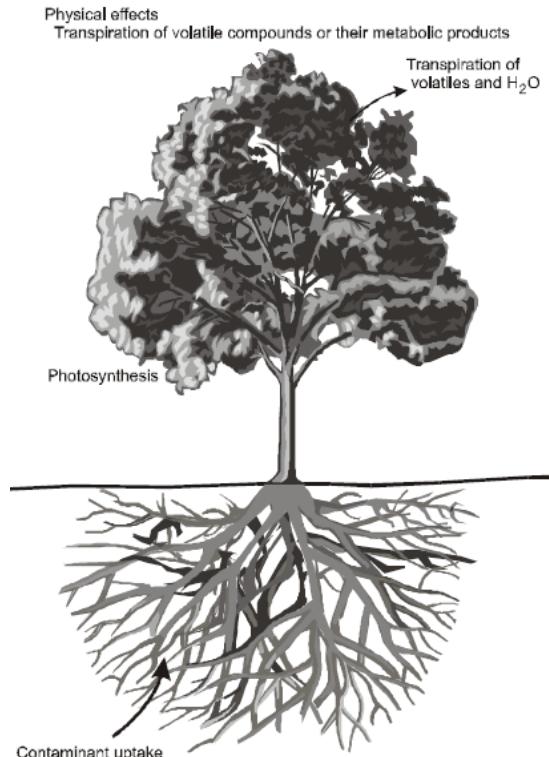
Gambar 2.1 Phytoextraction

Sumber: (*National Risk Management Research Laboratory of U.S. EPA, 2000*)

- *Phytodegradation*

Phytodegradation terjadi ketika tumbuhan menghasilkan enzim yang dapat menjadi katalisator proses degradasi yang terjadi di dalam maupun di luar badan tumbuhan (Materac, et al., 2015). Mekanisme pemecahan kontaminan di dalam tumbuhan ini terjadi akibat adanya proses metabolisme tumbuhan (*National Risk Management Research Laboratory of U.S. EPA, 2000*) sedangkan *rhizodegradation* dengan pelepasan enzim pada zona perakaran merupakan salah satu

contoh dari *phytodegradation* tumbuhan yang terjadi di tanah.



Gambar 2.2 Phytovolatilization

Sumber: (*National Risk Management Research Laboratory of U.S. EPA, 2000*)

- *Phytovolatilization*

Phytovolatilization merupakan mekanisme penyisihan kontaminan melalui penyerapan menuju bagian tumbuhan dan transpirasi yang melepaskan kontaminan dari dalam tumbuhan ke atmosfer (*National Risk Management Research Laboratory of U.S. EPA, 2000*). Tumbuhan akan menyerap kontaminan dari tanah ataupun air, dan setelah proses metabolisme, kemudian akan dilepas dalam bentuk volatil dan dalam

bentuk yang kurang beracun dibandingkan sebelumnya (Materac, et al., 2015).

Fitoteknologi seringkali menggunakan tumbuhan air, atau biasa disebut sebagai makrofita, untuk menyerap kontaminan yang berasal dari air tercemar ataupun air limbah. Makrofita memegang peranan penting di dalam proses biokimia dan akumulasi zat pencemar dengan menjadikannya sebagai bagian dari sel tumbuhannya (Materac, et al., 2015). Dengan pemilihan makrofita secara tepat maka dapat meningkatkan tingkat kesuksesan pengolahan fitoteknologi.

2.5 Makrofita (Tumbuhan Air)

Makrofita bisa didefinisikan sebagai semua bentuk vegetasi air makroskopik yang dapat dilihat dengan mata telanjang. Perbedaan antara makrofita dengan tumbuhan terestrial lainnya adalah makrofita mampu mentolerir kondisi lingkungan tergenang air (Rejmankova, 2011) sehingga dapat digunakan untuk meremediasi air limbah. Makrofita merupakan bagian yang sangat penting yang membedakan antara *constructed wetland* dengan filter biasa maupun *lagoon*, namun, tidak semua makrofita dapat digunakan untuk membangun *constructed wetland* (Vymazal, 2011). Tumbuhan yang digunakan harus mampu mentolerir tingginya beban organik dan beban *nutrient*, memiliki sistem perakaran dan rizoma yang cukup banyak, serta biomassa tumbuhan di atas tanah yang cukup besar.

Akan tetapi, banyak sekali faktor yang mempengaruhi kinerja makrofita di dalam mengolah air limbah pada *constructed wetland*. Mulai dari jenis *constructed wetland*, kuantitas dan kualitas air limbah, jenis tumbuhan yang digunakan, media tanam, serta manajemen tumbuhan (Shelef, et al., 2013). Vegetasi campuran memiliki efisiensi penyisihan beban pencemar yang lebih baik daripada hanya menggunakan satu jenis tumbuhan saja, akan tetapi karena tidak terdapatnya informasi yang lebih lengkap mengenai mengapa proses ini dapat terjadi, sehingga informasi ini bisa dikatakan masih belum sepenuhnya valid (Shelef, et al., 2013). Selain itu, telah diketahui bahwa akar dari makrofita melepaskan oksigen pada rizosfer. Oksigen yang terlepas pada rizosfer ini sangat penting pada mekanisme *constructed wetland*.

dengan sistem aliran *subsurface flow* untuk degradasi aerobik dari nitrifikasi serta zat yang memakai oksigen (Brix, 1994).

2.5.1 Kerapatan Tumbuhan

Kerapatan tumbuhan merupakan banyaknya tumbuhan yang hadir dalam suatu wilayah yang dapat dinyatakan dengan jumlah tumbuhan per luasan area (plants.m^{-2}) (Loades, et al., 2010) ataupun berat kering per luasan area (g dry wt.m^{-2}) (Debusk & Ryther, 1981). Kerapatan tumbuhan dapat mempengaruhi penyerapan kandungan pencemar di dalam air limbah karena kerapatan tumbuhan berpengaruh terhadap persebaran akar di dalam media. Semakin luas area akar yang tumbuh menutupi media, akan semakin memperluas area cakupan penyerapan. Area cakupan ini bertambah seiring dengan semakin banyaknya jumlah tumbuhan, yang selain dipengaruhi oleh bertambahnya tumbuhan sebagai sumber akar, juga akibat mengecilnya diameter akar seiring dengan bertambahnya kerapatan tumbuhan (Loades, et al., 2010). Kerapatan tumbuhan juga berpengaruh terhadap besarnya penyerapan kandungan pencemar pada air limbah, walau perbedaan ini mengecil seiring dengan bertambah lamanya pemakaian tumbuhan (Webb, et al., 2013).

2.5.2 *Scirpus grossus*

Scirpus grossus merupakan tumbuhan perennial seperti rumput yang hidup di perairan dangkal ataupun tanah lembab dan mampu tumbuh hingga ketinggian 3 meter (Lerdluksamee, et al., 2013). Tumbuhan ini merupakan salah satu dari makrofita perennial yang sering ditemukan pada rawa-rawa, sepanjang sungai ataupun kanal (Chuah, et al., 2006), terklasifikasi pada famili Cyperaceae dan tersebar secara luas di India, Asia Tenggara, serta Australia.

Scirpus grossus merupakan tumbuhan *hyperaccumulator* (Tangahu, et al., 2013) dan memiliki potensi yang sangat besar untuk menyisihkan beban pencemar pada *constructed wetland* yang ada di daerah tropis (Jinadasa, et al., 2006). *Scirpus grossus* telah diketahui mampu mengolah beban organik dalam air limbah domestik dengan efisiensi removal BOD mencapai 68.20% (Jinadasa, et al., 2006) serta diketahui mampu hidup dalam kondisi konsentrasi organik COD sebesar 994 mg/L (Atik, 2013). Selain itu, *Scirpus grossus* juga mampu menurunkan *nutrient* yang

terkandung dalam air limbah domestik hingga 59.4% untuk parameter ammonium serta 52.1% untuk penyisihan nitrat (Jinadasa, et al., 2008). Oleh karena itu tumbuhan *Scirpus grossus* dapat digunakan sebagai makrofit pada *constructed wetland*.



Gambar 2.3 *Scirpus grossus*

Sumber: (Tangahu, et al., 2013)

Berikut ini merupakan taksonomi dari tumbuhan *Scirpus grossus*:

Kingdom	: <i>Plantae</i>
SubKingdom	: <i>Tracheobionta</i>
Super Divisi	: <i>Spermatophyta</i>
Divisi	: <i>Magnoliophyta</i>
Kelas	: <i>Liliopsida</i>
Ordo	: <i>Cyperales</i>
Famili	: <i>Cyperaceae</i>
Genus	: <i>Scirpus</i>
Spesies	: <i>Scirpus grossus</i>

(Gupta, 2013)

2.6 Constructed Wetland

Constructed wetlands (CWs) adalah sistem rekayasa yang didesain dan dibangun untuk memanfaatkan proses alami yang meliputi vegetasi *wetland*, tanah, serta kumpulan mikroba terkait di dalam mengolah air limbah (Vymazal, 2010). CWs mendapatkan banyak perhatian karena dianggap layak untuk mengolah air limbah terutama pada daerah terpencil. CWs didefinisikan sebagai teknologi hijau yang ramah lingkungan (Cooper, 2009). CWs telah

digunakan di seluruh dunia dan telah menunjukkan performa yang tinggi dan konsisten di dalam menyisihkan pencemar organik seperti BOD, COD, padatan tersuspensi, serta mikroorganisme patogen, walau tidak terlalu efektif untuk menyisihkan *nutrient* seperti senyawa N dan P (Frazer-Williams, 2010).

Efisiensi pengolahan dari CWs sangat bergantung pada keberadaan vegetasi (Sehar, et al., 2015). Tumbuhan menyerap pencemar dari air dan rizosfer menjadi tempat terikatnya mikroorganisme yang memiliki peran dalam pengolahan air. Perbedaan jenis makrofita memiliki efisiensi penyisihan beban pencemar yang berbeda karena panjang akar serta sistem perakaran yang berbeda-beda. Tumbuhan air sendiri terdiri dari 4 jenis berdasarkan fasa hidupnya mulai dari tumbuhan *free floating*, *floating leaved*, *rooted emergent*, dan *submerged macrophytes* (Brix & Schierup, 1989). Lebih lanjut, perbedaan dapat terjadi akibat adanya perbedaan hidrologi berdasarkan arah aliran air sehingga setiap jenis CWs bisa jadi membutuhkan tumbuhan air yang berbeda sesuai dengan karakteristik yang sesuai dengan kondisi CWs (Vymazal, 2010). Hampir semua CWs untuk mengolah air limbah menggunakan tumbuhan *emergent*, akan tetapi sistem pengaliran air limbahnya dapat menerapkan hidrologi pengaliran yang berbeda-beda (Vymazal, 2005).

Berdasarkan hidrologi pengaliran, CWs dikategorikan menjadi dua, yaitu *free water surface* dimana air limbah tergenang di atas tanah seperti rawa pada umumnya, dan *subsurface flow* dimana air limbah mengalir di bawah permukaan tanah. Diantara dua kategori ini, aliran *subsurface* diketahui mampu mengurangi bau dari air limbah. *Subsurface CWs* dapat diklasifikasikan lebih jauh lagi berdasarkan arah aliran yang terjadi, yaitu *vertical flow* (VF) dan *horizontal flow* (HF) (Tee, et al., 2012). Akan tetapi sistem VF merupakan sistem yang masih baru berkembang diantara sistem lainnya sehingga data mengenai kemampuannya jauh lebih sedikit daripada sistem HF (Frazer-Williams, 2010). Teknologi VF dikembangkan karena adanya permasalahan lahan yang tidak memadai untuk dikembangkan menggunakan system HF. Pada akhirnya, desain CWs bergantung kepada beban pencemar, lahan dan topografi yang tersedia, serta jumlah orang yang akan dilayani dengan CWs.

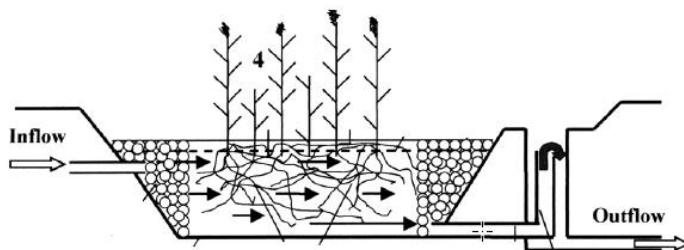
2.7 Hidrolik Aliran dari Constructed Wetlands

Constructed Wetland dapat diklasifikasikan ke dalam aliran horizontal maupun aliran vertikal. Dengan adanya perbedaan aliran, akan terdapat perbedaan proses yang terjadi di dalam CWS. CWS dengan aliran horizontal merupakan jenis CWS yang sering dibangun, akan tetapi aliran vertikal semakin dikenal luas seiring dengan lebih sedikitnya lahan yang dibutuhkan untuk membangun apabila dibandingkan dengan CWS yang menggunakan aliran horizontal (Vymazal, 2005).

2.7.1 Aliran Horizontal

Aliran *subsurface* horizontal merupakan konsep yang paling banyak digunakan sebagai konsep pembangunan CWS. Air limbah yang terdapat pada HF CWS mengalir secara horizontal melalui media penunjang dan bereaksi secara langsung terhadap zona aerobik, anoksik, serta anaerobik secara berurutan (Tee, et al., 2012).

HF CWS menerima air limbah secara terus menerus dari satu sisi menuju sisi seberang sehingga menjaga kondisi CWS tetap jenuh dalam air. Karena itulah kemungkinan terjadinya kontak antara air dan udara sangat kecil, dan transfer oksigen yang terbatas mengakibatkan kondisi pada HF CWS dominan anaerobik. HF CWS memiliki performa yang baik dalam menyisihkan pencemar dalam parameter COD, akan tetapi tidak cukup baik untuk menyisihkan nitrogen, yang disebabkan karena sedikitnya oksigen mengakibatkan penurunan proses nitrifikasi, walaupun proses denitrifikasi sangat tinggi. Skema dari HF CWS dapat dilihat pada gambar di bawah ini:

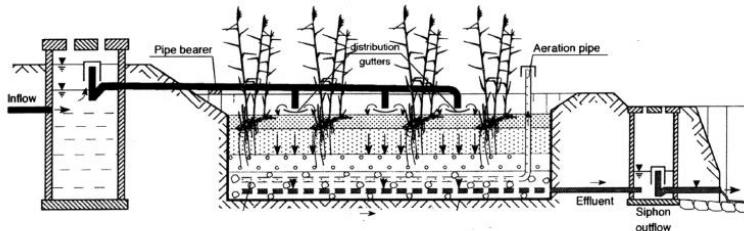


Gambar 2.4 Aliran Horizontal pada Constructed Wetland

Sumber: (Vymazal, 2010)

2.7.2 Aliran Vertikal

Berbeda dengan CWs yang menggunakan aliran horizontal, CWs yang menggunakan aliran vertikal tergolong sebagai konsep baru yang perkembangannya masih belum tersebar dengan baik apabila dibandingkan dengan aliran horizontal. Di dalam VF CWs, air limbah didistribusikan kepada seluruh permukaan media secara merata melalui sistem distribusi perpipaan dan melalui media filter secara vertikal (Tee, et al., 2012). Air limbah kemudian meresap turun dan akan diberi air limbah kembali ketika semua air limbah telah meresap turun dan *bed media* bebas dari air limbah (Vymazal, 2010). Hal ini memungkinkan terjadinya transfer oksigen dari udara menuju tanah sehingga membuat VF CWs memiliki kondisi aerobik yang lebih baik daripada HF CWs dan memberikan kondisi yang lebih sesuai terhadap terjadinya proses nitrifikasi.



Gambar 2.5 Aliran Vertikal dari Constructed Wetland

Sumber: (Randerson, 2006)

Di antara berbagai macam penelitian mengenai *constructed wetland*, terdapat beberapa penelitian terkait CWs menggunakan aliran horizontal maupun vertikal yang dapat dijadikan landasan penelitian kali ini. Penelitian yang telah dilakukan oleh para ahli sebelumnya dapat dijadikan sebagai sebuah acuan untuk melihat kemampuan penyisihan dari berbagai macam CWs, sehingga dapat diketahui seberapa besar kemampuan masing-masing CWs. Dengan mengetahui kemampuan CWs ini, maka dapat dilakukan perbandingan antara CWs satu dengan yang lainnya di dalam menyisihkan polutan. Beberapa penelitian terdahulu yang telah dilakukan berkaitan dengan sistem aliran dari CWs dapat dilihat pada Tabel 2.4:

Tabel 2.4 Penyisihan CWs Aliran Horizontal dan Vertikal

No	Sum ber	Jenis Wet land	Jenis Limbah	Jenis Tumbuhan	Media Filter	Para meter	% Penyisihan
1	(Brix & Arias, 2005)	Aliran Vertikal Turun	Air Limbah Domestik	<i>Phragmites australis</i>	Pasir d10 0,25-1.2 mm	BOD	92%
					Ammonium		78%
2	(Sharma, et al., 2014)	Aliran Vertikal Naik	<i>Secondary Treated Waste water</i>	<i>Canna indica</i>	Kerikil 8-12 mm dan pasir	COD	47%
					Ammonium		49.37%
3	(Chang, et al., 2010)	Aliran Horizontal Naik	Air limbah <i>Septic Tank</i>	<i>Iris versicolor</i>	<i>G media, PC media, pasir, Kerikil</i>	BOD	89.60%
					Ammonium		97.90%

Dari tabel di atas, dapat diketahui bahwa aliran vertikal turun menunjukkan efisiensi penyisihan ammonium yang lebih baik daripada aliran vertikal naik. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa proses nitrifikasi dapat terjadi dengan lebih baik pada aliran vertikal turun yang dapat meningkatkan aerasi sehingga terjadi proses oksigen transfer dari udara menuju air limbah.

2.8 Perkembangan Terbaru Constructed Wetland

Selama lebih dari tiga dekade perkembangan CWs, terdapat banyak pengembangan-pengembangan baru terkait dengan CWs untuk meminimalisir kelemahan masing-masing jenis CWs dalam rangka mengoptimalkan potensi dan keunggulan dari setiap jenis CWs. Terdapat beberapa perkembangan rekayasa baru terkait CWs, mulai dari *hybrid CWs*, resirkulasi *effluent*, *tidal operation*, *circular flow corridor*, and *baffled subsurface-flow CWs*.

2.8.1 Sistem *Hybrid* pada CWs

Saat ini, *hybrid* atau kombinasi dari penggabungan CWs aliran vertikal dan horizontal telah banyak dibangun secara bertahap untuk mencapai proses nitrifikasi dan denitrifikasi yang diinginkan (Abidi, et al., 2009). Karena sistem *hybrid* terdiri dari dua jenis CWs yang berbeda, maka nitrogen dapat ter-nitrifikasi pada VF CWs dan ter-denitrifikasi pada HF CWs. *Hybrid CWs* mengkombinasikan beberapa jenis CWs untuk meningkatkan efisiensi pengolahan (Vymazal, 2005). Terdapat beberapa jenis susunan *hybrid* yang dapat diterapkan pada CWs, mulai dari VF-HF *hybrid system*, HF-VF *hybrid system*, VF-VF-HF *hybrid system*, FWS-HF *hybrid system*, HF-FWS *hybrid system*, VF-HF-FWS *hybrid system*, dan masih banyak lagi. Akan tetapi efisiensi pengolahan total nitrogen pada masing-masing jenis *hybrid CWs* tidak terlalu signifikan, kecuali pada sistem *hybrid* yang menggabungkannya dengan aliran FWS, walaupun memang sistem *hybrid* mampu menyisihkan total nitrogen lebih baik daripada CWs dengan satu sistem VF atau HF saja (Vymazal, 2013).

2.8.2 Resirkulasi *Effluent*

Banyak CWs, terutama yang menggunakan sistem *hybrid*, mulai menggunakan sistem resirkulasi untuk meningkatkan efisiensi penyisihan pencemar seperti nitrogen. Di dalam sistem *hybrid* yang terdiri dari aliran HF-VF, aliran horizontal akan menghilangkan beban organik serta menciptakan kondisi yang baik untuk denitrifikasi, sedangkan sistem VF akan menitrifikasi ammonium menjadi nitrat. Untuk menghilangkan total nitrogen (terutama nitrat yang terbentuk dari hasil dari nitrifikasi) maka *effluent* dari sistem VF harus diresirkulasikan kembali menuju sistem HF sehingga nitrat dapat disisisikan (Brix, et al., 2003). Tujuan dari dilakukannya resirkulasi *effluent* agar efisiensi penyisihan total nitrogen dapat ditingkatkan. Hal ini menyebabkan resirkulasi membutuhkan pompa, sistem penyimpanan *effluent* limbah, serta sistem perpipaan tambahan, sehingga meningkatkan energi yang digunakan pada CWs.

2.8.3 *Tidal Operation*

Tidal operation merupakan metode yang digunakan untuk meningkatkan transfer oksigen yang sedikit di dalam CWs dengan

cara mengontrol siklus *flood and drain* air limbah secara periodik (Wu, et al., 2014). Di dalam sistem *tidal flow*, air limbah meresap naik ke atas permukaan membanjiri CWs, kemudian distribusi air limbah dihentikan selama waktu yang telah ditentukan, sebelum dilakukan pengeringan air limbah yang terdapat pada CWs (Vymazal, 2010). Cara ini juga membutuhkan sistem pompa dan pengendalian yang lebih rumit untuk menjaga kondisi pasang surut yang diharapkan dari *tidal operation*.

2.8.4 Sistem Circular Flow Corridor

Circular flow corridor system, atau disebut sistem koridor aliran melingkar, telah dikembangkan untuk meningkatkan sistem resirkulasi pada air limbah (Peng, et al., 2012). Pada sistem *circular flow corridor*, beberapa kompartemen dihubungkan pada koridor yang melingkar dan pada kompartemen terakhir, air yang melimpah akan kembali pada zona aliran limbah masuk pertama kali untuk kemudian dipompa kembali pada sistem (Wu, et al., 2014). Pengolahan ini tidak hanya meningkatkan penyisihan total nitrogen, akan tetapi juga mengencerkan konsentrasi pencemar yang masuk ke dalam sistem CWs dan bersentuhan langsung dengan tumbuhan maupun mikroorganisme yang ada pada kompartemen pertama.

2.8.6 Sistem Baffled Subsurface Flow CWs

Sistem *Baffled subsurface flow* CWs merupakan desain baru untuk CWs aliran horizontal yang memungkinkan terjadinya *downflow-upflow* untuk meningkatkan penyisihan beban pencemar (Tee, et al., 2012). Desain ini memungkinkan beban pencemar terolah pada kondisi aerobik, anoksik, serta anaerobik pada satu reaktor CWs (Wu, et al., 2014) dengan meletakkan *vertical baffled* dengan lebar yang sama dengan lebar CWs. *Baffle* atau sekat ini berfungsi untuk memaksa aliran air bergerak naik dan turun, bukan mengalir secara horizontal. Semakin banyak sekat yang digunakan, semakin meningkatkan performa karena memungkinkan terjadinya kontak antara air limbah dengan akar tumbuhan dan mikroorganisme di dalam media penyangga menjadi lebih lama.

Berikut ini merupakan kemampuan dari *constructed wetlands* dengan inovasi terbaru pada Tabel 2.5, dimana inovasi

dilakukan terhadap arah aliran. Baik secara melingkar (*circullar*) ataupun kombinasi *downflow-upflow*.

Tabel 2.5 Kemampuan Constructed Wetlands Inovasi Baru

No	Sum ber	Jenis Wet land	Jenis Lim bah	Jenis Tum buhan	Media Filter	Para meter	% Penyi sihan
1	(Tee, et al., 2012)	<i>Down flow-up-flow</i>	Air Lim bah Dome stik	<i>Typha Latifolia</i>	sekam dan kerikil dengan perbanding an 2:1	COD	67%
						Ammo nium	84%
2	(Peng, et al., 2012)	Aliran Circu llar	<i>Syn thetic Waste water</i>	<i>Phrag mites austra lis</i>	<i>Ceramsite Zeolite</i>	COD	94%
						Ammo nium	95.5%

Terdapat berbagai macam pengembangan terkait CWs dari waktu ke waktu dalam rangka meningkatkan performa dan meningkatkan efisiensi penyisihan pencemar, akan tetapi tetap membutuhkan lahan yang cukup luas ataupun memerlukan energi tambahan untuk sistem pemompaan ataupun pengaturan waktu timer. Untuk meminimalisir lahan yang dibutuhkan dalam membangun CWs tanpa menurunkan performa dari CWs, studi mengenai CWs menggunakan *downflow-upflow* yang saling terhubung, seperti pada aliran *baffled subsurface*, untuk mengatasi permasalahan pada CWs. Metode ini meningkatkan transfer oksigen dengan adanya aliran vertikal sehingga menyediakan zona aerobik yang cukup untuk proses nitrifikasi dan aliran naik akan menciptakan kondisi anoksik dan anaerobik yang memicu terjadinya proses denitrifikasi. Metode ini juga mengurangi luas lahan yang tidak dibutuhkan di dalam pembangunan CWs. Secara keseluruhan tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan desain baru dari *constructed wetland* untuk memecahkan permasalahan air limbah dengan ruang yang terbatas di Kota Surabaya.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Gambaran Umum Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menyisihkan polutan dari pengolahan air limbah domestik menggunakan kombinasi biofilter *downflow-upflow* dengan proses fitoteknologi. *Scirpus grossus* digunakan sebagai makrofita untuk menyisihkan polutan dari air limbah domestik. Media yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah pasir, kerikil dan kombinasi dari kerikil-pasir yang dipasang secara berjenjang, Parameter utama yang dianalisis adalah BOD, COD, dan Ammonium dengan parameter pendukung adalah berat kering dan berat basah tumbuhan, pH serta temperatur. Laju pertumbuhan dari *Scirpus grossus* akan diamati dan diukur pada waktu dan konsentrasi tertentu. Penelitian pendahuluan yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain adalah propagasi tumbuhan, tes kebocoran reaktor, serta aklimatisasi.

3.2 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian

Penelitian akan dilakukan bulan Januari hingga April 2017 di Workshop Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS dan analisis dilakukan di Laboratorium Remediasi Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS.

3.3 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian merupakan langkah-langkah ataupun tahapan aktivitas dari penelitian yang disusun secara berurutan. Kerangka penelitian dibutuhkan untuk membuat penelitian yang sistematis terkait dengan waktu serta dana yang terbatas. Kerangka penelitian memberikan gambaran umum dari kegiatan penelitian dan percobaan yang perlu dilakukan analisis. Penyusunan rangkaian kerja ataupun aktivitas penelitian mulai dari tahap persiapan hingga penyelesaian dilakukan agar penelitian dapat dilakukan secara efektif dan efisien sehingga dapat meminimalisir terjadinya kesalahan di dalam penelitian yang berdampak pada bertambahnya waktu serta dana yang dibutuhkan didalam pelaksanaan penelitian.

3.3.1 Ide Penelitian

Penelitian ini akan menganalisis efektivitas fitoteknologi kombinasi biofilter *downflow-upflow* menggunakan *Scirpus grossus* sebagai pengolahan air limbah domestik *grey water*. Kombinasi dari vertikal *downflow* and *upflow* diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penyisihan polutan dengan menggunakan proses biofiltrasi.

3.3.2 Studi Literatur

Studi literatur pada penelitian ini berasal dari peraturan pemerintah, jurnal, prosiding, tesis, buku, serta artikel dari seminar yang berkaitan dengan penelitian. Studi literatur meliputi baku mutu air limbah domestik, penggunaan fitoteknologi dalam penyisihan polutan, jenis-jenis CWs, media untuk filtrasi, kemampuan *Scirpus grossus* dalam fitoteknologi dan penelitian terdahulu mengenai CWs.

3.3.3 Variabel dan Parameter Penelitian

Variabel yang dimaksudkan dalam penelitian ini merupakan segala macam unsur, fitur, ataupun faktor yang bertanggung jawab di dalam terjadinya variasi dan perubahan pada penelitian. Variabel yang akan dilibatkan dalam penelitian ini ditentukan dengan membatasi proses yang terjadi sehingga analisis yang dilakukan dapat menjadi lebih akurat. Ada terdapat tiga macam variabel yang akan digunakan pada penelitian kali ini, yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Variabel bebas merupakan variabel yang diubah atau divariasikan oleh peneliti dengan tujuan untuk mencari tahu hubungan sebab akibat antara Variabel dengan penelitian. Sedangkan variabel terikat merupakan variabel yang ingin diketahui apakah memiliki hubungan secara langsung dengan variabel bebas atau tidak. Variabel kontrol merupakan semua variabel lain yang diinginkan berada dalam keadaan tetap, sehingga dampak dari variabel bebas dapat dianalisis dengan baik. Apabila terlalu banyak variabel yang berubah pada penelitian, maka sulit untuk menentukan dampak yang dihasilkan dari penelitian yang dilakukan akibat terlalu banyak variabel yang tidak terkontrol. Di bawah ini merupakan semua variabel yang akan digunakan pada penelitian kali ini:

Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

- Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini antara lain adalah variasi media filtrasi dan variasi konfigurasi desain reaktor. Variasi media filtrasi terdiri atas pasir, kerikil, serta kombinasi kerikil dan pasir yang dipasang secara berurutan. Sedangkan variasi konfigurasi desain reaktor menggunakan dua bentuk reaktor yang berbeda. Reaktor pertama dirancang memanjang, sedangkan reaktor kedua dirancang melintang. Walaupun memiliki perbedaan konfigurasi memanjang serta melintang, akan tetapi reaktor masih tetap memiliki prinsip kerja *downflow-upflow* dengan perbedaan yang signifikan pada luasan area *influent* serta panjangnya lintasan *upflow* akibat konfigurasi yang berbeda.

Tabel 3.1 Matriks variabel Bebas

Variasi Media	Variasi konfigurasi desain reaktor		Kontrol			Air PDA M
	Konfi gurasi pertama (Meman jang)	Konfi gurasi Kedua (Melin tang)	Tanpa Tumbu han Konfi gurasi Perta ma	Tanpa Tumbu han Konfi gurasi Kedua		
Kerikil	A1	B1	C1	C4	-	-
Pasir	A2	B2	C2	C5	-	-
Keri kil dan Pasir	A3	B3	C3	C6	C7	C8

- Variabel Terikat

Variabel terikat pada penelitian ini adalah konsentrasi polutan organik maupun *nutrient* dalam bentuk COD, fosfat, dan ammonium dari *spiked pond water* yang sudah diolah oleh reaktor.

- Variabel Kontrol

Variabel kontrol pada penelitian ini adalah kontrol tumbuhan dan air limbah *spiked pond water*. Kombinasi dari *Scirpus grossus* diletakkan reaktor dengan kompartemen *downflow-upflow* secara berurutan. Sebagai kontrol terhadap tumbuhan, air PDAM akan digunakan pada media berisi tumbuhan sedangkan kontrol terhadap air limbah dengan menggunakan media filtrasi tanpa adanya tumbuhan.

Parameter merupakan faktor yang dapat diukur yang mendefinisikan suatu sistem ataupun menetapkan kondisi operasinya. Dengan kata lain, parameter merupakan referensi untuk menentukan karakteristik suatu anggota dari sistem yang digunakan dalam penelitian, walaupun bisa jadi parameter akan yang digunakan tersebut sudah tepat ataupun tidak. Terdapat dua parameter yang akan digunakan pada penelitian ini, yaitu parameter utama dan parameter penunjang. Di bawah ini merupakan parameter yang akan digunakan secara lebih rinci:

- Parameter Utama

Parameter utama pada penelitian ini adalah parameter BOD, COD, fosfat, dan ammonium.

- Parameter Penunjang

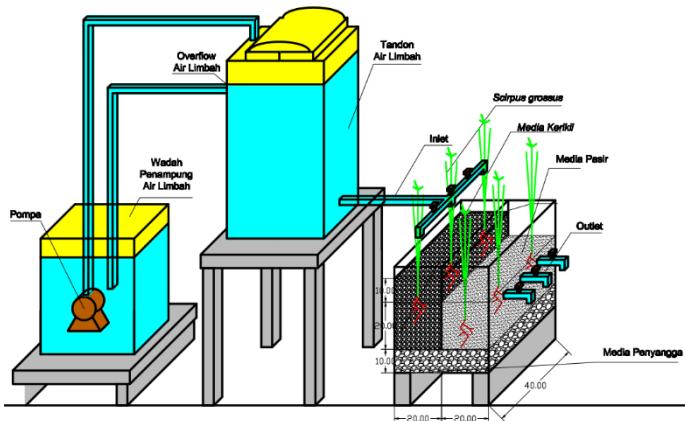
Parameter Penunjang pada penelitian ini adalah berat basah dan berat kering tumbuhan, suhu, pH, serta pengamatan mikroorganisme pada reaktor uji.

3.3.4 Persiapan Penelitian

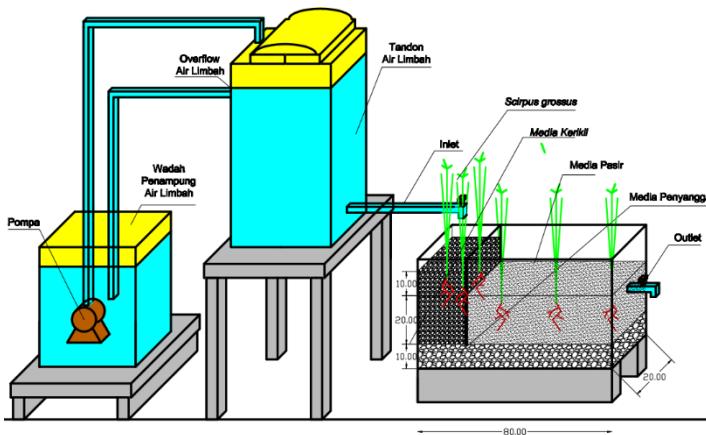
Terdapat beberapa peralatan dan bahan yang harus disiapkan untuk melaksanakan penelitian ini. Berikut ini peralatan yang dibutuhkan di dalam pelaksanaan penelitian, yaitu:

- Reaktor tempat propagasi tumbuhan menggunakan kontainer plastik berukuran 38 x 28 x 25 cm dengan volume total mencapai 25 L.
- Reaktor untuk uji biofiltrasi di dalam kontainer *fiber* dengan volume bersih 48 liter.
- Jerigen sebagai wadah air limbah.
- pH meter dan *thermometer* portable.
- Penggaris untuk mengukur tinggi tumbuhan.
- Neraca untuk menimbang berat tumbuhan.

- Spektrofotometer.
- Alat untuk analisis BOD, COD, fosfat, dan ammonium terlampir.



Gambar 3.2 Bentuk 3D Reaktor Konfigurasi Melintang

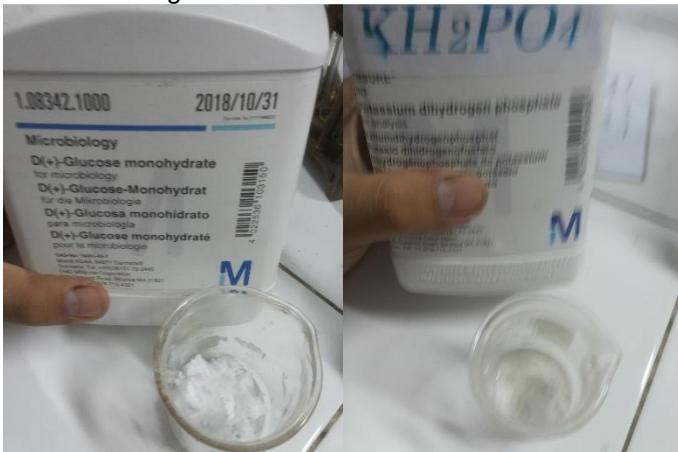


Gambar 3.3 Bentuk 3D Reaktor Konfigurasi Memanjang

Bahan Yang dibutuhkan:

- *Spiked pond water*

Spiked pond water merupakan air kolam yang konsentrasi pencemar seperti COD serta ammoniumnya akan ditingkatkan dengan penambahan zat kimia sehingga dapat merepresentasikan air limbah domestik *grey water*. COD dapat ditingkatkan melalui penambahan glukosa, sedangkan ammonium dan fosfat dapat ditingkatkan menggunakan ammonium klorida serta kalium dihidrogen fosfat.



Gambar 3.4 Bahan Pembuatan Larutan *Spiked*

- Air PDAM
 - Penelitian ini akan menggunakan air PDAM yang sebelumnya telah diletakkan pada kontainer selama 1-2 hari untuk mengendapkan partikel tersuspensi secara gravitasi.
- Media Filter
 - Media filter yang akan digunakan adalah kerikil dengan diameter 5-12 mm dan pasir dengan diameter 0,6-2 mm.
- Tumbuhan *Scirpus grossus*
 - Untuk mendapatkan hasil yang akurat, penelitian ini akan menggunakan tumbuhan dengan rata-rata usia

yang sama. Tumbuhan yang digunakan merupakan tumbuhan yang sehat serta merupakan generasi kedua dari hasil propagasi.

- Bahan untuk analisis BOD, COD dan ammonium terlampir.

Setelah semua alat dan bahan telah dipersiapkan, maka dapat dilakukan penelitian pendahuluan untuk menunjang keberlangsungan dari penelitian utama. Di dalam penelitian pendahuluan, akan disiapkan pula tumbuhan yang dapat beradaptasi dengan air limbah. Penelitian pendahuluan ini terdiri dari beberapa tahap, yaitu propagasi, tes kebocoran reaktor, serta aklimatisasi.

- Propagasi

Propagasi tumbuhan dilakukan untuk memperbanyak generasi kedua dari tumbuhan yang akan digunakan pada penelitian. Selama propagasi, laju pertumbuhan tumbuhan akan diukur dengan mengamati karakteristik fisik *Typha angustifolia* dan *Scirpus grossus* yang meliputi panjang batang, jumlah daun dan diameter batang. Penggunaan tumbuhan dengan usia dan tinggi sama yang digunakan pada setiap tahapan penelitian bertujuan untuk memperoleh kondisi awal yang sama dan meminimisasi faktor pengganggu dari segi usia dan kemampuan tumbuhan. Fase ini dilakukan minimal satu bulan hingga tumbuhan tumbuh pada bentuk dan ukuran optimal.

- Tes Kebocoran Reaktor

Reaktor harus melalui uji persiapan sebelum digunakan untuk air limbah. Persiapan ini meliputi pelapisan pertemuan antara sisi fiber dengan lem, tes kebocoran dan ketahanan reaktor. Tes kebocoran berfungsi untuk memastikan tidak ada kebocoran sehingga air limbah dapat terolah sepenuhnya dalam reaktor. Tes ketahanan dilakukan untuk memastikan reaktor mampu menampung media, tumbuhan dan air limbah tanpa kerusakan.

- Aklimatisasi

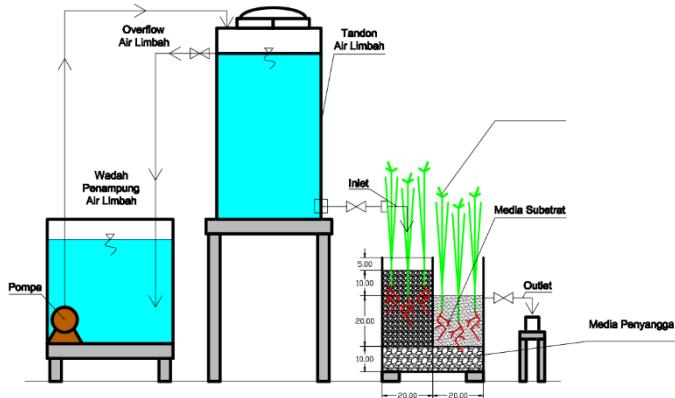
Aklimatisasi tumbuhan dilakukan agar tumbuhan mampu beradaptasi dengan kondisi reaktor dan media yang akan digunakan pada tahap RFT dan penelitian utama. Proses ini dilakukan dengan meletakkan tumbuhan di dalam reaktor selama 7 hari berturut-turut dengan media kerikil dan pasir yang dialirkan air PDAM tanpa adanya air limbah. Pada kondisi ini diharapkan tumbuhan dapat beradaptasi dengan kondisi reaktor dan dapat diamati kondisi yang dapat diterima tumbuhan untuk tetap hidup pada kondisi sehat (tidak layu ataupun mati). Tumbuhan yang mampu bertahan pada fase ini digunakan untuk tahap selanjutnya yaitu RFT dan penelitian utama.

3.3.5 Penelitian Utama

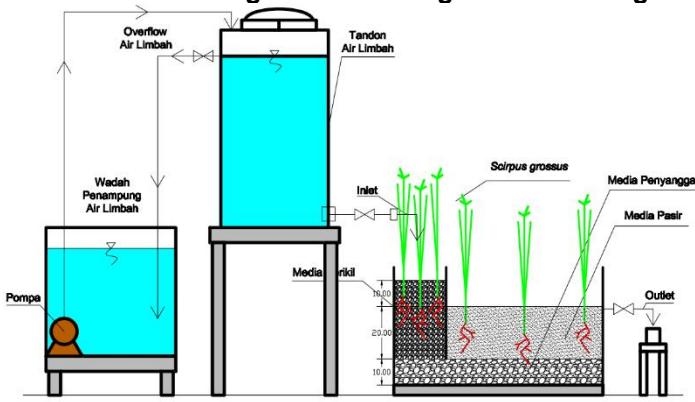
Penelitian utama meliputi proses biofiltrasi dari fitoteknologi dengan menggunakan reaktor yang telah dipersiapkan dan telah sebelumnya digunakan pada tahap aklimatisasi. Penelitian ini menggunakan aliran kontinu dengan waktu tinggal hidraulik selama tiga hari. Persiapan yang dibutuhkan antara lain persiapan air limbah buatan dan reaktor yang telah terisi tumbuhan. Variasi dari penelitian ini adalah variasi media filtrasi yaitu pasir, kerikil, kombinasi kerikil dan pasir secara berurutan. Berikut merupakan diagram alir penelitian utama.

Pada penelitian utama, setiap reaktor memiliki diagram alir yang sama dimana air ditampung pada tandon bawah sebelum kemudian dipompakan menuju tandon atas. Tandon atas difungsikan untuk menjaga *head* tetap sama setiap waktu.

Pada penelitian ini akan digunakan HRT selama 3 hari dan dilakukan terus menerus selama 1 bulan. Dasar digunakannya waktu tinggal hidraulik selama tiga hari adalah penelitian Li-hua et al. (2006) di mana efisiensi penyisihan polutan di dalam CWs meningkat seiring dengan perpanjangan HRT dalam musim yang sama namun perbedaan laju penyisihan antara HRT 3 dan 5 hari tidak terlalu signifikan maka direkomendasikan HRT yang digunakan adalah selama 3 hari.



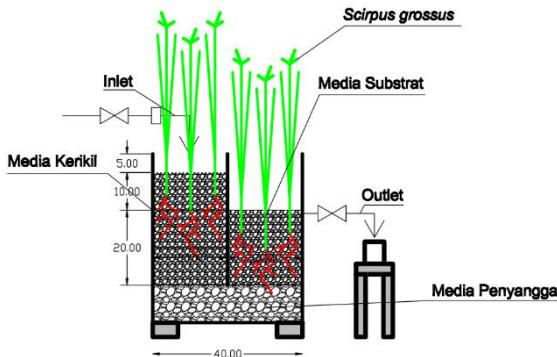
Gambar 3.5 Diagram Alir Konfigurasi Melintang



Gambar 3.6 Diagram Alir Konfigurasi Memanjang

Untuk setiap reaktor, pada bagian inlet, terdapat tambahan kerikil setinggi 10 cm yang memiliki fungsi sebagai zona aerasi yang akan meningkatkan oksigen transfer dari udara menuju air limbah yang disebabkan karena adanya perbedaan zona jenuh dan tidak jenuh, sehingga pada zona downflow, dapat terjadi reaksi nitrifikasi dengan baik. Selain itu zona aerasi ini diharapkan dapat menjadi batas aman agar ketika terjadi limpahan air limbah yang masuk ke dalam reaktor, tidak terjadi luapan akibat headloss ketika air limbah melewati media filter. Setelah air limbah melalui

serangkaian media filter, air akan keluar menuju outlet yang berada di bagian ujung terjauh dari inlet.



Gambar 3.7 Reaktor Konfigurasi Melintang

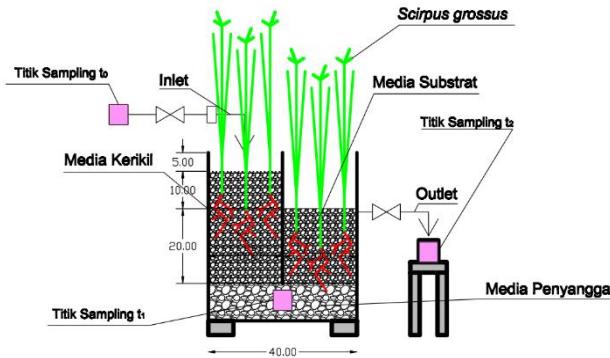
3.3.6 Observasi Hasil Penelitian

Observasi dilakukan terhadap kualitas air limbah pada hari dimulainya percobaan, setiap kelipatan 3 hari, selama satu bulan, sehingga nantinya akan didapatkan 10 titik sampel yang dapat menggambarkan kemampuan reaktor didalam pengolahan air limbah yang dapat digambarkan dengan:

- Pertumbuhan tumbuhan
- Ciri fisik tumbuhan setelah terpapar air limbah
- Pengecekan pH dan suhu.

3.3.7 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data penyisihan zat pencemar dilakukan dengan mengambil sampel air limbah pada inlet sebagai karakteristik awal, pada pertemuan antara zona *downflow* dan zona *upflow*, serta pada *effluent*. Pengukuran BOD hanya dilakukan pada *influent* serta pada akhir pengukuran *effluent* untuk mengetahui penurunan BOD secara garis besar serta rasio dari BOD/COD dari air limbah. Untuk parameter COD, fosfat, serta ammonium akan diuji setiap kali pengambilan sampel di semua titik yang ada.



Gambar 3.8 Titik Sampling Konfigurasi Melintang

3.3.8 Analisis dan Pembahasan

Analisis data dilakukan berdasarkan hasil observasi dan pengumpulan data. Hasil penyisihan kandungan pencemar dianalisis berdasarkan parameter yang telah ditetapkan, yaitu:

- BOD
- COD
- Ammonium
- Fosfat

Hasil dari analisis ini akan diubah ke dalam bentuk tabel dan grafik untuk melihat kecenderungan hasil dari penelitian.

Pembahasan dilakukan berdasarkan analisis data serta dibantu dengan observasi dan studi literatur untuk mengetahui penyebab dari perubahan yang terjadi akibat dari adanya penelitian. Pembahasan dilakukan untuk menjawab hubungan yang dimiliki dari variabel bebas terhadap variabel terikat.

3.3.9 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dari penelitian ini didapatkan berdasarkan analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan. Dengan membandingkan antara hipotesis yang dibuat sebelum penelitian dilaksanakan dengan hasil penelitian, dapat diketahui apakah hipotesis yang dibuat benar atau tidak.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB 4 **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Keberhasilan dari sebuah penelitian ditentukan oleh hasil penelitian untuk menjawab tujuan yang ingin dicapai. Sehingga, pada penelitian kali ini, diharapkan hasil yang didapatkan dapat menunjukkan perbedaan kemampuan yang signifikan, baik dari penggunaan media maupun konfigurasi desain reaktor yang berbeda. Perbedaan dari kemampuan penggunaan media maupun konfigurasi desain ini akan dibandingkan berdasarkan kemampuan penyisihan beban pencemar melalui beberapa parameter, yakni BOD, COD, ammonium, nitrat, serta fosfat. Hasil dari analisis akan digunakan sebagai dasar dalam penarikan kesimpulan pada penelitian kali ini.

4.1 Karakteristik *Spiked Pond Water*

Air limbah yang digunakan pada penelitian kali ini merupakan *spiked pond water* yang dibuat sebagai limbah artifisial untuk mendekati nilai dari limbah *grey water* yang ada di Kota Surabaya. Penentuan karakteristik *spiked pond water* diperlukan sebagai nilai kandungan awal sehingga bisa didapatkan selisih nilai dari kandungan akhir setelah pengolahan yang dihitung sebagai kemampuan penyisihan beban pencemar oleh biofilter.

4.1.1 Uji Karakteristik *Grey Water*

Di dalam menentukan karakteristik air limbah *spiked pond water*, maka perlu diketahui terlebih dahulu karakteristik dari air limbah *grey water* serta *pond water* yang akan digunakan sebagai air dasar untuk membuat *spiked pond water*.

Pada penelitian kali ini, digunakan 3 sumber air limbah sebagai dasar pembuatan *spiked pond water*. Air limbah yang pertama diambil dari saluran drainase Arif Rahman Hakim yang berada dekat dengan pemukiman penduduk dan jalan raya yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. Air limbah yang kedua diambil dari sungai Kalidami dimana sungai ini menjadi tempat akhir aliran saluran drainase pada pemukiman daerah Mulyorejo serta Perumahan Wisma Permai yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Sedangkan air limbah ketiga merupakan air limbah *pond water* yang berasal dari hasil olahan IPAL yang berada di Jurusan Teknik Lingkungan ITS yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.1 Lokasi Sampling Air Limbah Jalan Arif Rahman Hakim

Pada Gambar 4.1, dapat diketahui bahwa lokasi sampling pertama berdekatan dengan perempatan jalan besar antara *middle east ring road* dengan Jalan Arif Rahman Hakim, dan apabila melihat foto lokasi sampling, terlihat bahwa di seberang jalan yang berbatasan langsung dengan saluran drainase merupakan gang pemukiman warga yang berada di kawasan sekitar. Air limbah yang berasal dari pemukiman sekitar saluran drainase membuang air limbahnya ke sana sehingga air limbah yang ada merupakan air limbah drainase tercampur.

Pada titik sampling kedua, diambil air limbah yang berasal dari sungai, akan tetapi berbatasan dengan pemukiman warga yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 lokasi Sampling Air Limbah Sungai Kalidami

Sampel diambil pada bagian tengah badan sungai melalui jembatan kecil yang terdapat diantara jalan menuju perumahan wisma permai dan pemukiman di daerah Tegal Mulyorejo yang dihubungkan dengan jembatan yang dapat dilihat pada Gambar 4.2. Air drainase dan air limbah yang berasal dari daerah pemukiman di Tegal Mulyorejo dibuang menuju badan sungai

sehingga dianggap kualitas sungai mampu merepresentasikan air limbah drainase tercampur.

Lokasi sampling terakhir merupakan air yang berasal dari kolam indikator IPAL Departemen Teknik Lingkungan FTSP ITS Surabaya. Sampling pada lokasi ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan *pond water* yang akan di-spiked dengan air drainase tercampur yang ada di Surabaya. Akan tetapi pada pembuatan larutan spiked, akan terus dilakukan sampling pada air kolam indikator IPAL Departemen Teknik Lingkungan untuk memastikan konsentrasi larutan *spiked* yang dibutuhkan. Pada Gambar 4.3, dapat dilihat bahwa letak kolam berada jauh dari jalan raya sehingga tidak rentan tercemar oleh polusi kendaraan.



Gambar 4.3 Lokasi Sampling Pond Water TL ITS

Dari ketiga sampel air limbah ini dibandingkan berdasarkan parameter BOD, COD, ammonium, nitrat, dan fosfat. Hasil yang didapatkan dari ketiga sampel ini akan dibandingkan untuk diambil nilai pencemar yang paling tinggi untuk masing-masing parameternya. Nilai pencemar tertinggi ini akan digunakan sebagai dasar dalam menentukan nilai parameter kandungan awal *spiked pond water*. Nilai kandungan pencemar dari ketiga sumber air limbah dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Uji Karakteristik Air Limbah

Sumber Air	COD (mg/L)	Ammonium (mg/L)	Fosfat (mg/L)
Arif Rahman Hakim	41,2	6,5	1,415
Kalidami	32,96	11,7	1,69
Pond Water	148,32	8,4	1,21

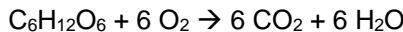
4.1.2 Pembuatan Larutan *Spiked Pond Water*

Setelah mendapatkan hasil uji karakteristik air limbah, maka dapat dilakukan penentuan kualitas air limbah untuk *spiked pond water* yang akan digunakan pada penelitian kali ini. Nilai beban pencemar yang direncanakan akan digunakan sebagai karakteristik air limbah *spiked pond water* kali ini adalah sebagai berikut:

COD	: ± 200 mg/L
Ammonium	: ± 20 mg/L
Fosfat	: ± 2 mg/L

Pada pembuatan *spiked pond water kali ini*, digunakan *pond water* yang berada di Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Agar air dari *pond water* sesuai dengan nilai beban pencemar yang diinginkan, maka dilakukan penambahan bahan kimia sehingga dapat mencapai nilai yang diinginkan. Glukosa digunakan sebagai larutan *spiked zat organik* parameter COD pada *pond water* Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Sedangkan untuk ammonium dan fosfat menggunakan senyawa NH₄Cl dan KH₂PO₄.

Untuk menentukan jumlah glukosa yang harus ditambahkan pada *pond water*, maka dilakukan perhitungan secara teoritis berdasarkan persamaan sebagai berikut:



Karena COD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk memecahkan senyawa organik, maka perhitungan jumlah glukosa didasarkan pada jumlah O₂ (COD) yang ditentukan sebelumnya.

Dengan penentuan COD sebesar 200 mg/L dan diketahui bahwa masa molekul relatif dari O₂ dan C₆H₁₂O₆ berturut-turut adalah 31,99 dan 180,156, maka dapat dihitung jumlah kebutuhan glukosa sebagai berikut:

$$\frac{X}{n\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \cdot mr\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6} = \frac{200}{n\text{O}_2 \cdot mr\text{O}_2}$$

$$\frac{X}{1x 180,156} = \frac{200}{6x 31,99}$$

$$X = 187,668 \text{ mg/L}$$

$$\text{Glukosa} = 0,187668 \text{ g/L}$$

Dari perhitungan di atas, diketahui bahwa jumlah glukosa yang dibutuhkan untuk membuat 1 liter larutan dengan COD sebesar 200 mg/L adalah 0,187668 gram.

Sedangkan, di dalam menentukan jumlah NH_4Cl dan KH_2PO_4 , cukup dengan mengetahui mr dari senyawa yang digunakan dan dihitung sesuai nilai konsentrasi ammonium dan fosfat yang telah ditentukan dengan persamaan berikut:

Kebutuhan NH_4Cl :

$$\frac{X}{n\text{NH}_4\text{CL} \cdot mr\text{NH}_4\text{CL}} = \frac{20}{nN\text{NH}_4 \cdot mr\text{NH}_4}$$

$$\frac{X}{53,491} = \frac{20}{18,04}$$

$$X = 59,303 \text{ mg/L}$$

$$\text{NH}_4\text{Cl} = 0,0593 \text{ g/L}$$

Kebutuhan KH_2PO_4 :

$$\frac{X}{n\text{KH}_2\text{PO}_4 \cdot mr\text{KH}_2\text{PO}_4} = \frac{20}{n\text{PO}_4 \cdot mr\text{PO}_4}$$

$$\frac{X}{136,086} = \frac{2}{94,971}$$

$$X = 2,866 \text{ mg/L}$$

$$\text{KH}_2\text{PO}_4 = 0,0287 \text{ g/L}$$

Dari persamaan ini dapat diketahui bahwa untuk 20 mg/L NH_4^+ dibutuhkan NH_4Cl sebanyak 0,0593 g/L, sedangkan untuk 2 mg/L PO_4^{3-} , dibutuhkan KH_2PO_4 sebesar 0,0287 g/L.

Untuk mengetahui jumlah glukosa yang perlu ditambahkan, maka perlu diketahui nilai COD yang perlu ditingkatkan dari air limbah menggunakan persamaan:

$$C1 V1 + C2 V2 = C3 (V1+V2)$$

Dimana $C1 V1$ merupakan konsentrasi dan volume air *pond water*, $C2 V2$ merupakan konsentrasi dan volume larutan *spiked*, serta $C3 V3$ adalah konsentrasi yang diinginkan. Oleh karena itu sangat penting untuk mengetahui nilai COD dari *pond water* sehingga dapat diketahui jumlah penambahan glukosa yang dibutuhkan untuk mencapai COD 200 mg/L.

Perlu dilakukan pengukuran COD yang teratur pada setiap kali sampling dilakukan karena konsentrasi beban pencemar yang terdapat pada air limbah *pond water* sangat fluktuatif, yang disebabkan karena *pond water* berasal dari air buangan ABR yang ada di Departemen Teknik Lingkungan, sehingga konsentrasi yang ada di dalam *pond water* bergantung kepada seberapa besar konsentrasi *effluent* ABR saat air diambil serta ada tidaknya hujan yang turun sebelum pengambilan sampel dilakukan.

Pada pengambilan air pertama kali, diketahui bahwa *pond water* memiliki konsentrasi COD sebesar 121,7 mg/L, ammonium sebesar 36,2 mg/L, serta fosfat sebesar 1,3 mg/L. Oleh karena itu, berdasarkan $C1 V1 + C2 V2 = C3 V3$, dibutuhkan penambahan 1 liter *spiked* dengan konsentrasi COD 39,262 mg/L dan konsentrasi KH_2PO_4 sebesar 403,4 mg/L. Tidak diperlukannya penambahan NH_4Cl karena konsentrasi ammonium yang ada sudah melampaui batas yang diinginkan, yaitu 20 mg/L. Karena sudah diketahui sebelumnya bahwa 0,188 gram glukosa dalam 1 liter aquades memiliki nilai COD 200 mg/L, maka dapat digunakan persamaan:

$$\frac{X}{39.262} = \frac{0,188 \text{ g/L}}{200 \text{ mg/L}}$$

$$X = \frac{0,188 \frac{\text{g}}{\text{L}} \times 39.262 \text{ mg/l}}{200 \text{ mg/L}}$$

$$X = 36,8408 \text{ g/L}$$

Melalui persamaan di atas, dapat diketahui pula jumlah penambahan KH_2PO_4 yang dibutuhkan dalam pembuatan air limbah *spiked pond water*, yaitu:

$$\frac{X}{403,4} = \frac{0,00287 \text{ g/L}}{2 \text{ mg/L}}$$

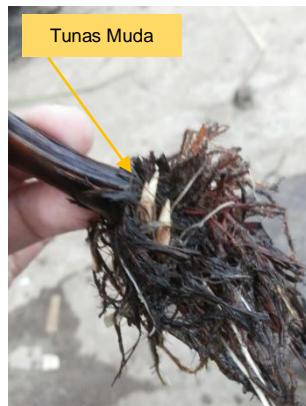
$$X = 0,57809 \text{ g/L}$$

Setelah diketahui kebutuhan penambahan glukosa dan KH_2PO_4 yang diperlukan, kemudian larutan *spiked* ini dicampurkan secara homogen dengan air limbah yang berasal dari *pond water* menggunakan pompa selama kurang lebih 2 jam untuk memastikan bahwa larutan *spiked* dan *pond water* teraduk secara merata.

4.2 Tahap Propagasi

Tahap propagasi merupakan tahapan proses dalam penelitian untuk mendapatkan tunas baru (*second generation*) hasil perkembangbiakan dari tumbuhan *Scirpus grossus*. Tahap ini dibutuhkan untuk memastikan ketersediaan jumlah tumbuhan yang digunakan dalam penelitian. Tumbuhan yang digunakan pada penelitian ini diharapkan memiliki usia yang sama untuk menghindari terjadinya bias pada hasil penelitian. Oleh karena itu, tahap propagasi juga digunakan sebagai tahapan untuk mengetahui laju pertumbuhan (*growth rate*) dari tumbuhan *Scirpus grossus*. Tumbuhan yang berasal dari tunas baru ini nantinya akan dipilih berdasarkan usia yang didapatkan dari hasil pengamatan laju pertumbuhan yang digunakan untuk uji kemampuan biofilter *downflow-upflow*. Pertumbuhan tunas baru dapat dilihat pada Gambar 4.4 dimana tunas muncul pada bagian sekitar akar.

Tunas yang tumbuh pada satu tumbuhan tidak menentu jumlahnya dan berkisar antara 1 hingga 5 tunas, akan tetapi yang nantinya akan tumbuh menjadi besar tidak semua tunas. Selama masa propagasi, maksimal hanya 2 tunas pada satu induk yang dapat tumbuh menjadi tumbuhan generasi kedua. Sisa tunas yang lain akan layu dan mati dan menjadi bagian dari akar tumbuhan yang akan tumbuh dari tunas yang masih bertahan.



Gambar 4.4 Pertumbuhan Tunas *Scirpus grossus*

Tumbuhan *Scirpus grossus* yang digunakan di dalam tahap propagasi didapatkan pada daerah rawa yang berada di daerah Rungkut Surabaya. Tumbuhan yang didapatkan ini kemudian ditumbuhkan pada media tanah dengan air tergenang setelah dipotong terlebih dahulu hingga panjang daunnya hanya mencapai ± 20 cm. Penumbuhan pada media tanah dengan air tergenang dimaksudkan untuk meniru habitat asli dari lingkungan rawa dimana tumbuhan *Scirpus grossus* berasal, sedangkan pemotongan panjang daun dilakukan untuk mempercepat pertumbuhan tunas dari tumbuhan.



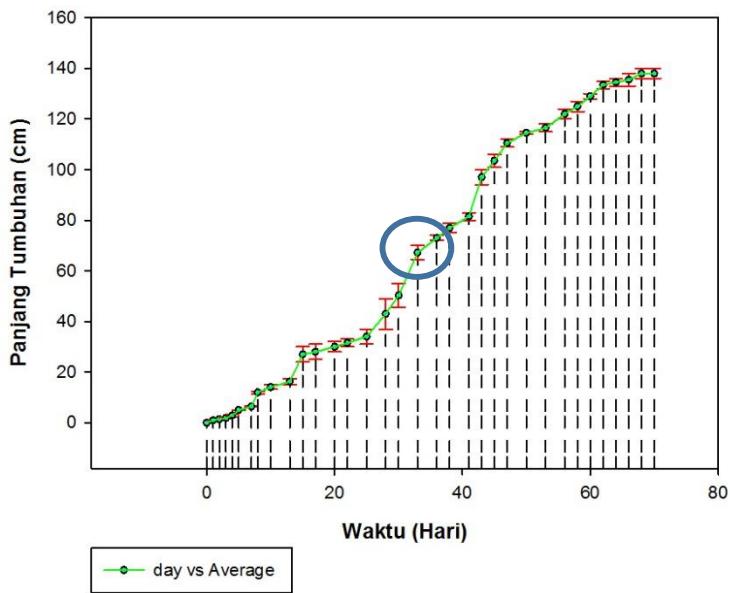
**Gambar 4.5 Penumbuhan *Scirpus grossus* di Rumah Kaca
Teknik Lingkungan**

Di dalam melakukan pengamatan laju pertumbuhan *Scirpus grossus*, digunakan karakteristik dari pertumbuhan panjang tumbuhan. Sehingga, untuk menentukan umur tumbuhan yang akan digunakan pada tahap selanjutnya, akan digunakan panjang tumbuhan untuk mewakili umur yang diinginkan. Pada penelitian ini digunakan tumbuhan sebelum memasuki tahap generatif atau munculnya bunga, yang menandakan laju pertumbuhan menuju ke arah stabil (stasioner). Tahap generatif *Scirpus grossus* ditunjukkan dengan tumbuhnya bunga.



Gambar 4.6 Fase Generatif *Scirpus grossus* di Daerah Rungkut Surabaya

Setelah dilakukan pengamatan selama kurang lebih 2 bulan, diketahui laju pertumbuhan tumbuhan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.7. Dari grafik laju pertumbuhan ini, diketahui bahwa pada saat umur tumbuhan mencapai 33 hari memiliki laju kenaikan pertumbuhan yang paling tinggi sebelum mencapai masa generatif, sehingga pada tahap selanjutnya digunakan tumbuhan dengan panjang berkisar antara 65-75 cm. Alasan penggunaan tumbuhan dengan usia ini adalah karena tumbuhan belum mencapai tahap generatif dan sedang berada pada fase eksponensial sehingga diharapkan dapat menyerap beban pencemar pada air limbah secara maksimal. Hal ini dikarenakan pada umur tersebut, tumbuhan berada pada titik pertumbuhan paling tinggi selama masa propagasi berlangsung, sebelum menunjukkan perubahan fase menuju fase generatif.



Gambar 4.7 Laju Pertumbuhan *Scirpus grossus*

4.3 Tahap Aklimatisasi

Setelah menentukan umur tumbuhan *Scirpus grossus* yang digunakan, maka dapat dilakukan tahap aklimatisasi, yaitu tahap bagi tumbuhan untuk beradaptasi dengan lingkungan baru, yang pada penelitian ini berupa reaktor uji biofilter *downflow-upflow*. Proses aklimatisasi dilakukan selama 7 hari dengan memperhatikan kondisi fisik dari tumbuhan apakah dapat bertahan hidup atau tidak. Hal ini ditunjukkan dengan ada tidaknya tumbuhan dengan kondisi mati atau layu. Tahap aklimatisasi dapat dilihat pada gambar

Setelah memastikan bahwa tumbuhan tidak mengalami kondisi mati atau layu, maka dapat disimpulkan bahwa tumbuhan telah mampu beradaptasi dengan lingkungan baru, yaitu reaktor uji biofilter, sehingga penelitian dilanjutkan pada penelitian utama dengan memberikan air limbah pada biofilter.

4.4 Uji Kemampuan Biofilter Downflow-Upflow

Uji kemampuan pada penelitian utama dilakukan dengan cara mengalirkan air limbah berupa *spiked pond water* secara kontinyu terhadap biofilter yang berisikan tumbuhan *Scirpus grossus* yang telah melalui tahap aklimatisasi serta media filter. Konsentrasi yang digunakan pada penelitian utama merupakan konsentrasi yang telah sebelumnya direncanakan pada tahap pembuatan *spiked pond water*. Pada penelitian utama, ditetapkan bahwa HRT air limbah di dalam reaktor biofilter adalah 3 hari.

Penelitian utama dilaksanakan selama 1 bulan dengan rincian analisis dilakukan pada pembuatan air limbah di awal, 3 hari pertama, pada akhir bulan, serta rentang waktu diantara 3 hari pertama dan hari terakhir. Penelitian dilakukan selama 1 bulan untuk mendapatkan hasil yang lebih stabil, karena tumbuhan yang digunakan merupakan tumbuhan pada fase eksponensial sehingga diharapkan dengan waktu penelitian selama 1 bulan, dapat mengetahui kemampuan tumbuhan dalam penyerapan polutan hingga fase generatif yang ditandai dengan pertumbuhan konstan dan tumbuhnya bunga.

Berdasarkan penelitian Ningsih pada tahun 2017, diketahui bahwa tumbuhan *Scirpus grossus* mampu menerima beban COD pada 3 liter air limbah sebesar 770,92 mg/L dengan tiga tumbuhan yang memiliki berat kering 10,213 gram masing-masingnya. Oleh karena itu, dapat diketahui kemampuan tiap tumbuhan menerima beban COD menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Kemampuan Tumbuhan} &= \frac{\text{Volume} \times \text{Konsentrasi}}{\text{jumlah}} \\ &\quad \text{tumbuhan} \times \text{berat kering} \\ &\quad \text{tumbuhan} \\ &= \frac{(3L \times 770,92 \text{ mg/L})}{(4 \times 10,213 \text{ g})} \\ &= 2312,76 \text{ mgCOD/ 40,852g} \\ &= 0,0566 \text{ g.COD/ g. } S. \text{ grossus}\end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, diketahui bahwa tumbuhan *Scirpus grossus* mampu menerima beban limbah sebesar 0,0566 g.COD/g. *S. Grossus*, atau sama dengan 56,6 mgCOD/tumbuhan *S.grossus*.

Rata-rata kebutuhan air limbah setiap reaktor secara keseluruhan adalah 14,4 liter air limbah. Dengan konsentrasi mencapai 200 mgCOD/L, maka beban COD yang perlu dihilangkan adalah 2880 mgCOD. Menggunakan kemampuan penyisihan tumbuhan sebesar 56,6 mgCOD/tumbuhan, maka dibutuhkan tumbuhan *Scirpus grossus* sebanyak 50,88 gram berat kering. Pada penelitian kali ini digunakan tumbuhan *Scirpus grossus* dengan berat kering sebesar 8,365 gram, sehingga dibutuhkan *Scirpus grossus* sebanyak 6 tumbuhan untuk menyisihkan air limbah dengan konsentrasi 200 mgCOD/L. Karena reaktor terbagi menjadi dua kompartemen, maka tumbuhan yang digunakan berjumlah 6 tumbuhan dengan 3 tumbuhan pada masing-masing kompartemen.

4.4.1 Analisis Parameter pH dan Suhu

Pada penelitian kali ini, parameter pH dan suhu merupakan parameter pendukung yang penting untuk melakukan analisis mengenai proses yang terjadi di dalam reaktor biofilter. pH dan suhu merupakan parameter yang saling berkaitan dimana apabila terjadi perubahan suhu, maka dapat mempengaruhi pH air, dan begitu pula sebaliknya.

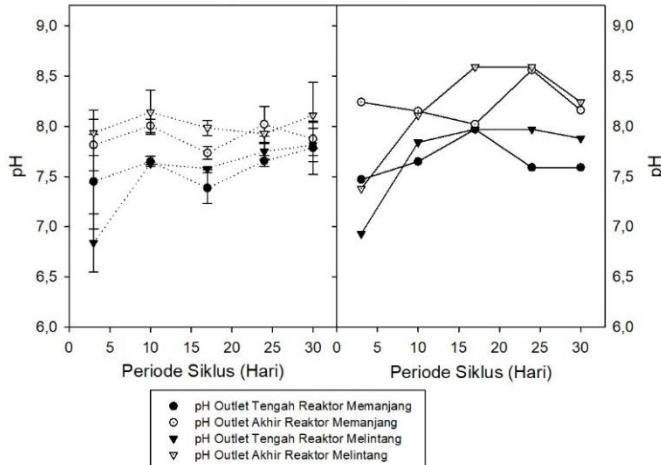
pH mempengaruhi kinerja dari bakteri dalam menurunkan pencemar kimia dalam air, dimana ketika pH keluar dari rentang 4,0 – 9,5 maka keadaan mikroorganisme pembantu tidak dapat hadir dalam keseluruhan reaksi di dalam *wetland* (Kadlec & Wallace, 2009). Perubahan bentuk ini juga terkait dengan perubahan bentuk ammonium pada air menjadi ammonia yang bergantung kepada pH dan suhu melalui persamaan reaksi:



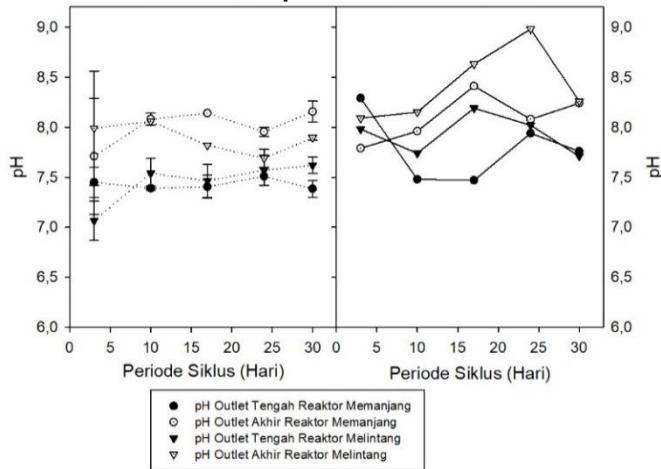
Pada keadaan normal dimana suhu air berada pada 25°C dan pH 7, ammonia yang hadir dalam bentuk tidak terionisasi hanya sebanyak 0,6%, sedangkan ketika pH dan suhu mencapai 9,5 dan 30°C berturut-turut, maka ammonia yang tidak terionisasi hadir dalam air limbah mencapai 72%. Hal ini akan menyebabkan ammonia lebih mudah menguap.

Dari Gambar 4.8, 4.9, dan 4.10 dapat terlihat bahwa ada kecenderungan peningkatan pH dari titik sampling tengah, hingga

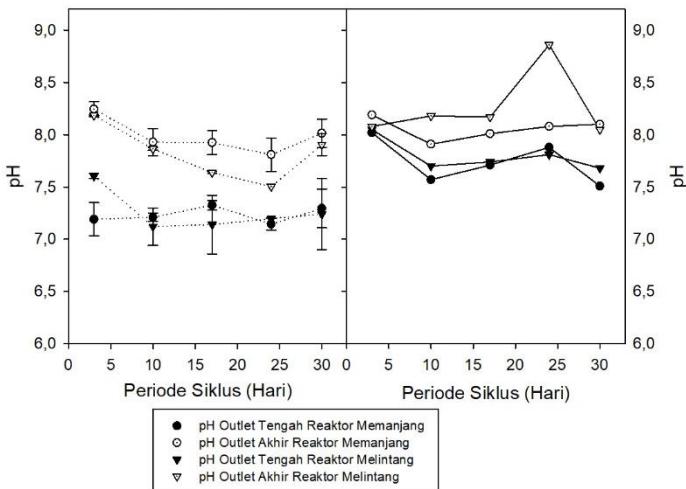
menuju titik sampling akhir. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama air limbah berada pada reaktor biofilter, maka pH dari hasil effluent juga akan semakin meningkat.



Gambar 4.8 Nilai pH Reaktor Media Kerikil



Gambar 4.9 Nilai pH Reaktor Media Kerikil Pasir



Gambar 4.10 Nilai pH Reaktor Media Kerikil Pasir

Kecenderungan peningkatan pH diatas batas netral (7,0) sesuai dengan pernyataan Kadlec & Wallace (2009), dimana *wetland* memiliki kecenderungan untuk meningkatkan pH hingga sedikit di atas batas netral, serta daerah *wetland* tanpa tumbuhan akan memiliki pH yang tidak stabil karena tidak ada yang membatasi pertumbuhan alga. Pertumbuhan alga memicu terjadinya fotosintesis dan respirasi bergantian dalam air yang menyebabkan fluktuasi karbon dioksida dalam air yang dapat memicu peningkatan karbonat maupun bikarbonat dalam air, menyebabkan pH air menjadi meningkat. Parameter pH ini nantinya digunakan sebagai parameter pendukung dalam analisis parameter lain seperti COD, ammonium, maupun fosfat.

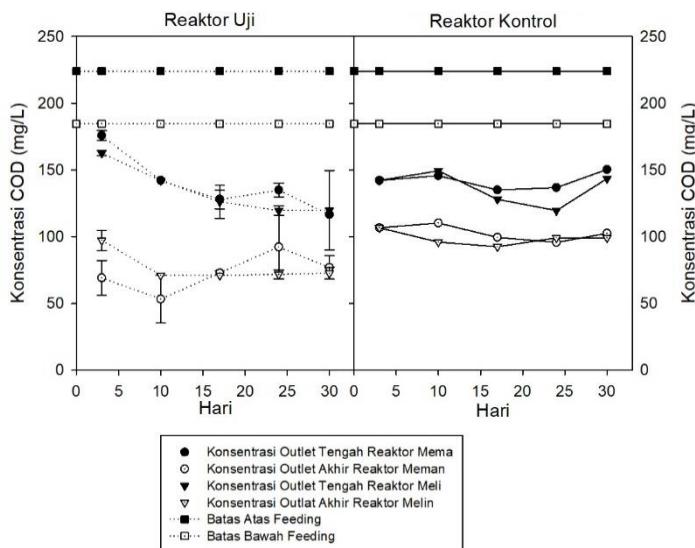
4.4.2 Analisis Penyisihan Organik Parameter COD

Parameter COD digunakan untuk mengukur senyawa organik yang ada pada air limbah dan berhasil disisihkan oleh reaktor biofilter. COD sendiri merupakan jumlah dari oksidator kimia, biasanya berupa kalium dikromat, yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik (Kadlec & Wallace, 2009).

Pada siklus pertama penelitian ini, dilakukan perbandingan penurunan nilai COD dari masing-masing

konfigurasi reaktor (memanjang dan melintang) berdasarkan masing-masing media yang digunakan (media kerikil, kerikil pasir, dan media pasir). Hal ini dilakukan agar memudahkan perbandingan konfigurasi reaktor terhadap masing-masing media yang digunakan.

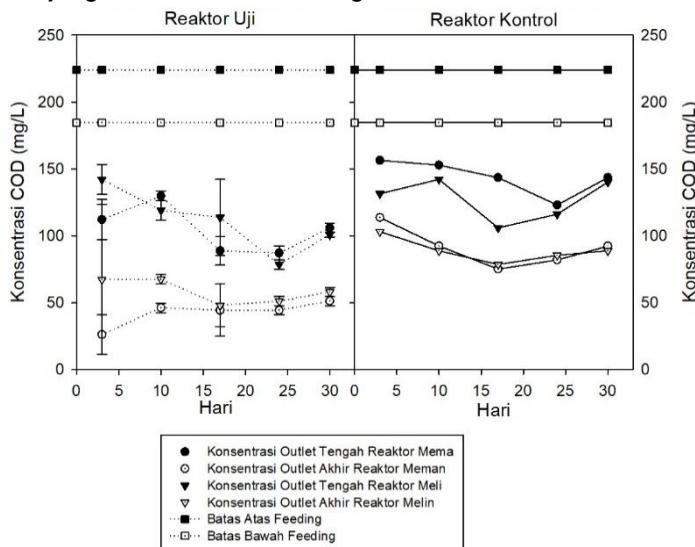
Dapat dilihat pada Gambar 4.11 bahwa terjadi penurunan nilai COD pada biofilter yang menggunakan media kerikil, baik pada outlet bagian tengah yang berkisar antara 19-37%, serta pada outlet bagian akhir dimana penyisihan terjadi berkisar antara 55%-76%. Dapat dilihat bahwa kemampuan penyisihan beban pencemar COD pada reaktor uji lebih baik daripada reaktor kontrol, hal ini menandakan, selain akibat dari adanya proses adsorpsi dan peran mikroorganisme, penyisihan COD juga terjadi akibat adanya *uptake* dari tumbuhan (Yang, et al., 2016).



Gambar 4.11 Penyisihan COD pada Media Kerikil

Apabila dibandingkan, reaktor konfigurasi memanjang pada mulanya memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menurunkan nilai COD daripada konfigurasi melintang pada media

kerikil, dimana dapat terlihat pada siklus pertama, reaktor memanjang mampu menurunkan nilai COD hingga 76%, sedangkan reaktor melintang hanya mampu menurunkan hingga 68%. Hal ini mengindikasikan bahwa proses pada konfigurasi memanjang, yang memberikan porsi lebih besar pada proses anoksik, lebih efektif daripada konfigurasi melintang, yang meningkatkan zona aerobik pada reaktor, ketika menggunakan media kerikil. Akan tetapi, pada akhir dari siklus 5, penyisihan COD tidak menjadi lebih baik antara reaktor memanjang dan melintang, dimana efisiensi penyisihan adalah 58% dan 60% untuk reaktor memanjang dan reaktor melintang.

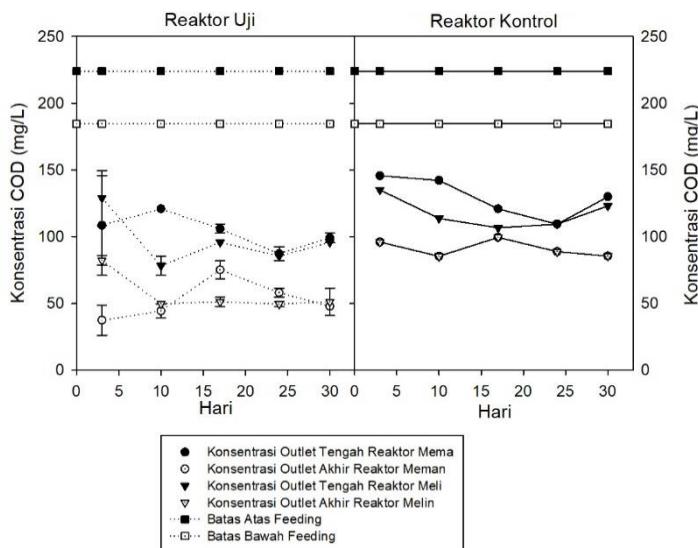


Gambar 4.12 Penyisihan COD pada Media Kerikil Pasir

Pada reaktor yang menggunakan media kerikil pasir, yang ditunjukkan pada Gambar 4.12, terlihat bahwa penurunan COD meningkat menjadi 35-47% pada pengambilan outlet bagian tengah reaktor, serta meningkat menjadi 69-88% pada bagian outlet bagian akhir. Hal ini menunjukkan bahwa media kerikil pasir bertindak lebih baik sebagai media penyisih beban pencemar organik daripada hanya menggunakan media kerikil. Ini juga

menunjukkan bahwa salah satu penyisihan terbesar dari beban organik merupakan reaksi adsorpsi oleh jenis media yang digunakan.

Terlihat bahwa penurunan COD pada reaktor memanjang lebih baik dibandingkan pada reaktor melintang hanya pada siklus pertama, yakni 88% pada reaktor memanjang dan 69 pada reaktor melintang, walaupun media yang digunakan merupakan kombinasi media kerikil pada kompartemen pertama dan media pasir pada kompartemen kedua. Akan tetapi hingga siklus kelima, terdapat sedikit penurunan efisiensi penyisihan, terutama pada reaktor memanjang, dimana reaktor yang pada siklus pertama mampu menyisihkan COD hingga 88%, menurun menjadi 72% pada siklus kelima. Kemampuan ini tidak terlalu jauh dari kemampuan penyisihan reaktor melintang sebesar 68%.



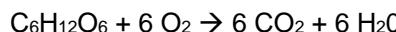
Gambar 4.13 Penyisihan COD pada Media Pasir

Pada Gambar 4.13, dapat dilihat bahwa pada reaktor yang menggunakan media pasir, terjadi penurunan nilai COD pada outlet bagian tengah sebesar 41-65%, sedangkan pada outlet bagian akhir sebesar 62-83%. Walaupun hasil penyisihan pada

otlet bagian tengah lebih baik daripada media lain, akan tetapi pada hasil akhir, kemampuan penyisihan media pasir tidak lebih baik daripada kombinasi media kerikil dan pasir. Hal ini mengindikasikan bahwa media pasir memiliki kemampuan menurunkan COD lebih baik daripada kerikil, tetapi tidak lebih baik daripada media gabungan kerikil dan pasir.

Apabila dibandingkan, terlihat bahwa kombinasi media kerikil pada kompartemen pertama dan pasir pada kompartemen kedua lebih baik daripada hanya menggunakan media pasir ataupun media kerikil saja pada siklus pertama, akan tetapi tidak lebih baik dari pada media pasir saja pada akhir siklus kelima. Hal ini disebabkan karena kombinasi media kerikil dan pasir meningkatkan keunggulan dari kombinasi biofilter *downflow-upflow*.

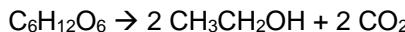
Pada kompartemen pertama dengan aliran *downflow*, proses utama yang terjadi adalah proses aerobik (Mena, et al., 2008) dengan penyisihan organik yang utama berasal dari aktivitas respirasi berdasarkan persamaan reaksi:



Pada reaksi ini, oksigen memiliki peranan yang lebih besar dalam memecah rantai organik menjadi bentuk lain yakni CO_2 dan H_2O . Oleh karena itu, media kerikil yang ditempatkan pada kompartemen pertama sangat sesuai, karena kerikil mempunyai kemampuan yang baik dalam memberikan transfer oksigen yang lebih baik daripada media pasir (Priya, et al., 2013)

Sedangkan pada kompartemen kedua, proses utama yang terjadi adalah anoksik ataupun anaerobik yang menciptakan keadaan yang sesuai terhadap reaksi:

Fermentasi



Denitrifikasi



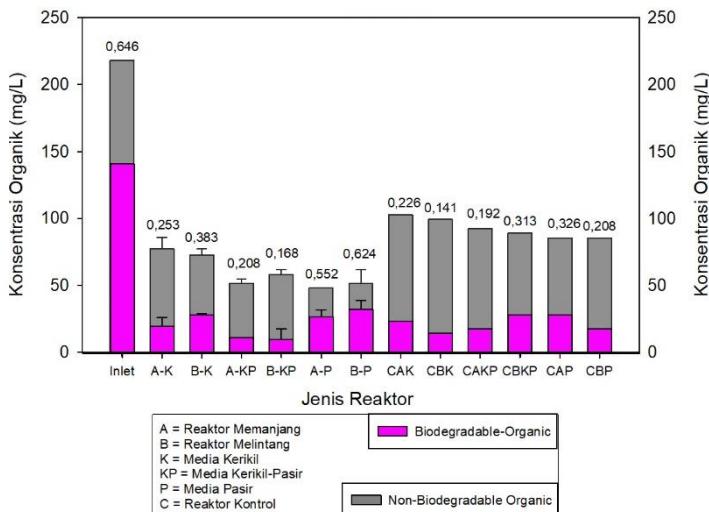
Pada kompartemen kedua, keberadaan oksigen tidak terlalu dibutuhkan sehingga penggunaan media kerikil tidak tepat karena tidak dapat memaksimalkan proses anoksik maupun

anaerobik yang terjadi pada kompartemen ini. Oleh karena itu media pasir, yang membatasi transfer oksigen dan memiliki kemampuan sebagai adsorban, lebih baik bila digunakan pada kompartemen kedua.

Pada konfigurasi reaktor, terlihat bahwa reaktor memanjang mempunyai kemampuan menurunkan nilai COD lebih baik daripada reaktor melintang. Hal ini mengindikasikan keterbatasan transfer oksigen pada *spiked pond water* yang menyebabkan peran dari proses anoksik menjadi lebih besar di dalam penurunan COD. Karena itu, reaktor memanjang yang memberikan ruang lebih besar bagi proses anoksik memiliki efisiensi penurunan COD yang lebih besar daripada reaktor melintang.

Akan tetapi, penyisihan reaktor memanjang lebih baik daripada reaktor melintang hanya terjadi di awal siklus berjalan. Kemampuan penyisihan pada reaktor memanjang menurun, yang mengindikasikan transfer oksigen yang terjadi pada kompartemen pertama reaktor memanjang tidak lebih efektif seperti pada siklus pertama. Bisa jadi hal ini disebabkan oleh terendapkan nya *suspended solid* seiring berjalannya siklus dan limpasan air limbah yang diterima oleh biofilter, yang menyebabkan semakin mengecilnya pori-pori dari media filter yang dilalui oleh air limbah (Hua, et al., 2010). Semakin kecil pori media yang terbuka, maka semakin kecil kemungkinan terjadinya proses transfer oksigen yang terjadi.

Selain menggunakan parameter COD, penyisihan kandungan organik juga dilakukan dengan membandingkan rasio BOD/COD pada influent dengan effluent air limbah. Hal ini ditujukan agar diketahui seberapa banyak kandungan organik yang tersisihkan, baik yang berupa *biodegradable organic* maupun kandungan *non-biodegradable organic* yang diperlihatkan dari hasil rasio BOD/COD pada air limbah. Pada penelitian ini akan dibandingkan rasio BOD/COD antara inlet dengan hasil akhir effluent dari reaktor biofilter, baik pada reaktor yang menggunakan tumbuhan, maupun reaktor yang tidak menggunakan tumbuhan. Proses penyisihan kandungan organik berdasarkan rasio BOD/COD yang menunjukkan kandungan organik *biodegradable* dan *non-biodegradable* pada air limbah ditunjukkan pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Rasio BOD/COD pada Reaktor Biofilter

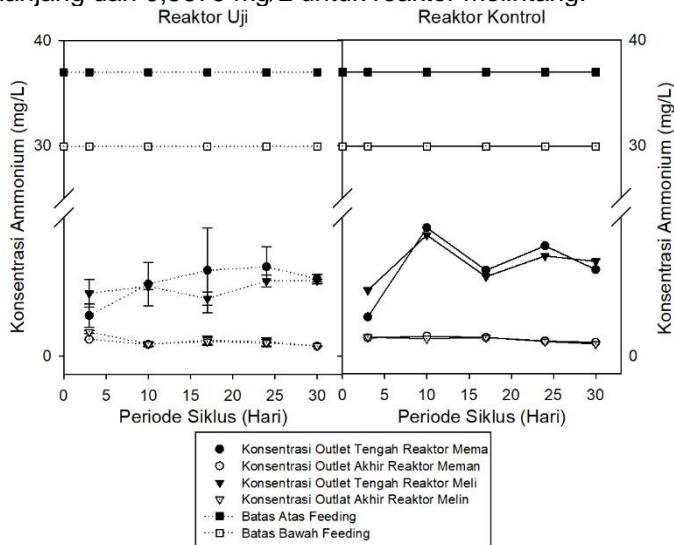
Pada gambar di atas, dapat terlihat bahwa rasio BOD/COD pada air limbah cukup tinggi, yakni 0,646. Rasio ini mengalami penurunan pada effluent reaktor biofilter, dimana penurunan terendah terjadi lebih besar pada reaktor memanjang dibandingkan dengan reaktor melintang pada media kerikil serta media pasir, akan tetapi lebih besar untuk reaktor melintang pada saat menggunakan media kombinasi kerikil dan pasir. Selain itu penurunan pada media kerikil serta media kombinasi kerikil dan pasir cukup besar dimana penurunan rasio BOD/COD dapat mencapai 0,253 pada media kerikil dan 0,168 pada media kombinasi kerikil dan pasir. Akan tetapi pada reaktor yang menggunakan media pasir saja, tidak terjadi penurunan rasio yang signifikan dimana rasio BOD/COD berkisar antara 0,552-0,642. Rasio ini menandakan bahwa proses penyisihan organik yang terhitung sebagai BOD tidak lebih besar daripada penyisihan COD. Hal ini bisa jadi disebabkan karena reaktor yang menggunakan media pasir saja membatasi oksigen yang dapat masuk ke dalam media sehingga proses penyisihan melalui mikroorganisme tidak lebih baik ketika kompartemen pertama pada reaktor menggunakan media kerikil. Sehingga penyisihan COD akibat

penyerapan langsung oleh tumbuhan terlihat lebih optimal pada reaktor yang menggunakan media pasir.

4.4.3 Analisis Parameter Ammonium

Parameter ammonium digunakan untuk melihat kemampuan biofilter untuk mengubah dan menyisihkan ammonium ke dalam bentuk yang tidak lebih berbahaya di lingkungan. Di dalam lingkungan *wetland*, ammonium dapat diubah melalui proses nitrifikasi menjadi nitrit dan nitrat sehingga dapat diserap oleh tumbuhan.

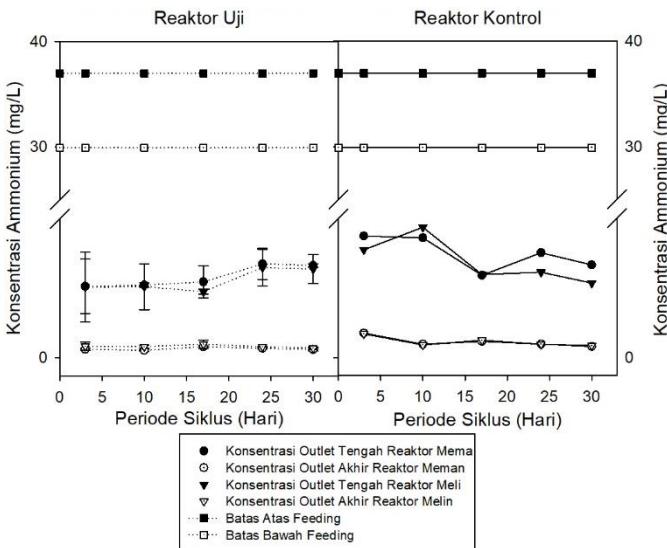
Pada Gambar 4.15, dapat terlihat perbandingan reaktor memanjang dan melintang pada media kerikil, terjadi penurunan kandungan ammonium pada kedua reaktor. Pada setiap siklus dapat dilihat bahwa terjadi penurunan yang signifikan pada konsentrasi ammonium hingga hampir mencapai 0 mg/L, dimana penurunan terbesar dapat mencapai 0,5653 mg/L untuk reaktor memanjang dan 0,5679 mg/L untuk reaktor melintang.



Gambar 4.15 Penyisihan Ammonium pada Media Kerikil

Penurunan nilai ammonium pada media kerikil berkisar antara 89-93% pada outlet bagian tengah sedangkan pada outlet

bagian akhir dapat mencapai 96-98%. Hal ini bisa disebabkan karena penurunan akibat media sudah sangat besar di awal sehingga efisiensi penyerapan oleh media di akhir reaktor semakin menurun.

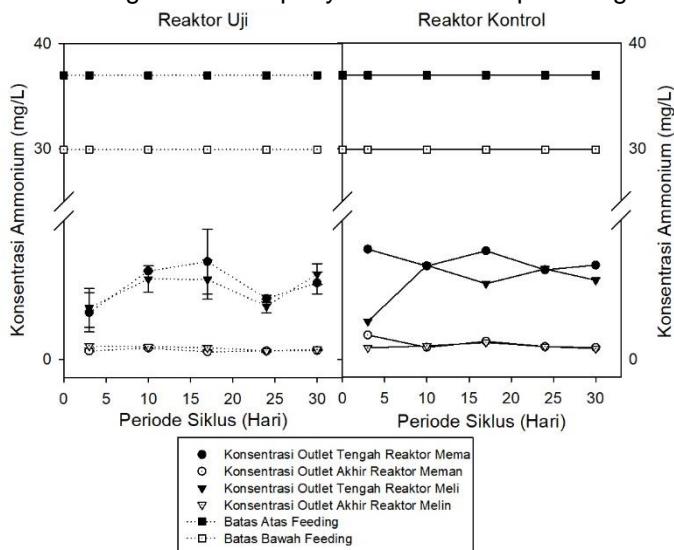


Gambar 4.16 Penyisihan Ammonium pada Media Kerikil Pasir

Pada Gambar 4.16 dapat terlihat bahwa tidak tampak perbedaan yang signifikan antara reaktor memanjang dengan reaktor melintang, dimana penyisihan ammonium pada outlet bagian tengah berkisar antara 80-82%, sedangkan pada outlet bagian akhir antara 98-99%. Walaupun hanya sedikit, akan tetapi reaktor memanjang masih memiliki kemampuan penyisihan yang lebih baik daripada reaktor melintang, dimana reaktor memanjang mampu menyisihkan hingga 99% sedangkan reaktor melintang hanya mampu menyisihkan hingga 98%. Hasil yang sama terjadi baik pada siklus pertama reaktor uji maupun siklus kedua reaktor uji. Dari gambar juga dapat terlihat bahwa kemampuan penyisihan ammonium menggunakan media kerikil pasir relatif stabil tanpa kenaikan dan penurunan yang berarti. Reaktor biofilter yang menggunakan media kerikil dan pasir mampu menyisihkan Ammonium hingga mencapai konsentrasi 0,419 mg/L, yang terjadi

pada reaktor memanjang. Berbeda dengan reaktor melintang yang hanya mampu menurunkan hingga mencapai 0,545 mg/L.

Sedangkan pada reaktor yang menggunakan media pasir, seperti terlihat pada Gambar 4.17, terjadi penurunan efisiensi pada outlet bagian tengah dimana yang semula pada siklus pertama mampu menyisihkan ammonium berkisar antara 81-94%, menurun menjadi 78-80% pada siklus kedua. Akan tetapi, efisiensi penyisihan ammonium pada hasil akhir tidak mengalami penurunan dengan efisiensi penyisihan berkisar pada angka 98%.



Gambar 4.17 Penyisihan Ammonium pada Media Pasir

Pada reaktor dengan menggunakan media pasir, dapat terlihat bahwa hasil akhir effluent yang dihasilkan oleh reaktor memanjang sedikit lebih baik daripada reaktor melintang, dengan nilai konsentrasi ammonium sebesar 0,43 mg/L pada reaktor memanjang, serta 0,486 mg/L pada reaktor melintang. Ini menunjukkan bahwa pada media pasir, konfigurasi reaktor yang memanjang dan melintang memiliki kemampuan yang sama baik dalam menurunkan ammonium.

Apabila dibandingkan antara media kerikil, kombinasi kerikil dan pasir, serta media pasir, maka penyisihan ammonium

yang paling baik terjadi ketika reaktor menggunakan media kombinasi kerikil pada kompartemen pertama dan pasir pada kompartemen kedua, walaupun hasilnya tidak berbeda jauh dengan media pasir. Hal ini dikarenakan pasir merupakan adsorban yang lebih baik daripada kerikil (Priya, et al., 2013) terutama di dalam menyerap pencemar inorganik seperti ammonium, sehingga penggunaan media pasir, terutama pada kompartemen kedua sangat tepat. Sedangkan penggunaan media kerikil pada kompartemen pertama mampu memberikan transfer oksigen yang cukup bagi ammonium untuk berubah bentuk menjadi nitrit maupun nitrat. Hal ini terutama terjadi pada reaktor memanjang yang memiliki ruang kompartemen pertama yang lebih kecil daripada reaktor melintang.

Ruang kompartemen yang lebih sempit dan dengan jumlah tumbuhan sama menyebabkan kerapatan akar tumbuhan pada kompartemen pertama reaktor memanjang lebih rapat daripada reaktor melintang. Sesuai dengan pernyataan Kadlec & Wallace (2009) yang menyatakan bahwa semakin rapat media yang dilalui air limbah dengan akar tumbuhan, maka semakin baik pula transfer oksigen yang terjadi pada kompartemen pertama reaktor memanjang. Selain itu penggunaan media kerikil juga mampu meningkatkan transfer oksigen dalam reaktor biofilter (Priya, et al., 2013).

Apabila kedua jenis reaktor dengan ketiga jenis media reaktor uji dibandingkan dengan reaktor kontrol, maka dapat terlihat bahwa walaupun lebih kecil, akan tetapi reaktor kontrol mampu menyisihkan ammonium hingga 98%, dengan penyisihan terkecil mencapai 0,609 mg/L pada reaktor melintang pasir. Apabila dibandingkan dengan reaktor uji, yang terdapat mekanisme penyisihan melalui *uptake* tumbuhan, adsorpsi, serta aktivitas mikroorganisme, maka pada reaktor kontrol terdapat satu mekanisme yang prosesnya cukup signifikan dalam menyisihkan ammonium, yaitu volatilisasi.

Volatilisasi ammonium terjadi pada kondisi basa, dan terjadi dominan pada pH di atas 8 (Bastviken, 2006) dan proses ini merupakan proses perubahan ammonia menjadi bentuk gas. Volatilisasi ammonium juga terjadi pada keadaan tanah tergenang, walaupun keadaan tergenang belum pasti menyebabkan

terjadinya dominasi proses volatilisasi pada *wetland* (Fillery, et al., 1986). Semua keadaan yang menunjang terjadinya proses volatilisasi ini terjadi pada reaktor kontrol.

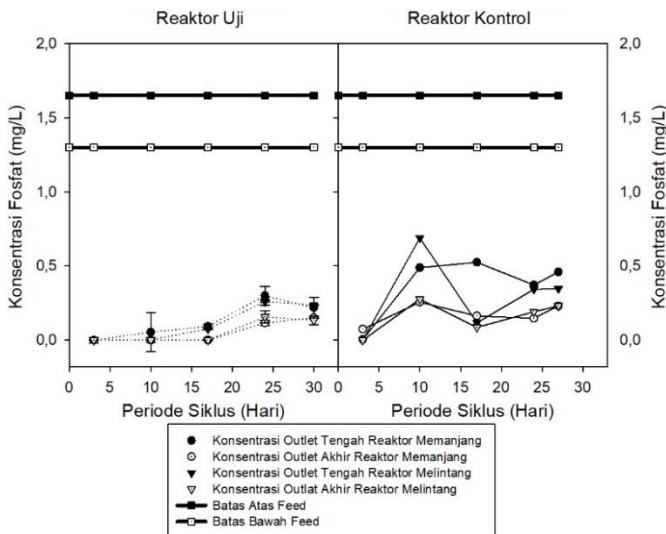
Akan tetapi efisiensi penyisihan ammonium pada reaktor kontrol tidak lebih baik daripada reaktor uji yang menggunakan tumbuhan. Hal ini disebabkan karena walaupun bertambahnya vegetasi menyebabkan terbatasnya proses volatilisasi, akan tetapi mampu meningkatkan penyisihan nitrogen melalui proses *uptake* tumbuhan yang lebih baik daripada proses volatilisasi (Zhang, et al., 2016).

4.4.4 Analisis Parameter Fosfat

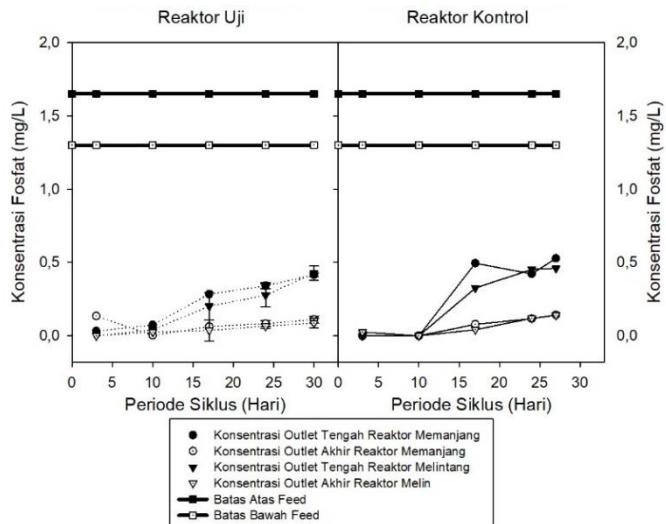
Parameter fosfat digunakan karena salah satu nutrient yang dapat diserap tumbuhan selain N adalah P, sehingga parameter fosfat dibutuhkan untuk melihat kemampuan tumbuhan menyerap fosfat dengan baik. Selain itu, fosfat juga mampu tersisihkan akibat adanya media filter sehingga fosfat tersedimentasi di dalam reaktor biofilter.

Pada Gambar 4.18, 4.19, serta 4.20, terlihat bahwa terjadi penurunan yang signifikan pada konsentrasi fosfat di dalam air limbah, dimana konsentrasi fosfat dapat menurun hingga mencapai 0* mg/L (*bukan merupakan nilai 0 mg/L absolut). Hal ini terjadi pada reaktor uji (menggunakan tumbuhan) maupun reaktor kontrol, terkecuali pada siklus kedua reaktor kontrol yang menggunakan media kerikil. Pada reaktor ini terjadi penyisihan yang tidak optimal dimana pada outlet akhir tersisa fosfat sebesar 0,2-0,3 mg/L. Akan tetapi hal ini sesuai dengan terjadinya peningkatan hasil effluent pada outlet bagian tengah reaktor, dimana konsentrasi fosfat mencapai 0,6 mg/L.

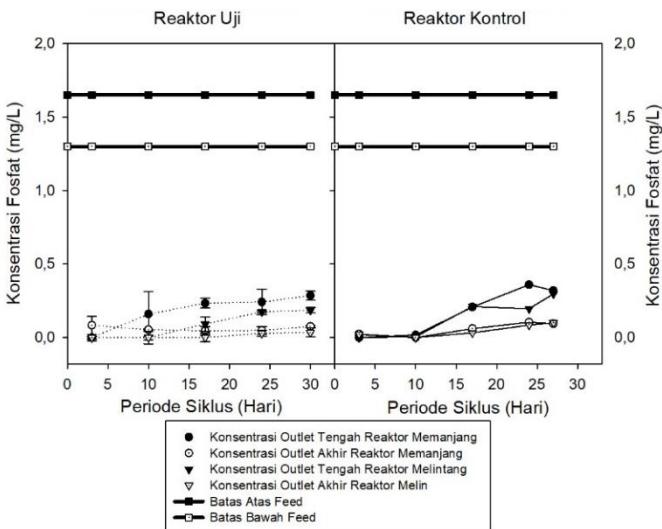
Selain pada reaktor uji dan reaktor kontrol, tidak terlihat perbedaan yang jelas antara reaktor dengan konfigurasi memanjang dan konfigurasi melintang. Hal ini ditunjukkan dengan hasil penyisihan yang memiliki nilai mencapai 0* mg/L pada awal biofilter memasuki masa siklus. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi reaktor tidak berpengaruh signifikan terhadap penyisihan kandungan pencemar fosfat yang terdapat pada air limbah *spiked pond water*.



Gambar 4.18 Penyisihan Fosfat pada Media Kerikil



Gambar 4.19 Penyisihan Fosfat pada Media Kerikil Pasir



Gambar 4.20 Penyisihan Fosfat pada Media Pasir

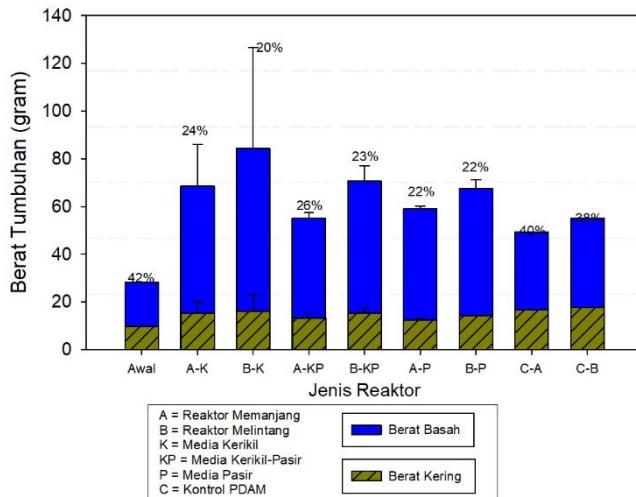
Dapat terlihat bahwa baik pada reaktor kontrol maupun pada reaktor uji tidak terlihat adanya kemampuan penyisihan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa selain terserap oleh tumbuhan pada reaktor uji, fosfat tersisihkan pada air limbah akibat proses fisika (adsorpsi) maupun kimia (presipitasi). Pada Gambar 4.18 hingga 4.20, dapat terlihat seiring dengan lamanya siklus pada biofilter berjalan, maka semakin menurun pula kemampuan dari biofilter untuk menyisihkan fosfat. Hal ini menandakan bahwa media filter memiliki batasan dalam menerima hasil penyisihan fosfat, sehingga kemampuan penyisihan fosfat akan semakin berkurang hingga tidak dapat menyisihkan sama sekali (ACTFR, 2015).

Pada awal siklus berjalan, terdapat reaktor yang ketika pada outlet tengah sudah mencapai 0^* mg/L, pada outlet akhir kembali terkandung fosfat. Hal ini menandakan bahwa pada reaktor biofilter terjadi proses desorpsi, dimana fosfat yang sudah terendapkan dapat kembali ke dalam air akibat dari jumlah fosfor dalam air lebih besar daripada jumlah fosfor pada media maupun sedimen (Reddy, et al., 1999). Akan tetapi, pada siklus selanjutnya

yang berlangsung, tidak terjadi reaksi desorpsi. Hal ini berkaitan dengan reaktor biofilter dimana kompartemen pertama dengan aliran *downflow* meningkatkan transfer oksigen secara terus menerus pada air limbah (Mena, et al., 2008), sehingga walaupun semakin sedikit fosfat yang teradsorpsi ke dalam media, akan tetapi terikat dengan lebih erat sehingga mencegah terjadinya desorpsi (Dunne & Reddy, 2005).

4.4.5 Analisis Berat Basah-Berat Kering Tumbuhan

Analisis berat basah dan berat kering dilakukan untuk melihat seberapa banyak air limbah yang diolah oleh tumbuhan dan dijadikan nutrisi bagi pertumbuhan. Analisis ini dilakukan pada awal dan akhir penelitian untuk membandingkan selisih dari berat awal hingga berat ketika tumbuhan telah menerima beban pencemar.



Gambar 4.21 Berat Basah dan Berat Kering Tumbuhan

Pada Awal analisa berat basah dan berat kering *Scirpus grossus*, didapatkan bahwa tumbuhan memiliki berat basah sebesar 19,8429 gram, dengan rincian 14,9637 gram berat basah tumbuhan bagian atas dan 4,9761 gram berat basah bagian akar, serta berat kering sebesar 8,365 gram, dengan rincian 6,0883 gram berat basah tumbuhan bagian atas dan 2,2767 gram berat

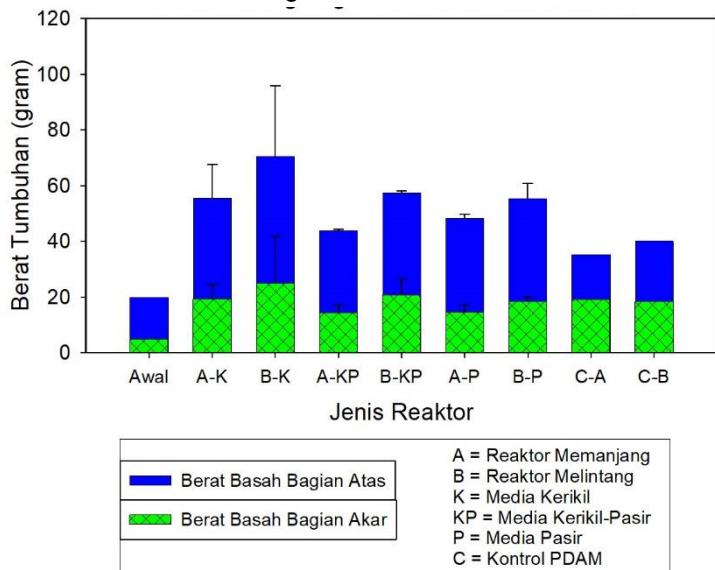
basah bagian akar. Sehingga, diketahui selisih berat basah dan berat kering adalah 11,4779 gram serta perbandingan berat kering yang mencapai 42% dari berat basah. Perbandingan ini akan digunakan untuk mengetahui pengaruh dari pemberian air limbah *spiked pond water* terhadap pertumbuhan *Scirpus grossus* pada masing-masing reaktor bila dibandingkan dengan reaktor yang menggunakan air PDAM.

Pada Gambar 4.21 dapat terlihat bahwa terjadi peningkatan biomassa yang signifikan pada tumbuhan yang berada pada reaktor biofilter yang menggunakan *spiked pond water* dimana terjadi peningkatan berat basah yang bervariasi berkisar antara 43,757 gram hingga 70,5213 gram. Hal ini berbeda dengan reaktor biofilter yang menggunakan air PDAM, dimana peningkatan berat basah berkisar antara 35,246 gram hingga 40,0225 gram. Akan tetapi terlihat bahwa peningkatan berat kering tumbuhan tidak mengalami perbedaan yang signifikan antara reaktor yang menggunakan air limbah, dengan reaktor yang menggunakan air PDAM. Sehingga diketahui bahwa perbandingan berat kering terhadap berat basah tumbuhan pada reaktor biofilter dengan air PDAM lebih besar (40%) daripada reaktor biofilter dengan air limbah *spiked pond water* (paling besar mencapai 26%). Dapat dilihat pula bahwa perbandingan berat kering terhadap berat basah tumbuhan pada reaktor dengan air PDAM lebih mendekati perbandingan pada tumbuhan awal (42%) dibandingkan dengan reaktor yang menggunakan air limbah.

Selain dengan membandingkan perbedaan pertambahan biomassa tumbuhan secara keseluruhan, dibandingkan pula pertumbuhan pada bagian atas dan bagian bawah tumbuhan. Hal ini dilakukan agar dapat diketahui apakah terdapat perbedaan kecepatan pertumbuhan bagian-bagian tumbuhan apabila dibandingkan antara reaktor dengan air pdam maupun dengan air limbah *spiked pond water*. Perbandingan berat pada bagian atas tumbuhan dan bagian akar tumbuhan dapat dilihat pada Gambar 4.22 dan 4.23.

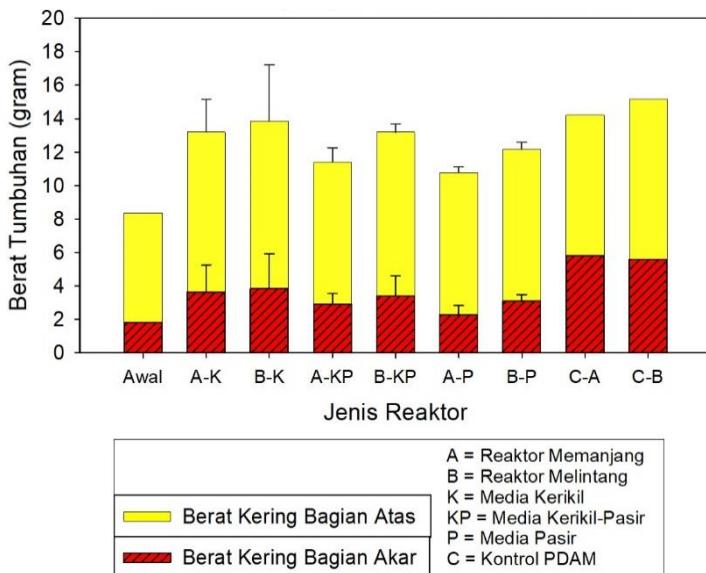
Pada perbandingan berat basah tumbuhan, terlihat bahwa bahwa tumbuhan pada reaktor air limbah maupun pada tumbuhan awal memiliki perbandingan bagian atas tumbuhan yang jauh lebih besar daripada bagian akar dengan bagian atas tumbuhan mencapai 64-75% dari berat basah keseluruhan tumbuhan. Begitu

pula pada perbandingan berat kering tumbuhan dimana berat kering bagian atas tumbuhan berkisar antara 66-74% dari keseluruhan berat kering.



Gambar 4.22 Berat Basah Bagian-Bagian Tumbuhan

Akan tetapi hal ini berbeda dengan tumbuhan pada reaktor yang menggunakan air PDAM, dimana berat bagian atas tumbuhan hanya berkisar antara 46-54% pada berat basah dan 49-54% pada berat kering tumbuhan. Hal ini menunjukkan bahwa tumbuhan pada reaktor dengan air PDAM memiliki pertumbuhan bagian akar yang lebih besar daripada bagian atas tumbuhan apabila dibandingkan dengan tumbuhan pada reaktor yang menggunakan air limbah *spiked pond water*. Hal ini menandakan bahwa pada keadaan kekurangan nutrisi, telah terjadi akumulasi karbon pada tumbuhan pada bagian atas menuju ke bagian akar tumbuhan (Hermans, et al., 2006). Akumulasi karbon menuju bagian akar tumbuhan menyebabkan bertambahnya berat kering tumbuhan pada bagian akar apabila dibandingkan dengan berat kering tumbuhan pada bagian atas.



Gambar 4.23 Berat Kering Bagian-Bagian Tumbuhan

Pada kondisi tumbuhan kekurangan nutrisi N, akan terjadi penurunan pertumbuhan bagian daun akibat modifikasi hormon serta memungkinkan untuk menghasilkan akar yang lebih panjang (Mohammed, 2013). Dengan meningkatnya pertumbuhan pada bagian akar tumbuhan, maka rasio biomassa bagian atas dan bagian akar tumbuhan (*root to shoot biomass ratio*) juga meningkat (Remans, et al., 2006). Oleh karena itu, tumbuhan pada reaktor yang menggunakan air PDAM memiliki rasio pertumbuhan akar pada bagian atas tumbuhan lebih besar daripada tumbuhan pada reaktor yang menggunakan *spiked pond water*.

4.4.6 Perhitungan Koloni Mikroorganisme

Perhitungan koloni mikroorganisme dilakukan untuk mengetahui seberapa banyak keberadaan koloni dari mikroorganisme yang terdapat pada reaktor biofilter. Perhitungan ini diperlukan untuk memastikan ada tidaknya mikroorganisme pada reaktor sehingga dapat diketahui kebenaran dari pengaruh mikroorganisme dalam menyisihkan beban pencemar pada air

limbah. Perhitungan koloni mikroorganisme dilakukan melalui prosedur *Colony Forming Unit* (CFU) dan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Identifikasi Mikroorganisme dengan Metode CFU

Reaktor	Sampel		Pengenceran	Jumlah Koloni			Log cfu
	g/100 mL NaCl	Media		Jumlah Koloni	cfu/mL	cfu/g	
A-K	25	Kerikil	10^{-2}	38	$3,8 \times 10^3$	$1,52 \times 10^4$	4,18
A-K-d	25	Kerikil	10^{-2}	45	$4,5 \times 10^3$	$1,8 \times 10^4$	4,26
C-A-K	25	Kerikil	10^{-2}	25	$2,5 \times 10^3$	1×10^4	4,00
A-KP	10	Pasir	10^{-2}	54	$5,4 \times 10^3$	$5,4 \times 10^4$	4,73
A-KP-d	10	Pasir	10^{-2}	87	$8,7 \times 10^3$	$8,7 \times 10^4$	4,94
C-A-KP	10	Pasir	10^{-2}	54	$5,4 \times 10^3$	$5,4 \times 10^4$	4,73
A-P	10	Pasir	10^{-2}	108	$1,08 \times 10^4$	$1,08 \times 10^5$	5,03
A-P-d	10	Pasir	10^{-2}	65	$6,5 \times 10^3$	$6,5 \times 10^4$	4,81
C-A-P	10	Pasir	10^{-2}	89	$8,9 \times 10^3$	$8,9 \times 10^4$	4,95
B-K	25	Kerikil	10^{-2}	85	$8,5 \times 10^3$	$3,4 \times 10^4$	4,53
B-K-d	25	Kerikil	10^{-2}	56	$5,6 \times 10^3$	$2,24 \times 10^4$	4,35
C-B-K	25	Kerikil	10^{-2}	44	$4,4 \times 10^3$	$1,76 \times 10^4$	4,25
B-KP	10	Pasir	10^{-2}	28	$2,8 \times 10^3$	$2,8 \times 10^4$	4,45
B-KP-d	10	Pasir	10^{-2}	76	$7,6 \times 10^3$	$7,6 \times 10^4$	4,88
C-B-KP	10	Pasir	10^{-2}	65	$6,5 \times 10^3$	$6,5 \times 10^4$	4,81
B-P	10	Pasir	10^{-2}	78	$7,8 \times 10^3$	$7,8 \times 10^4$	4,89
B-P-d	10	Pasir	10^{-2}	32	$3,2 \times 10^3$	$3,2 \times 10^4$	4,51

Reaktor	Sampel		Pengen ceran	Jumlah Koloni			Log cfu
	g/100 mL NaCl	Media		Jumlah Koloni	cfu/mL	cfu/g	
C-B-P	10	Pasir	10^{-2}	26	2,6 $\times 10^3$	2,6 $\times 10^4$	4,41

Pada tabel diatas, diketahui bahwa pada reaktor biofilter, baik pada reaktor memanjang maupun melintang, dan pada media kerikil, pasir, maupun kombinasi kerikil pasir, terdapat mikroorganisme yang tidak terlampaui jauh banyak koloninya.

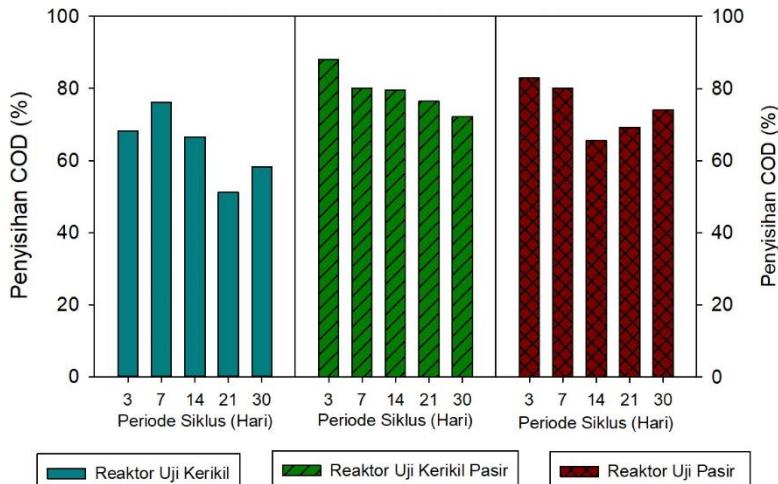
4.4.7 Pemilihan Reaktor dan Media Terbaik

Berdasarkan kemampuan dalam menyisihkan beban pencemar, maka dapat dilihat kemampuan reaktor dengan media terbaik berdasarkan kemampuan penyisihan terbesarnya. Pemilihan reaktor didasarkan pada kemampuannya menyisihkan beban pencemar dengan parameter COD, ammonium, serta fosfat, dalam *spiked pond water*. Oleh karena itu harus dibandingkan setiap penyisihan beban pencemar pada masing-masing reaktor yang ditunjukkan pada Gambar 4.24, hingga 4.29.

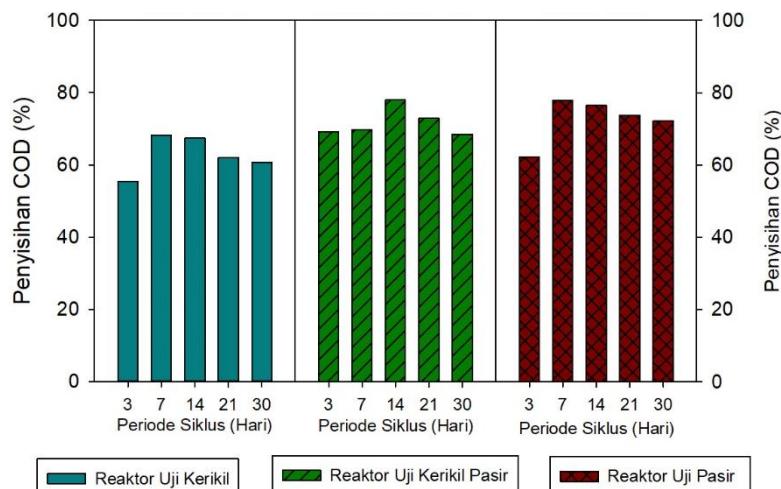
Pada Gambar 4.24, terlihat bahwa penyisihan COD pada reaktor memanjang menggunakan media kerikil tidak lebih baik apabila dibandingkan dengan media pasir maupun kombinasi media kerikil dan media pasir. Sedangkan Gambar 4.25 terlihat bahwa walaupun tidak lebih baik daripada reaktor memanjang, akan tetapi penurunan pada media pasir maupun pada media kombinasi kerikil dan media pasir tetap lebih baik daripada penggunaan media kerikil pada reaktor melintang. Kecenderungan penyisihan COD yang sama juga terjadi pada setiap reaktor kontrol dimana penurunan COD oleh media kerikil merupakan penurunan COD terkecil dibandingkan media lainnya.

Hasil ini menunjukkan bahwa untuk menurunkan pencemar pada organik yang terbaca dalam COD, media yang paling tepat untuk digunakan adalah media pasir ataupun kombinasi media kerikil dan media pasir, terlepas dari konfigurasi reaktor yang digunakan. Hal ini dikarenakan konfigurasi reaktor tidak memberikan hasil penyisihan air limbah *spiked pond water* yang signifikan, walaupun konfigurasi reaktor memanjang mampu

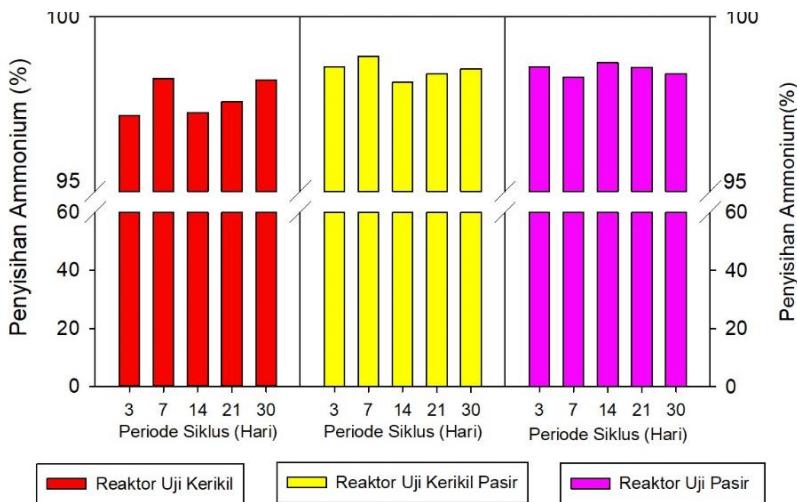
menurunkan COD sedikit lebih baik daripada konfigurasi reaktor melintang.



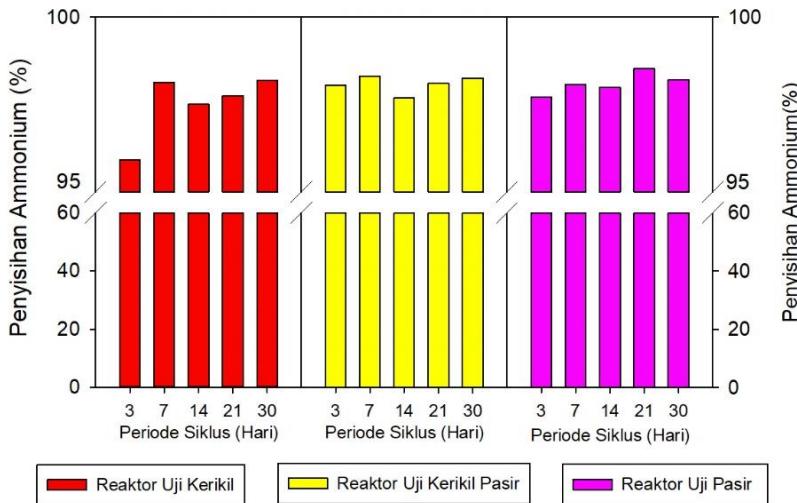
Gambar 4.24 Penyisihan COD Reaktor Memanjang



Gambar 4.25 Penyisihan COD Reaktor Melintang



Gambar 4.26 Penyisihan Ammonium Reaktor Memanjang

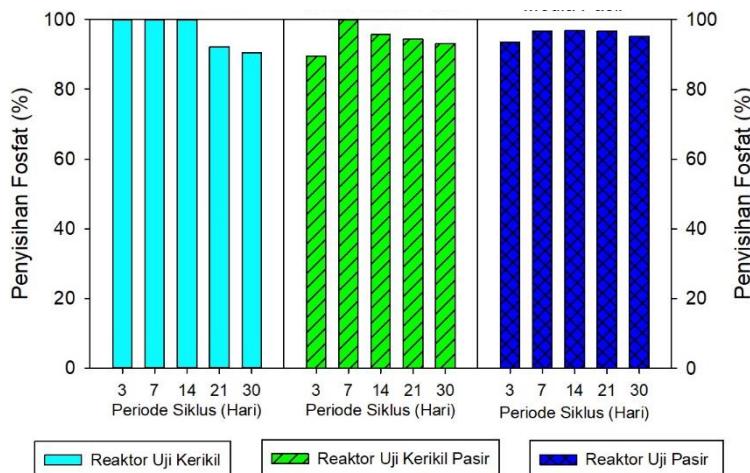


Gambar 4.27 Penyisihan Ammonium Reaktor Melintang

Pada Gambar 4.26, dapat terlihat penyisihan ammonium pada reaktor memanjang menggunakan media kerikil tidak lebih

baik daripada menggunakan media kombinasi kerikil pasir maupun media pasir, hal yang sama juga terjadi pada media melintang yang ditunjukkan oleh Gambar 4.27.

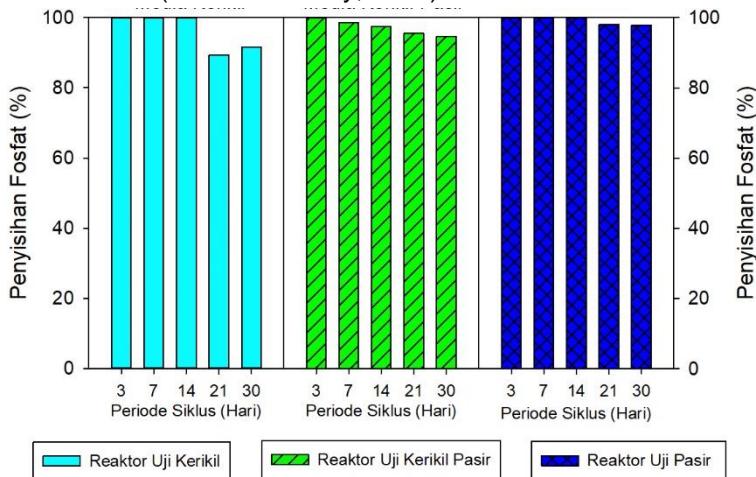
Walaupun perbedaan yang diperlihatkan dari masing-masing media tidak terlalu signifikan, akan tetapi dapat dilihat bahwa penggunaan media pasir maupun media kombinasi kerikil dan pasir mampu menyisihkan ammonium pada air limbah lebih baik daripada media kerikil. Hal ini berkaitan dengan kemampuan penyisihan media pasir yang memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik daripada media kerikil (Priya, et al., 2013).



Gambar 4.28 Penyisihan Fosfat Reaktor Memanjang

Pada kemampuan fosfat, apabila melihat pada Gambar 4.28 dan 4.29, dapat dilihat bahwa tidak terlihat perbedaan kemampuan penyisihan yang signifikan, baik antara media, maupun diantara konfigurasi reaktor. Akan tetapi, yang mampu mencapai penyisihan hingga 100% merupakan reaktor yang menggunakan media kerikil maupun media kombinasi kerikil dan pasir pada reaktor memanjang, serta pada semua reaktor pada konfigurasi melintang. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besarnya transfer oksigen, maka daya ikat fosfat pada media akan

semakin kuat dan mencegah terjadinya desorpsi ke dalam air limbah kembali (Dunne & Reddy, 2005).



Gambar 4.29 Penyisihan Fosfat Reaktor Melintang

4.4.8 Uji ANOVA (Analysis of Variance)

Analysis of variance atau uji varian merupakan model statistik untuk menganalisis ada tidaknya perbedaan antara dua atau lebih kelompok variabel untuk signifikansi statistik. Pada uji anova, dilakukan perhitungan statistik uji untuk menguji apakah terdapat persamaan antara kelompok uji berdasarkan hipotesa statistik. Uji anova akan digunakan untuk membandingkan antara reaktor uji (menggunakan tumbuhan) dengan reaktor kontrol (tanpa tumbuhan) untuk melihat signifikansi pengaruh ada tidaknya tumbuhan terhadap penyisihan pencemar yang dilakukan oleh reaktor biofilter. Uji signifikansi dalam ini menggunakan software sigmaplot 12.50.

Uji statistik ini menggunakan uji ANOVA dengan tingkat kepercayaan sebesar 95%, sehingga pengaruh yang signifikan dalam uji statistik ini ditunjukkan dengan $P\text{-value}$ lebih kecil daripada 0,05 ($P\text{-value} < 0,05$). Apabila nilai $P\text{-value}$ lebih besar daripada 0,05 maka pengaruh yang terjadi antara variabel terhadap hasil tidak signifikan.

Tabel 4.3 Nilai Signifikansi Variabel

Dependent Variable	Independent Variable	Normality Test	Equal Variance Test	Alpha Value	P-value	Significance
Shapiro-Wilk						
COD	Time Series	Passed (P=0,479)	Passed (P=1,000)	0,05	0,275	No
	Uji x Tanpa Tumbuhan				0,021	Yes
	Jenis Media	Passed (P=0,783)	Passed (P=0,421)		<0,001	Yes
	Bentuk reaktor				0,145	No
Ammonium	Time Series	Passed (P=0,999)	Passed (P=1,000)	0,05	0,174	No
	Uji x Tanpa Tumbuhan				0,056	No
	Jenis Media	Failed (P<0,050)	Passed (P=0,174)		0,004	Yes
	Bentuk Reaktor				0,073	No
Fosfat	Time Series	Passed (P=0,958)	Passed (P=1,000)	0,05	0,262	No
	Uji x Tanpa Tumbuhan				0,145	No
	Jenis Media	Passed (P=0,371)	Failed (P=0,421)		0,114	No
	Bentuk Reaktor				0,623	No

Dari tabel di atas, diketahui bahwa yang data yang memiliki pengaruh signifikan adalah perbedaan antara reaktor uji dengan reaktor kontrol, serta jenis media terhadap penyisihan COD di dalam air limbah. Lama periode siklus serta konfigurasi reaktor tidak memberikan dampak yang signifikan di dalam penyisihan pencemar COD.

Sedangkan pada penyisihan ammonium serta fosfat, tidak terlihat adanya perubahan yang signifikan dalam menyisihkan polutan akibat dari adanya jenis media, konfigurasi reaktor,

maupun apabila dibandingkan dengan reaktor uji dan reaktor kontrol.

4.5 Kondisi Reaktor Biofilter

Selama 30 hari proses biofiltrasi berjalan, terjadi perubahan biomassa yang nampak pada tumbuhan. Pada awal tumbuhan diletakkan pada masa aklimatisasi, tumbuhan berukuran 65-75 cm masih berukuran kecil dan menyisakan banyak rongga kosong pada reaktor biofilter. Pada hari ketiga puluh dari masa uji, dapat terlihat bahwa tumbuhan bertumbuh tidak hanya ke atas, akan tetapi semakin lebat menutupi reaktor biofilter. Hal ini menunjukkan bahwa tumbuhan *Scirpus grossus* dapat tumbuh dengan baik pada reaktor biofilter dengan menerima beban air limbah COD, ammonium, serta fosfat berturut-turut sebesar 200 mg/L, 20 mg/L, dan 2 mg/L.



Gambar 4.30 Kondisi Awal Reaktor Uji Biofilter



Gambar 4.31 Kondisi Akhir Reaktor Uji Biofilter

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan sementara yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Konfigurasi Reaktor yang mampu menyisihkan beban pencemar yang paling baik adalah reaktor dengan konfigurasi memanjang dengan kemampuan penurunan nilai COD, ammonium, serta fosfat yang lebih baik daripada reaktor melintang baik ketika menggunakan media kerikil, pasir, maupun kombinasi media kerikil dan pasir.
2. Media yang mampu menyisihkan beban pencemar yang paling baik adalah kombinasi media kerikil pada kompartemen pertama dan media pasir pada kompartemen kedua untuk parameter COD dengan efisiensi berkisar antara 72-88%, ammonium dengan efisiensi berkisar antara 98-99%, dan fosfat 90-100*%.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk menunjang hasil dari penelitian ini adalah:

1. Untuk penelitian selanjutnya, dibandingkan antara kecepatan infiltrasi dengan luas area permukaan biofilter, agar dapat diketahui luasan area biofilter yang sesuai terhadap daerah dengan debit limbah yang bermacam-macam.
2. Untuk penelitian selanjutnya, dilakukan analisa kerapatan tumbuhan yang optimal pada biofilter di dalam kaitannya terhadap penurunan beban pencemar.
3. Untuk penelitian selanjutnya, dilakukan analisa terhadap jenis makrofita (tumbuhan air) yang digunakan sebagai *phytotreatment*.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

Daftar Pustaka

- Abidi, S. et al., 2009. "Comparative pilot study of the performances of two constructed wetland wastewater treatment hybrid systems". pp. 370-377.
- ACTFR, 2015. *The fate of phosphorus in wetlands: A review*, Queensland: Australian Centre for Tropical Freshwater Research.
- Afandi, Y. V., Sunoko, H. R. & Kismartini, 2013. Status Keberlanjutan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Komunal Berbasis Masyarakat di Kota Probolinggo. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 11(2), pp. 100-109.
- Atik, W., 2013. Pengaruh Selenium dan Jumlah *Scirpus grossus* untuk Pengolahan Lindi TPA Kab. Sidoarjo Menggunakan Komposisi Media. *digilib.its.ac.id*.
- Bastviken, S., 2006. *Nitrogen removal in treatment wetlands- Factors influencing spatial and temporal variations*, Linkoping: Departement of biology, IFM, Linkoping University.
- Brisson, J. & Chazarenc, F., 2009. "Maximizing pollutant removal in constructed wetlands: Should we pay more attention to macrophyte species selection?". *Science of The Total Environment*, pp. 1923-1930.
- Brix, H., 1994. Function of Macrophytes in Constructed wetlands. *Wat. Sci. Tech.*, 29(4), pp. 71-78.
- Brix, H. & Arias, C. A., 2005. The Use of Vertical Flow Constructed Wetlands for On-Site Treatment of Domestic Waste Water: New Danish Guidelines. *Ecological Engineering*, Volume 25, pp. 491-500.
- Brix, H., Arias, C. A. & Johansen, N.-H., 2003. "Experiments in Two-Stage Constructed Wetland System: Nitrification Capacity and Effects of Recycling on Nitrogen Removal". *Wetlands-nutrients, metals, and mass cycling*, pp. 237-258.
- Brix, H. & Schierup, H.-H., 1989. "The Use of Aquatic Macrophytes in Water-Pollution Control". *AMB/O*, 18(2), pp. 100-107.

- Calheiros, C. S. C., Rangel, A. O. S. S. & Castro, P. M. L., 2008. Evaluation of Different Substrates to support the Growth of *Typha latofia* in Constructed Wetlands Treating Tannery Wastewater Over Long Term Operation. *Bioresource Technology*, Volume 99, pp. 6866-6877.
- Chang, N.-B., Xuan, Z., Daranpob, A. & Wanielista, M., 2010. A Subsurface Upflow Wetland System for Removal of Nutrients and Phatogens in On-Site Sewage Treatment and Disposal Systems. *Environmental Engineering Science*, 00(00), pp. 1-14.
- Chaudhary, D. S. et al., 2003. Biofilter in Water and Wastewater Treatment. *Korean J. Chem. Eng*, 20(6), pp. 1054-1065.
- Chuah, T.-s., Maziah, B. M., Nuraziah, B. M. Y. & Cha, T.-S., 2006. Reduced rates of Tanks Mixture for Red Sprangletop (*Leptochloa chinensis* [L] Nees) and Greater Club-Rush (*Scirpus grossus* [L.] f.) Control in Rice. *Weed Biology and Management*, Volume 6, pp. 245-249.
- Cooper, P., 2009. "What can we learn from old wetlands? Lessons that have been learned and some that may have been forgotten over the past 20 years". *Desalination*, Issue 246, pp. 11-26.
- Debusk, T. A. & Ryther, J. H., 1981. Effects of Seasonality and Plant Density on The Productivity of Some Freshwater Macrophytes. *Aquatic Botany*, Volume 10, pp. 133-142.
- Dunne, E. J. & Reddy, K. R., 2005. Phosphorus bogeochemistry of wetlands in agricultural watershed. *Nutrient management in agricultural watershed: A wetlands solution*, pp. 105-119.
- Fillery, I., Simpson, J. & De Datta, S., 1986. Contribution of ammonia volatilization to total nitrogen loss after applications of urea to wetland rice fields. *Fertilizer Research*, Volume 8, pp. 193-202.
- Frazer-Williams, R. A. D., 2010. A Review of The Influence of Design Parmeters on The Performance of Constructed Wetlands. *Journal of Chemical Engineering IEB*, 25(1).
- Gisolfi, P. A. & Wilk, R., 2007. Biofiltration in Storm Water Management. *Terrain-Fall/Summer*.

- Gubernur Jatim, 2013. *Peraturan Gubernur Jawa Timur No 72 Tentang baku Mutu Air Limbah*. Jawa timur: Gubernur Jawa Timur.
- Gupta, A. K., 2013. *Actinoscirpus grossus, Giant Bur Rush. The IUCN Red List of Threatened Species*. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2011-1.RLTS.T169004A6560789.en>, Volume e.T169004A6560789.
- Hatt, B. E., Fletcher, T. D. & Deletic, A., 2009. Hydrologic and Pollutant Removal Performance of Stormwater Biofiltration Systems at The Field Scale. *Journal of Hydrology*, Volume 365, pp. 310-321.
- Hermans, C., Hammond, J. P., White, P. J. & Verbruggen, N., 2006. how do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation. *TRENDS in Plant Science*, 11(12), pp. 610-616.
- Hua, G. F., Zhu, W., Zhao, L. & Huang, J., 2010. Clogging pattern in vertical-flow constructed wetlands: Insight from a laboratory study. *Journal of Hazardous Materials* , Volume 180, pp. 668-674.
- Jinadasa, K. B. S. N., Tanaka, N., Mowjood, M. I. M. & Werellagama, D. R. I. B., 2006. Effectiveness of *Scirpus grossus* in Treatment of Domestic Wastes in a Constructed Wetland. *Journal of Freshwater Ecology*, 21(4), pp. 603-612.
- Jinadasa, K. B. S. N., Tanaka, N., Mowjood, M. I. M. & Werellagama, D. R. I. B., 2006. Free Water Surface Constructed Wetlands for Domestic Wastewater Treatment: A Tropical Case Study. *Chemistry and Ecology*, 22(3), pp. 181-191.
- Jinadasa, K. B. S. N. et al., 2008. Impact of Harvesting on CONstructed Wetlands performance - a Comparison between *Scirpus grossus* and *Typha angustifolia*. *Journal of Environmental Science and Health part A*, Volume 43, pp. 664-671.
- Kadlec, R. H. & Wallace, S. D., 2009. *Treatment Wetlands*. Second Edition penyunt. Boca Raton: CRC Press Taylor and Francis Group.

- Kraemer, U., 2005. Phytoremediation: Novel approaches to cleaning polluted soils. *Current Opinion in Biotechnology*, Volume 16, pp. 133-141.
- Kumar, J. & Sheel, R., 2012. Suitability and Utility Value of *Thypa angustifolia* Linn. for Cultivation in North Bihar Countryside Wetlands. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 2(2), pp. 234-238.
- Kumar, K. V. et al., 2013. Biofiltration and its application in treatment of air and water pollutants - A Review. *International Kournal of Application or Innovation in Engineering and Management (IJAIEM)*, 2(9), pp. 226-231.
- Lerdluksamee, C., Srikaeo, K., Tutasaus, J. A. M. & Dieguez, J. G., 2013. physicochemical Properties and Starch Digestibility of *Scirpus Grossus* Flour and Starch. *Carbohydrate Polymers*, Volume 97, pp. 482-488.
- Li-hua, C. et al., 2006. "Performance of Hybrid Constructed Wetland Systems for Treating Septic Tank Effluent". *Journal of Environmental Sience*, 18(4), pp. 665-669.
- Loades, K. W., Bengough, A. G., Bransby, M. F. & Hallet, P. D., 2010. Planting Density Influence on Fibrous Root Reinforcement of Soils. *Ecological Engineering*, Volume 36, pp. 276-284.
- Materac, M., Wyrwicka, A. & Sobiecka, E., 2015. Phytoremediation Techniques in Wastewater Treatment. *Environmental Biotechnology*, 11(1), pp. 10-13.
- Mathew, A., Dubey, A. & Mahindrakar, A. B., 2016. Study of Constructed Wetland for Treatment of Landfill Leachate. *International Journal of ChemTech Research*, 9(11), pp. 87-95.
- Mena, J. et al., 2008. "Design of horizontal and vertical subsurface flow constructed wetlands treating industrial wastewater".
- Mohammed, K. A. S., 2013. *Effect of nutrient limitation on physiological and morphological plant trait related to growth and quality of tomato*, Berlin: Humboldt University.
- Mubin, F., Binilang, A. & Halim, F., 2016. Perencanaan Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik di Kelurahan Istiqal Kota Manado. *Jurnal Sipil Statik*, 4(3), pp. 211-223.

- Muhajir, M. S., 2013. *Penurunan Limbah Cair BOD dan COD pada Industri Tahu Menggunakan Tanaman Cattail (Typha angustifolia) dengan Sistem Constructed Wetland*, Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- National Risk Management Research Laboratory of U.S. EPA, 2000. *Introduction to Phytoremediation*. Cincinnati: Environmental Protection Agency.
- Ningsih, D. A., 2017. *Uji Penurunan Kandungan BOD, COD, dan Warna pada Limbah Cair Pewarnaan Batik Menggunakan Scirpus grossus dan Iris pseudacorus dengan Sistem Pempararan Intermittent*. Surabaya: Teknik Lingkungan FTSP ITS.
- Peng, J. et al., 2012. "Performance of a novel Circular-Flow Corridor wetland toward the treatment of simulated high-strength swine wastewater". *Ecological Engineering*, Issue 49, pp. 1-9.
- Phewnil, O. et al., 2014. Choosing Aquatic Plant Species for High Wastewater Treatment Efficiency through Small Wetland. *Modern Applied Science*, 8(4).
- Prihandrijanti, M. & Firdayati, M., 2011. "Current Situation and Considerations of Domestic Wastewater Treatment Systems for Big Cities in Indonesia (Case Study: Surabaya and Bandung)". *Journal of Water Sustainability*, pp. 97-104.
- Priya, Sharma, G. & Brighu, D. U., 2013. Comparison of Different Types of Media for Nutrient Removal Efficiency in Vertical Upflow Constructed Wetlands. *International Journal of Environmental ENgineering and Management*, 4(5), pp. 405-416.
- Randerson, P. F., 2006. Constructed Wetlands and Vegetation Filters: an Ecological Approach to Wastewater Treatment. *Environmental Biotechnology*, 2(2), pp. 78-89.
- Read, J., Wevill, T., Fletcher, T. & Deletic, A., 2008. Variation Among Plant Species in Pollutant Removal from Stormwater in Biofiltration Systems. *Water Research*, Volume 42, pp. 893-902.
- Reddy, K. R., Kadlec, H. R., Flaig, E. & Gale, P. M., 1999. Phosphorus retention in streams and wetlands: A review.

- Critical reviews i Environmental and Technology*, 29(1), pp. 83-146.
- Rejmankova, E., 2011. The Role of Macrophytes in Wetland Ecosystems. *Journal of Ecologicy and Field Biology*, 34(4), pp. 333-345.
- Remans, T. et al., 2006. A central role for the nitrate transporter NRT2.1 in the integrated morphological and physiological responses of the root system to nitrogen limitation in Arabidopsis. *Plant Physiology*, Volume 140, pp. 909-921.
- Saeed, T. & Sun, G., 2011. A Comparative Study on the Removal of nutrients and Organic Matter in Wetland Reactors Employing Organic Media. *Chemical Engineering Journal*, Volume 171, pp. 439-447.
- Sehar, S. et al., 2015. "A comparative study of macrophytes influence on wastewater treatment through subsurface". *Ecological Engineering*, pp. 62-69.
- Setiawati, R. T. & Purwati, I. F., 2016. Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik di Kecamatan Simokerto Kota Surabaya. *Simposium I Jaringan Perguruan Tinggi untuk Pembangunan Infrastruktur Indonesia*.
- Sharma, G., Priya & Brighu, U., 2014. Performance Analysis of Vertical Up-Flow Constructed Wetlands for Secondary Treated Effluent. *APCBEE Procedia*, Volume 10, pp. 110-114.
- Shelef, O., Gross, A. & Rachmilevitch, S., 2013. Role of Plants in a Constructed Wetland: Current and New Perspectives. *Water*, Volume 5, pp. 405-419.
- Tangahu, B. V. et al., 2013. Phytoremediation of Wastewater Containing Lead (Pb) in Pilot Reed Bed Using *Scirpus grossus*. *International Journal of Phytoremediation*, Volume 15, pp. 663-676.
- Tee, H.-C., Lim, P.-E., Seng, C.-E. & Nawi, M.-A. M., 2012. "Newly developed baffled subsurface-flow constructed wetland for the enhancement of nitrogen removal". *Bioresource Technology*, Issue 104, pp. 235-242.
- Trihadiningrum, Y. et al., 2007. *Phytotechnology, a Nature-Based Approach for Sustainable Water Sanitation and*

Conservation.[Online] Available at: <http://www.wepa-db.net/pdf/0810forum/paper07.pdf> [Diakses 3 January 2017].

United Nations Human Settlements, 2008. *Constructed Wetlands Manual*. Kathmandu, Nepal: UN-Habitat.

United States - Environmental Protection Agency, 1993. *Subsurface Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*, s.l.: U.S. EPA Office of Wastewater Enforcement and Compliance.

USDA; NRCS, National Plant Data Center and Idaho Plant Materials Center, 2001. Narrowleaf Cattail . Dalam: M. Stevens & C. Hoag, penyunt. *Plant Guide*. Idaho: s.n.

Vymazal, J., 2005. "Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment". *Ecological Engineering*, Issue 25, pp. 478-490.

Vymazal, J., 2010. :review: Constructed Wetlands for Wastewater Treatment:. *Water*, pp. 530-549.

Vymazal, J., 2011. Plants Used in Constructed Wetlands with Horizontal Subsurface Flow: a review. *Hydrobiologia*, Volume 674, pp. 133-156.

Vymazal, J., 2013. The Use of Hybrid Constructed Wetlands for Wastewater Treatment with Special Attention to Nitrogen Removal: A Review of a Recent Development. *Water Research*, Volume 47, pp. 4795-4811.

Webb, J. M. et al., 2013. The Effect of Halophyte Planting Density on The Efficiency of Constructed Wetlands for The Treatment of Wastewater from Marine Aquaculture. *Ecological Engineering*, Volume 61, pp. 145-153.

Wu, H. et al., 2015. "A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: Design and operation". *Bioresource Technology*, pp. 594-601.

Wu, S. et al., 2014. "Development of constructed wetlands in performance intensifications for wastewater treatment: A nitrogen and organic matter targeted review". *Water Research* 57, pp. 40-55.

- Yang, Z. et al., 2016. Effect of Plant Harvesting on the Performance of COnstructed Wetlands during Summer. *Water*, 8(24), pp. 1-10.
- Yen, L. V. & Saibeh, K., 2013. Phytoremediation Using *Thypa agustifolia* L. for Mine Water Effluence Treatment: Case Study of Ex-Mamut Copper Mine, Ranau, Sabah. *Borneo Science*, Volume 33.
- Zhang, S. et al., 2016. Effect of vegetation on nitrogen removal and ammonia volatilization from wetland microcosms. *Ecological Engineering*, Volume 97, pp. 363-369.
- Zidan, A. R. A., El-Gamal, M. M., Rashed, A. A. & Eid, M. A. A. E.-H., 2015. Wastewater Treatmnet in Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetlands Using Different Media (Setup Stage). *Water Science*, Volume 29, pp. 26-35.

LAMPIRAN A

PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM

1. Analisis BOD

Alat dan Bahan

1. Labu ukur 500 mL 1 buah
2. Botol winkler 300 mL 2 buah
3. Botol Winkler 150 mL 2 buah
4. Botol winkler 300 mL 1 buah
5. Botol winkler 150 mL 1 buah

Prinsip Kerja :

Prosedur BOD dengan winkler

Prosedur analisis :

A. Pembuatan Air Pengencer

Air pengencer ini tergantung banyaknya sampel yang akan dianalisis dan pengencerannya, prosedurnya:

1. Menambahkan 1 mL larutan Buffer Fosfat per liter air
2. Menambahkan 1 mL larutan Magnesium Sulfat per liter air
3. Menambahkan 1 mL larutan Kalium Klorida per liter air
4. Menambahkan 1 mL larutan Feri Klorida per liter air
5. Menambahkan 10 mg bubuk inhibitor
6. Melakukan aerasi minimal selama 2 jam
7. Menambahka 1 mL larutan benih per liter air

B. Prosedur BOD

1. Menentukan Pengenceran

Untuk menganalisis BOD harus diketahui besarnya pengenceran melalui angka KMnO₄ sebagai berikut:

$$P = \frac{\text{AngkaKMnO}_4}{3\text{atau}5}$$

2. Prosedur BOD dengan winkler

1. Menyiapkan 1 buah labu takar 500 mL dan tuangkan sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran, tambahkan air pengencer sampai batas labu.
2. Menyiapkan 2 buah botol winkler 300 mL dan 2 buah botol winkler 150 mL.
3. Menuangkan air dalam labu takar tadi ke dalam botol winkler 300 mL dan 150 mL sampai tumpah.
4. Menuangkan air pengencer ke botol winkler 300 mL dan 150 mL sebagai blanko sampai tumpah.
5. Memasukkan kedua botol winkler 300 mL ke dalam inkubator 20°C selama 5 hari.
6. Kedua botol winkler 150 mL yang berisi air dianalisis oksigen terlarutnya dengan prosedur sebagai berikut:
 - Menambahkan 1 mL larutan Mangan Sulfat
 - Menambahkan 1 mL larutan Pereaksi Oksigen
 - Menutup Botol dengan hati-hati agar tidak ada gelembung udaranya lalu balik-balikkan beberapa kali.
 - Membiarkan gumpalan mengendap selama 5-10 menit.
 - Menambahkan 1 mL Asam Sulfat pekat, tutup dan balik-balikkan
 - Menuangkan 100 mL larutan ke dalam erlenmeyer 250 mL
 - Menitrasi dengan larutan Natrium Tiosulfat 0,0125 N sampai warna menjadi coklat muda
 - Menambahkan 3-4 tetes indikator amilum dan titrasi dengan NatriumTiosulfat hingga warna biru hilang

7. Setelah 5 hari, analisis kedua larutan dalam botol winkler 300 mL dengan analisis oksigen terlarut.
8. Hitung Oksigen Terlarut dan BOD dengan rumus berikut:

$$OT(mgO_2 / L) = \frac{axN \times 8000}{100ml}$$

$$BOD_5^{20}(mg / L) = \frac{\left[(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5) \right] x (1 - P)}{P}$$

$$P = \frac{ml sampel}{volume hasil pengenceran (500ml)}$$

Di mana:

X_0 = oksigen terlarut sampel pada t = 0

X_5 = oksigen terlarut sampel pada t = 5

B_0 = oksigen terlarut blanko pada t = 0

B_5 = oksigen terlarut blanko pada t = 5

P = derajat Pengenceran

2. Analisis COD

Alat dan Bahan

1. Erlenmeyer 250 mL 2 buah
2. Alat *refluks* dan pemanasnya
3. Pipet 5 mL dan 10 mL
4. Pipet tetes 1 buah
5. Beaker glass 50 mL 1 buah
6. Gelas ukur 25 mL 1 buah
7. Larutan kalium dikromat 0,1 N
8. Kristal perak sulfat dicampur dengan asam sulfat
9. Kristal merkuri sulfat
10. Larutan standar Fero Ammonium Sulfat (FAS)
11. Larutan indikator Fenantrolin Fero Sulfat (Feroin)

Prinsip Kerja :

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam 1 liter sampel air, dimana pengoksidasi kalium Bikromat digunakan sebagai sumber oksigen.

Prosedur analisis :

1. Memasukkan 0,4 gr kristal Hg_2SO_4 ke dalam masing-masing erlenmeyer COD.
2. Menuangkan 20 mL air sampel dan 20 mL air aquadest (sebagai blanko) ke dalam masing-masing erlenmeyer COD.
3. Menambahkan 10 mL larutan Kalium Dikromat ($K_2Cr_2O_7$) 0,1 N.
4. Menambahkan 30 mL larutan campuran H_2SO_4 dan Ag_2SO_4 .
5. Mengalirkan air pendingin pada kondenser dan pasang erlenmeyer COD.
6. Menyalakan alat pemanas dan refluks larutan tersebut selama 2 jam.
7. Membiarakan erlenmeyer dingin dan menambahkan air aquadest melalui kondensor sampaivolume 150 mL.
8. Melepaskan erlenmeyer dari kondensor dan tunggu sampai dingin.
9. Menambahkan 3-4 tetes indikator feroin.
10. Menitrasikan kedua larutan di erlenmeyer tersebut dengan larutan standart Fero
11. Amonium Sulfat 0,05 N hingga warna menjadi merah-coklat.
12. Menghitung jumlah COD sampel dengan rumus berikut:

$$COD\left(\frac{mg}{L} O_2\right) = \frac{(a-b) \times N \times 8000}{vol.sampel} \times f \times p$$

Di mana: a = mL FAS titrasi blanko

b = mL FAS titrasi sampel

N = normalitas larutan FAS

F = faktor (20 : titran blanko ke dua)

p = pengenceran

3. Analisis Ammonium

Alat dan Bahan

1. Erlenmeyer 100 mL 2 buah
2. Larutan Nessler
3. Larutan Garam Signet
4. Spektrofotometer

Prinsip Kerja :

Metode Nessler

Prosedur analisis :

1. Menuangkan 25 ml sampel masing-masing pada Erlenmeyer 100 ml
2. Menambahkan 1 ml larutan Nessler
3. Menambahkan 1,23 ml larutan garam signet
4. Diaduk dan didiamkan selama 10 menit
5. Menganalisa menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang $410\mu\text{m}$
6. Mengonversi hasil bacaan pada spektrofotometer dengan kurva kalibrasi.

Pembuatan Kurva kalibrasi

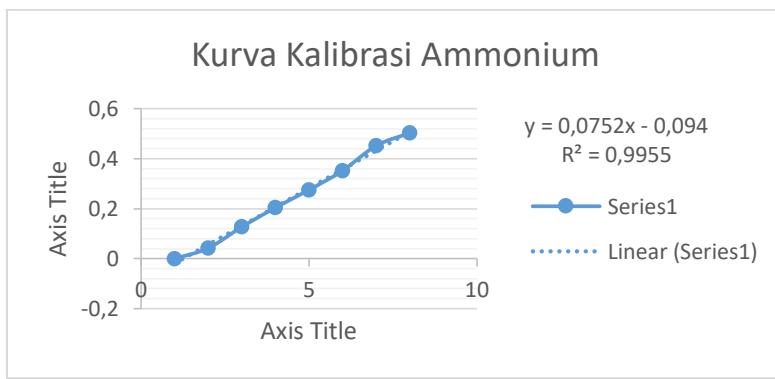
Pada metode spektrofotometri, sampel yang diukur mempunyai kecenderungan menyerap pancaran dari gelombang elektromagnetik sehingga pada panjang gelombang tertentu, parameter yang diinginkan dapat terlihat berdasarkan absorbansi yang terbaca. Dengan membuat pembacaan pada berbagai konsentrasi, dapat dibuat kurva kalibrasi berdasarkan range konsentrasi yang dibuat. Penentuan panjang gelombang yang digunakan merupakan panjang gelombang dengan pembacaan tertinggi pada sampel dengan larutan standar 1 ppm.

Tabel La 1 pencarian panjang gelombang optimum ammonium

panjang Gelombang	Absorbansi
380	0,27
385	0,274
390	0,267
387	0,271
386	0,275

Tabel La 2 Pembuatan Kurva Kalibrasi Ammonium

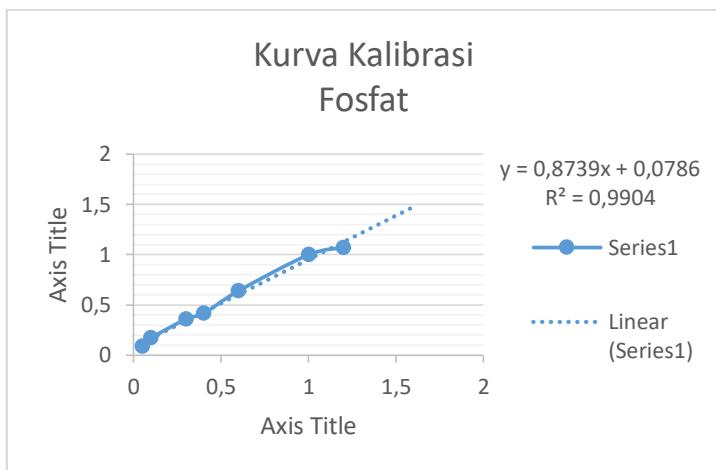
Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi
0,4	0,042
0,6	0,127
0,8	0,204
1	0,275
1,2	0,352
1,4	0,452
1,6	0,503



Gambar La 1 Kurva Kalibrasi Ammonium

Tabel La 3 Pembuatan Kurva Kalibrasi Fosfat

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi
0,05	0,086
0,1	0,17
0,3	0,359
0,4	0,415
0,6	0,64
1	0,999
1,2	1,071



Gambar La 2 Kurva Kalibrasi Ammonium

Halaman ini sengaja dikosongkan.

LAMPIRAN B
DATA HASIL ANALISA
Tabel Lb 1 Pengukuran Laju Pertumbuhan

Hari	Laju A (cm)	Laju B (cm)	Rata-rata laju (cm)	Simpangan
0	0	0	0	0
1	1	0,9	1	0,05
2	1,4	1,4	1,4	0
3	1,5	2,2	1,9	0,35
4	5	3,5	2,9	0,6
5	2,3	5,1	5,1	0,05
7	5	6,6	6,5	0,15
8	6,3	12	12	0,5
10	13	13	14	0,9
13	15	15	16	1,25
15	18	24	27	3
17	30	25	28	3
20	31	28	30	2
22	32	30	32	1,5
25	33	31	34	3
28	37	37	43	6
30	49	46	50	4,75
33	55	65	67	2,75
36	70	72	73	1
38	74	75	77	2
41	79	80	82	1,5
43	83	94	97	3
45	100	101	104	2,5

Hari	Laju A (cm)	Laju B (cm)	Rata-rata laju (cm)	Simpangan
47	106	109	111	1,5
50	112	114	115	0,5
53	115	115	117	1,5
56	118	120	122	2
58	124	123	125	2
60	127	128	129	1
62	130	132	134	1,5
64	136	133	135	1,5
66	138	133	136	2,5
68	140	136	138	2
70	140	136	138	2

Tabel Lb 2 Pengukuran COD

Jenis Reaktor	COD	Nilai COD	Rata-rata	Std
	Sampel	mg/L	mg/L	
	Blanko			
Reaktor Memanjang Media Kerikil	A-K-t	296,0	280,0	16
	A-K-t-d	264,0		
	A-K-a	200,0	158,0	42
	A-K-a-d	116,0		
Reaktor Melintang Media Kerikil	B-K-t	320,0	292,0	28
	B-K-t-d	264,0		
	B-K-a	240,0	244,0	4

Jenis Reaktor	COD	Nilai COD	Rata-rata	Std
	Sampel	mg/L	mg/L	
	Blanko			
Reaktor Memanjang Media Kerikil Pasir	B-K-a-d	248,0		
	A-KP-t	168,0	172,0	4
	A-KP-t-d	176,0		
	A-KP-a	104,0	76,0	28
Reaktor Melintang Media Kerikil Pasir	A-KP-a-d	48,0		
	B-KP-t	176,0	172,0	4
	B-KP-t-d	168,0		
	B-KP-a	136,0	104,0	32
Reaktor Memanjang Media Pasir	B-KP-a-d	72,0		
	A-P-t	236,6	236,6	0
	A-P-t-d	236,6		
	A-P-a	49,0	89,8	40,8
Reaktor Melintang Media Pasir	A-P-a-d	130,6		
	B-P-t	326,4	289,7	36,72
	B-P-t-d	253,0		
	B-P-a	106,1	97,9	8,16
Kontrol Reaktor Memanjang Kerikil Pasir	B-P-a-d	89,8		
	C-A-KP-t	285,6	285,6	
Kontrol Reaktor Melintang Kerikil Pasir	C-A-KP-a	116,4	116,4	
	C-B-KP-t	350,9	350,9	
	C-B-KP-a	181,8	181,8	
	C-A-K-t	286,3	286,3	

Jenis Reaktor	COD	Nilai COD	Rata-rata	Std
	Sampel	mg/L	mg/L	
	Blanko			
Kontrol Reaktor Memanjang Kerikil	C-A-K-a	174,5	174,5	
Kontrol Reaktor Melintang Kerikil	C-B-K-t	361,1	361,1	
	C-B-K-a	248,9	248,9	
Kontrol Reaktor Memanjang Pasir	C-A-P-t	240,0	240,0	
	C-A-P-a	127,3	127,3	
Kontrol Reaktor Melintang Pasir	C-B-P-t	341,8	341,8	
	C-B-P-a	166,6	166,6	
Kontrol PDAM Reaktor Memanjang Kerikil Pasir	CC-A-KP-t	166,6	166,6	
	CC-A-KP-a	84,3	84,3	
Kontrol PDAM Reaktor Melintang Kerikil Pasir	CC-B-KP-t	121,7	121,7	
	CC-B-KP-a	54,4	54,4	

Tabel Lb 3 Pengukuran Ammonium

Jenis Reaktor	Ammo nium	Pengen ceran	Absor bansi	Nilai Ammo nium	Rata -rata	St d
			Sampel	A	mg/ L	
Reaktor Memanjang Media Kerikil	A-K-t	5	0,451	7,204	5,32	1, 89
	A-K-t-d	5	0,157	3,430		
	A-K-a	2	0,259	1,896	1,57	0, 32
	A-K-a-d	2	0,134	1,254		
Reaktor Melintang Media Kerikil	B-K-t	5	0,283	5,047	4,39	0, 65
	B-K-t-d	5	0,181	3,738		
	B-K-a	2	0,402	2,630	2,53	0, 10
	B-K-a-d	2	0,364	2,435		
Reaktor Memanjang Media Kerikil Pasir	A-KP-t	5	0,38	6,293	4,56	1, 73
	A-KP-t-d	5	0,11	2,827		
	A-KP-a	2	0,229	1,742	1,43	0, 31
	A-KP-a-d	2	0,108	1,120		
Reaktor Melintang Media Kerikil Pasir	B-KP-t	10	0,05	4,113	5,97	1, 86
	B-KP-t-d	5	0,5	7,833		
	B-KP-a	2	0,38	2,517	2,57	0, 05
	B-KP-a-d	2	0,4	2,620		
Reaktor Memanjang	A-P-t	5	0,359	6,023	5,40	0, 62
	A-P-t-d	10	0,076	4,780		

Jenis Reaktor	Ammo nium	Pengen ceran	Absor bansi	Nilai Ammo nium	Rata -rata	St d
	Sampel		A	mg/L	mg/ L	
ang Media Pasir	A-P-a	2	0,185	1,516	1,20	0, 31
	A-P-a-d	2	0,063	0,889		
Reaktor Melintang Media Pasir	B-P-t	5	0,145	3,276	2,71	0, 56
	B-P-t-d	5	0,057	2,146		
	B-P-a	2	0,09	1,028	1,28	0, 26
	B-P-a-d	2	0,19	1,541		
Kontrol Reaktor Memanjang Kerikil Pasir	C-A-KP-t	5	0,07	2,313	2,31	
	C-A-KP-a	5	0,049	2,044	2,04	
Kontrol Reaktor Melintang Kerikil Pasir	C-B-KP-t	5	0,362	6,062	6,06	
	C-B-KP-a	2	0,312	2,168	2,17	
Kontrol Reaktor Memanjang Kerikil	C-A-K-t	5	0,134	3,135	3,13	
	C-A-K-a	5	0,14	3,212	3,21	
Kontrol Reaktor	C-B-K-t	10	0,04	3,856	3,86	
	C-B-K-a	2	0,39	2,568	2,57	

Jenis Reaktor	Ammo nium	Pengen ceran	Absor bansi	Nilai Ammo nium	Rata -rata	St d	
			Sampel	A	mg/L		
Melintang Kerikil							
Kontrol Reaktor Memanjang Pasir	C-A-P-t		5	0,164	3,520	3,52	
	C-A-P-a		5	0,057	2,146	2,15	
Kontrol Reaktor Melintang Pasir	C-B-P-t		10	0,04	3,856	3,86	
	C-B-P-a		2	0,19	1,541	1,54	
Kontrol PDAM Reaktor Memanjang Kerikil Pasir	CC-A-KP-t		5	0,206	4,059	4,06	
	CC-A-KP-a		5	0,049	2,044	2,04	
Kontrol PDAM Reaktor Melintang Kerikil Pasir	CC-B-KP-t		5	0,004	1,466	1,47	
	CC-B-KP-a		2	0,275	1,978	1,98	

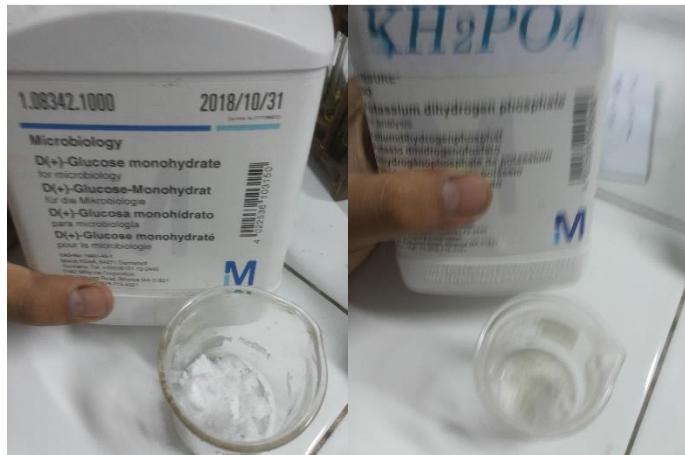
LAMPIRAN C
DOKUMENTASI PENELITIAN



Gambar Lc 1 Proses Penumbuhan Tunas *Scirpus grossus*



Gambar Lc 2 Proses Perbanyakan *Scirpus grossus*



Gambar Lc 3 Bahan Pembuatan Larutan *Spiked*



Gambar Lc 4 Hasil Pembuatan Larutan *Spiked*

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BIOGRAFI PENULIS



Bara Awanda Marhendra dilahirkan pada tanggal 1 Oktober 1995 di Kota Malang Jawa Timur. Anak kedua dari pasangan Agung Pramana Warih Marhendra dan Wahyu Widoretno ini memulai pendidikan formalnya di SDN Papandayan Bogor sebelum akhirnya menyelesaikan masa SD-nya di SD laboratorium UM Malang. Masa SMP ia habiskan di SMP Laboratorium UM Malang dilanjutkan dengan SMAN 4 Malang. Penulis akhirnya memilih untuk melanjutkan pendidikannya di Departemen Teknik Lingkungan FTSP Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama mengenyam bangku perkuliahan, penulis aktif di bidang kemahasiswaan yang bergerak di bidang lingkungan maupun pengembangan mahasiswa. Diawali dengan menjadi bagian dari keanggotaan panitia Hari Air 2014, penulis kemudian bergabung dengan Komunitas Pecinta dan Pemerhati Lingkungan (KPPL) sebagai staf divisi konservasi alam pada tahun 2014 dan sebagai staf ahli pada 2015. Pada tahun 2015, penulis juga merangkap sebagai *Steering Committee* Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) hingga masa bakti 2016. Penulis pernah didanai Dikti untuk PKM non-GT 2014 dengan membuat PKM-KC yang berbasis keprofesian teknik lingkungan. Pada tahun 2016, penulis melaksanakan kerja praktik di PDAM Denpasar pada bidang pengolahan air minum. Penulis menjadi Asisten Laboratorium Remediasi Badan Air dan Pesisir pada tahun 2017.

Penulis dapat dihubungi melalui email:
baramarhendra@gmail.com