



TUGAS AKHIR - RE141518

PEMANFAATAN *CONSTRUCTED WETLAND* DENGAN TANAMAN PAPIRUS (*Cyperus papyrus*) UNTUK PENGOLAHAN SURFAKTAN DALAM AIR LIMBAH *LAUNDRY*

**PUTRI WINDRIYA SITORESMI
NRP 3311100076**

**DOSEN PEMBIMBING
IPUNG FITRI PURWANTI, S.T., M.T., PhD.**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT - RE141518

**THE UTILIZATION OF CONSTRUCTED WETLAND WITH
PAPIRUS PLANT (*Cyperus papyrus*) FOR SURFACTANT
TREATMENT IN LAUNDRY WASTEWATER**

**PUTRI WINDRIYA SITORESMI
NRP 3311100076**

**SUPERVISOR
IPUNG FITRI PURWANTI, S.T., M.T., PhD.**

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**

LEMBAR PENGESAHAN

Pemanfaatan *Constructed Wetland* Dengan Tanaman Papyrus (*Cyperus papyrus*) Untuk Pengolahan Surfaktan Dalam Air Limbah Laundry

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

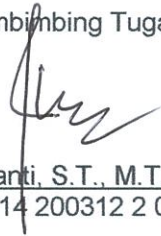
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

PUTRI WINDRIYA SITORESMI

NRP. 3311100076

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 19711114 200312 2 001



Pemanfaatan *Constructed Wetland* Dengan Tanaman Papyrus (*Cyperus papyrus*) Untuk Pengolahan Surfaktan Dalam Air Limbah *Laundry*

Nama Mahasiswa : Putri Windriya Sitoresmi
NRP : 3311100076
Jurusan : Teknik Lingkungan FTSP ITS
Dosen Pembimbing : Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., PhD.

ABSTRAK

Sebagian besar tempat usaha *laundry* membuang limbahnya langsung ke badan air tanpa pengolahan terlebih dulu. Air limbah *laundry* mengandung beberapa bahan kimia antara lain natrium, fosfat, boron, surfaktan, ammonia dan nitrogen dalam konsentrasi tinggi. Tanpa pengolahan terlebih dahulu, bahan kimia tersebut dapat menyebabkan pencemaran pada lingkungan. *Constructed wetland* (CW) merupakan salah satu alternatif pengolahan karena tidak membutuhkan biaya besar dan pemeliharaan yang mudah. *Cyperus papyrus* merupakan salah satu tanaman yang telah terbukti mampu mendegradasi pencemar organik dalam *wetland* alami maupun buatan.

Penelitian ini akan menganalisis efisiensi CW dengan *Cyperus papyrus* dalam mengolah air limbah *laundry*. Variabel yang digunakan adalah jenis aliran *wetland*, yaitu *surface flow* (SF) dan *sub-surface flow* (SSF), dan HRT, yaitu 3 hari dan 6 hari. Untuk membandingkan efisiensinya, parameter yang diukur adalah kadar surfaktan, pH, suhu, rasio BOD/COD, morfologi tanaman, berat basah dan kering.

Reaktor SSF dan SF menghasilkan efisiensi removal rata-rata 84,87% dan 79,69% dengan HRT 3 hari. Reaktor dengan HRT 6 hari menghasilkan removal sebesar 89,59% dengan aliran SSF dan 82,45% dengan aliran SF.

Namun reaktor kontrol SSF 6 hari tanpa tanaman juga memberikan efisiensi removal sebesar 83,83%. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman tidak berpengaruh besar pada removal surfaktan.

Kata Kunci: Laundry, *Constructed Wetland*, *Cyperus papyrus*, Surface Flow, Sub-Surface Flow, Surfaktan

The Utilization of Constructed Wetland With Papyrus Plant (*Cyperus papyrus*) For Surfactant Treatment in Laundry Wastewater

Name of Student : Putri Windriya Sitoresmi
NRP : 3311100076
Study Programme : Environmental Engineering
Supervisor : Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., PhD.

ABSTRACT

Most of the laundry establishment place discharge their wastewater directly to water body without any treatment. Laundry wastewater contains some chemical substances such as sodium, phosphate, boron, surfactant, ammonia and nitrogen in high concentration. Without treatment, those substances could do serious harm to the environment. Constructed wetland (CW) is one of the treatment alternatives because it does not require much cost and simple maintenance. *Cyperus papyrus* is one of the plant known that able to treat organic pollutant in natural wetland as well as constructed wetland.

This study analyzed the CW's efficiency in treating surfactant in laundry wastewater. The variable used in this study are the wetland type of flow, which is surface flow (SF) and sub-surface flow (SSF), and the hydraulic retention time (HRT), which is 3 days and 6 days. The objective of this study is to determine the influence of the variables on the surfactant removal efficiency. To compare the efficiency, parameters used in this study are surfactant, pH, temperature, BOD/COD ratio, plant morphology, the fresh and dry weight of the plants.

The SSF and SF reactor got the surfactant removal efficiency of 84,87% and 79,69% with HRT of 3 days. Reactor with the HRT of 6 days got the surfactant removal efficiency of 89,59% in SSF reactor and 82,45% in SF reactor.

However the unplanted wetland got the surfactant removal efficiency of 90,69% with HRT of 6 days. This conclude that the plant have small influence on surfactant treatment.

Keyword(s): Constructed wetland, *Cyperus papyrus*, Laundry, Surface Flow, Sub-Surface Flow, Surfactant

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, berkah, dan hidayah-Nya, sehingga dapat terselesaikannya tugas akhir ini. Tugas Akhir dengan judul “**Pemanfaatan *Constructed Wetland* Dengan Tanaman Papyrus (*Cyperus papyrus*) Untuk Pengolahan Surfaktan Dalam Air Limbah *Laundry***” dibuat sebagai persyaratan meraih gelar sarjana pada Jurusan Teknik Lingkungan. Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ibu Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD selaku dosen pembimbing yang sudah banyak memberikan arahan dan saran mengenai penyelesaian laporan tugas akhir ini
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MScES, Ibu Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD dan Ibu Harmin Sulistyaning Titah, ST., MT., PhD selaku dosen penguji atas saran dan bimbingannya
3. Ibu Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc. selaku dosen wali, terima kasih atas dukungan dan nasehat ibu selama ini
4. Orang tua dan saudara penulis atas dukungan dan doanya
5. Teman-teman di Laboratorium Sanitasi Lingkungan dan Fitoteknologi atas dukungan dan kebersamaannya
6. Teman-teman angkatan 2011 yang selalu memberi semangat dan dukungan dalam penyelesaian proposal tugas akhir ini

Laporan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Penulis meminta maaf jika ada kesalahan dalam penulisan laporan ini Untuk itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Air Limbah Laundry	5
2.2 Deterjen dan Senyawa Kimia Pembentuknya	5
2.2.1 Surfaktan	5
2.2.2 <i>Builder</i>	6
2.2.3 <i>Bleaching Agent</i>	6
2.2.4 Aditif	6
2.3 Biodegradasi Surfaktan di Lingkungan	7
2.4 Karakteristik Air Limbah <i>Laundry</i>	7
2.5 Fitoremediasi	8
2.5.1 Mekanisme fitoremediasi	9
2.5.2 Fitoremediasi menggunakan constructed wetland	10
2.6 Constructed Wetland	10
2.6.1 Gambaran umum	10
2.6.2 Sistem constructed wetland	11
2.6.3 <i>Free water surface</i> constructed wetland	12
2.6.4 Horizontal sub-surface flow constructed wetland	13
2.6.5 Vertical flow constructed wetland	14
2.6.6 Prinsip dasar pengolahan zat organik pada constructed wetland	16

2.6.7 Faktor yang mempengaruhi sistem constructed wetland	17
2.7 <i>Cyperus papyrus</i>	21
2.8 Review Penelitian Terdahulu.....	22
BAB 3 METODE PENELITIAN	27
3.1 Gambaran Umum	27
3.2 Kerangka Penelitian	27
3.3 Tahapan Penelitian.....	27
3.3.1 Ide penelitian.....	27
3.3.2 Studi literatur	29
3.3.3 Persiapan alat dan bahan	29
3.3.3.1 Penelitian pendahuluan	29
3.3.3.2 Uji <i>Fitotreatment</i>	30
3.3.4 Penelitian pendahuluan	33
3.3.5 Uji <i>fitotreatment</i>	34
3.3.5.1 Variabel	34
3.3.5.2 Parameter	35
3.3.6 Analisis data dan pembahasan	36
3.3.7 Kesimpulan dan saran	36
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Pengembangbiakan Tanaman.....	37
4.2 Analisis Kualitas Air Limbah <i>Laundry</i>	39
4.3 <i>Range Finding Test</i>	40
4.4 Uji <i>fitotreatment</i>	43
4.4.1 Surfaktan.....	43
4.4.2 pH.....	48
4.4.3 Suhu.....	51
4.4.4 Rasio BOD/COD	53
4.4.5. Berat basah dan kering tanaman.....	56
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	59
5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN A	67
LAMPIRAN B	77
LAMPIRAN C	83

BIOGRAFI PENULIS 89

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Biodegradabilitas Surfaktan di Lingkungan	7
Tabel 2.2 Karakteristik Air Limbah <i>Laundry</i>	8
Tabel 2.3 Baku Mutu Air Limbah <i>Laundry</i>	8
Tabel 2.4 Kriteria Desain SFW	13
Tabel 2.5 Kriteria Desain HSSFW	14
Tabel 2.6. Karakteristik Media Dalam Wetlands	18
Tabel 2.7. Kinerja <i>Constructed Wetland</i> Buatan Aliran Bawah Permukaan Berdasarkan Jenis Media yang Digunakan	19
Tabel 2.8 Jenis Tanaman yang digunakan pada Lahan Basah Buatan	21
Tabel 2.9 Review Penelitian Terdahulu.....	24
Tabel 3.1 Spesifikasi Reaktor.....	33
Tabel 3.2 Variabel Penelitian.....	34
Tabel 4.1 Hasil Analisis Kualitas Air Limbah <i>Laundry</i>	39
Tabel 4.2 Hasil Pengamatan <i>Range Finding Test</i>	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mekanisme Fitoremediasi.....	10
Gambar 2.2 Klasifikasi <i>Constructed Wetland</i> Berdasarkan Arah	12
Gambar 2.3 Ilustrasi Aliran Air Pada SFW	12
Gambar 2.3 Ilustrasi Aliran Air Pada SSFW	13
Gambar 2.4 Ilustrasi Aliran Air Pada <i>Downflow</i> VFCW	15
Gambar 2.5 Ilustrasi Aliran Air Pada <i>Upflow</i> VFCW	15
Gambar 2.6 Ilustrasi Aliran Air Pada <i>Tidal Flow</i> VFCW	16
Gambar 2.7 Tipe Tanaman Air	20
Gambar 2.8 Morfologi <i>Cyperus Papyrus</i>	23
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian	28
Gambar 3.2 Pot Perembangbiakan Tanaman.....	29
Gambar 3.3a Tampak atas reaktor FWS.....	30
Gambar 3.3b Reaktor FWS Potongan A-A.....	31
Gambar 3.3c Reaktor FWS Potongan B-B.....	31
Gambar 3.4a Reaktor SSF tampak atas	32
Gambar 3.4b Reaktor SSF Potongan A-A.....	32
Gambar 3.4c Reaktor SSF Potongan B-B.....	32
Gambar 4.1 Perembangbiakan Tanaman	37
Gambar 4.2 Pertumbuhan Tinggi Tanaman.....	38
Gambar 4.3 Tahap Pertumbuhan Tanaman.....	38
Gambar 4.4 Reaktor Penelitian <i>Fitotreatment</i>	44
Gambar 4.5 Removal Surfaktan pada Aliran <i>Sub-Surface</i>	45
Gambar 4.6 Removal Surfaktan pada Aliran <i>Surface</i>	45
Gambar 4.7 Removal Surfaktan pada HRT 3 Hari.....	46
Gambar 4.8 Removal Surfaktan pada HRT 6 Hari.....	46
Gambar 4.9 Nilai pH Reaktor Aliran <i>Sub-Surface</i>	50
Gambar 4.10 Nilai pH Reaktor Aliran <i>Surface</i>	50
Gambar 4.11 Pengaruh pH Terhadap Removal Surfaktan	51
Gambar 4.12 Suhu Air Reaktor Aliran <i>Sub-Surface</i>	52
Gambar 4.13 Suhu Air Reaktor Aliran <i>Surface</i>	52
Gambar 4.14 Pengaruh Suhu Air Terhadap Removal Surfaktan	53
Gambar 4.15 Hasil Analisis BOD dan COD	54
Gambar 4.16 Rasio BOD/COD.....	55
Gambar 4.17 Berat Basah dan Berat Kering Hari-6.....	56
Gambar 4.18 Berat Basah dan Berat Kering Hari-48.....	57

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Usaha jasa pencucian baju, atau yang biasa disebut *laundry*, merupakan salah satu usaha yang berkembang pesat di kota-kota besar. Usaha ini memberikan banyak keuntungan bagi konsumen dan penyedia jasa. Tetapi sebagian besar tempat *laundry* yang merupakan usaha kecil, membuang limbahnya langsung ke badan air tanpa pengolahan terlebih dulu. Menurut Ahmad dan El-Dessouky (2008), air limbah *laundry* mengandung beberapa bahan kimia antara lain natrium, fosfat, boron, surfaktan, ammonia dan nitrogen dalam konsentrasi tinggi. Serta mengandung BOD, COD, padatan tersuspensi dan kekeruhan pada konsentrasi tinggi. Pembuangan limbah ini tanpa pengolahan dapat mengakibatkan kerusakan lingkungan dan penurunan kesehatan masyarakat.

Air limbah *laundry* selalu mengandung surfaktan dengan konsentrasi tinggi. Menurut Pitter (2009) konsentrasinya mencapai 90 mg/L. *Linear alkybenzene sulfonates* (LAS) merupakan jenis surfaktan yang paling banyak digunakan dalam usaha *laundry*. Karena penggunaannya yang banyak maka LAS merupakan salah satu pencemar air yang banyak muncul.

Menurut Wang *et al.* (2009), metode yang banyak digunakan untuk mengolah limbah *laundry* antara lain koagulasi, flotasi, adsorpsi dan oksidasi kimia. Tetapi metode-metode tersebut membutuhkan investasi yang besar serta operasi dan perawatan yang rumit. Sehingga diperlukan pengolahan alternatif, salah satunya adalah *constructed wetland*.

Constructed wetland merupakan salah satu teknologi yang sesuai untuk negara berkembang karena tidak membutuhkan biaya besar, energi yang dibutuhkan rendah dan pemeliharaan yang mudah. *Constructed wetland*, pengolahan air limbah yang meniru *wetland* alami, telah banyak digunakan untuk mengolah berbagai macam air limbah seperti air limbah domestik, limbah pertanian, limbah industri, air hujan dan air sungai tercemar pada beberapa dekade terakhir. *Constructed wetland* mampu mendegradasi beberapa jenis polutan seperti zat organik,

kontaminan farmasi, pathogen dan pencemar lain dari air limbah (Cui *et al.*, 2010).

Kinerja *constructed wetland* dipengaruhi oleh beberapa parameter desain antara lain ada atau tidaknya tumbuhan, spesies tumbuhan yang digunakan, jarak antar tanaman, tipe aliran *wetland*, tipe media yang digunakan, *organic loading rate* yang masuk ke *wetland*, dan *hydraulic retention time* (Hijosa-Valsero *et al.*, 2010). Berdasarkan jenis alirannya *constructed wetland* dibagi menjadi 2 jenis yaitu *free water surface* dan *sub-surface flow*.

Pada *constructed wetland* tumbuhan berperan penting dalam degradasi polutan. Kualitas effluen *constructed wetland* menunjukkan perbedaan dengan menggunakan tumbuhan yang berbeda (Liang *et al.*, 2011). Tanaman yang dipilih harus tahan terhadap toksitas dan perubahan karakter air limbah yang masuk (Ebrahimi *et al.*, 2013). *Cyperus papyrus* adalah tumbuhan *aquatic* yang terdapat pada *wetland* subtropis dan tropis. Tumbuhan ini memiliki potensi produksi biomassa yang relatif tinggi, hal tersebut merupakan salah satu kriteria tumbuhan yang dapat digunakan untuk *constructed wetland* (Theophile *et al.*, 2013).

Menurut Erina dan Wiyono (2012) *horizontal sub surface flow constructed wetland* menggunakan tanaman *Cyperus papyrus* mampu mengolah air limbah domestik pemukiman dengan efisiensi removal BOD₅ sebesar 93,4 % dalam waktu 6 hari. Del Bubba *et.al.* (2000) menggunakan *horizontal flow constructed wetland* dengan tanaman *P. Australis* di Florence, Italia mampu mengolah LAS dengan efisiensi removal sebesar 99,7%. Pada penelitian Hijosa-Valsero (2010), pengolahan air limbah domestik menggunakan *free water surface constructed wetland* menggunakan tanaman *Thypha angustifolia* menghasilkan efisiensi removal BOD₅ sebesar 70%, COD sebesar 80% dan TSS sebesar 80%. Sedangkan menggunakan *sub-surface flow constructed wetland* menggunakan tanaman *Thypha angustifolia* menghasilkan efisiensi removal BOD₅ sebesar 80%, COD sebesar 70% dan TSS sebesar 70%.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efisiensi pengolahan surfaktan dalam limbah *laundry* menggunakan *free water surface* dan *sub-surface constructed wetland*. Variabel

yang digunakan adalah jenis aliran *wetland* dan *Hydraulic Retention Time* (HRT). Untuk mendapatkan perbandingan efisiensinya, parameter kualitas effluen yang diukur adalah kadar surfaktan, pH, suhu, rasio BOD/COD, morfologi tanaman, berat basah dan berat kering tanaman.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dirumuskan permasalahan penelitian sebagai berikut:

1. Pengaruh jenis aliran *constructed wetland* terhadap efisiensi degradasi kadar surfaktan dalam air limbah *laundry*
2. Pengaruh *Hydraulic Retention Time* (HRT) *constructed wetland* terhadap efisiensi kadar surfaktan dalam air limbah *laundry*

1.3 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Menentukan pengaruh jenis aliran *constructed wetland* terhadap efisiensi degradasi kadar surfaktan dalam air limbah *laundry*
2. Menentukan pengaruh *Hydraulic Retention Time* (HRT) *constructed wetland* tanaman terhadap efisiensi degradasi kadar surfaktan dalam air limbah *laundry*

1.4 Manfaat Penelitian

Memberikan informasi mengenai efisiensi kadar surfaktan dalam air limbah *laundry* dengan memanfaatkan *constructed wetland* dengan tanaman *Cyperus papyrus*.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Limbah yang digunakan pada penelitian ini adalah air limbah artifisial
2. Tanaman yang digunakan sebagai tanaman uji adalah *Cyperus papyrus*
3. *Constructed wetland* yang digunakan pada penelitian ini berskala laboratorium dengan ukuran 0,42 x 0,23 x 0,2 m

4. Jenis *constructed wetland* yang digunakan pada penelitian ini adalah *free water surface* dan *horizontal sub-surface flow*
5. Variabel yang digunakan adalah variasi jenis aliran *constructed wetland* dan variasi *Hydraulic Retention Time* (HRT) 3 hari dan 6 hari dalam *constructed wetland*
6. Parameter yang akan diuji adalah kadar surfaktan, pH, suhu, rasio BOD/COD (awal dan akhir), morfologi tumbuhan, berat basah dan berat kering tanaman

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah Laundry

Air merupakan komponen utama dalam operasi usaha *laundry*, karena kemampuan air sebagai pelarut universal yang efektif untuk pencucian bahan tekstil. Rata-rata *laundry* menggunakan 15 L air untuk memproses 1 kg bahan yang dicuci dan menghasilkan air limbah sebesar 400 m³ per hari. Pengolahan air limbah ini tergolong sulit karena memiliki kadar surfaktan tinggi, kadar zat organik dan anorganik tinggi dari bahan yang dicuci. Untuk air limbah dari pencucian bahan dari rumah tangga biasa dan hotel menghasilkan effluen dengan COD sebesar 400-1200 mg/L (Ciabatti *et al.*, 2009)

Deterjen juga merupakan komponen utama dalam *laundry*. Deterjen merupakan senyawa sabun yang terbentuk melalui proses kimia. Pada umumnya komponen utama penyusun deterjen adalah Natrium Dodecyl Benzen Sulfonat (NaDBS) dan Sodium Tripolyphosphat (STTP) yang bersifat sangat sulit terdegradasi secara alamiah. Senyawa NaDBS dan STTP dapat membentuk endapan dengan logam-logam alkali tanah dan logam-logam transisi (Sumarno *et al.*, 1996).

2.2 Deterjen dan Senyawa Kimia Pembentuknya

Deterjen mengandung sekitar 25 macam bahan yang dapat dikelompokkan sebagai surfaktan, *builder*, *bleaching agents*, dan zat aditif. Berikut ini adalah uraian untuk masing-masing komponen diatas.

2.2.1 Surfaktan

Surfaktan (*surface active agent*), zat yang dapat mengaktifkan permukaan, karena cenderung untuk terkonsentrasi pada permukaan. Molekul surfaktan mempunyai dua ujung terpisah, yaitu ujung polar (hidrofilik) dan ujung non-polar (hidrofobik). Surfaktan menurunkan tegangan permukaan air dengan mematahkan ikatan-ikatan hydrogen pada permukaan. Hal ini dilakukan dengan menaruh kepala-kepala

hidrofiliknya pada permukaan air dengan ekor hidrofobiknya terentang menjauhi permukaan air (Adamsons, 1982).

Surfaktan merupakan senyawa yang larut dalam air dan dapat dibedakan menjadi 3 jenis berdasarkan ion yang dikandungnya, yaitu surfaktan anionik (alkilsulfonat), surfaktan nonionik (alkil-polietilen-glikol ether) dan surfaktan kationik

Di Asia Pasifik dan Amerika Latin jenis surfaktan yang banyak digunakan dalam deterjen adalah Linear Alkylbenzene Sulphonate (LAS). LAS digunakan untuk menggantikan Alkyl Benzene Sulphonate (ABS) karena relatif mudah terurai dalam air (Smulders, 2002).

2.2.2 Builder

Builder berupa senyawa alkali seperti sodium triphosphate atau asam nitroloacetic dan bersifat penukar ion seperti asam polikarboksilat dan zeolite A. Penggunaan sodium tripolifosfat (STTP) sebagai *builder* dalam deterjen merupakan salah satu sumber utama pengendapan fosfat di dalam air. Karena STTP berbahaya bagi lingkungan, perannya sebagai *builder* deterjen digantikan oleh zeolite A (Smulders, 2002).

2.2.3 Bleaching Agent

Bleaching atau pemucatan dilakukan secara mekanis-fisik dan kimiawi. Mekanisme mekanis-fisik bertujuan untuk menghilangkan partikel yang mengandung minyak. Pemucatan secara kimia dilakukan untuk menghilangkan warna dan karat pada serat. *Bleaching agent* yang banyak digunakan adalah senyawa peroksida. Senyawa *bleaching* lain yang sering digunakan adalah hipoklorit (Smulders, 2002).

2.2.4 Aditif

Aditif merupakan bagian terkecil dari deterjen berupa enzim, senyawa anti redeposisi, senyawa pengatur busa seperti Fatty Acid Amides. Untuk mendapatkan hasil pencucian yang wangi juga ditambahkan parfum dan zat warna serta bahan pengisi lainnya.

2.3 Biodegradasi Surfaktan di Lingkungan

Biodegradasi surfaktan merupakan proses penting dalam mengolah surfaktan dalam instalasi pengolahan air limbah dan meningkatkan removal surfaktan pada lingkungan. Dalam biodegradasi, makhluk hidup dapat menggunakan surfaktan menjadi substrat untuk sumber energi dan nutrisi. Ada beberapa faktor kimia yang mempengaruhi biodegradasi surfaktan. Faktor yang paling utama adalah struktur kimia dan kondisi fisika-kimia media lingkungan.

Jenis surfaktan yang berbeda, memiliki sifat yang berbeda di lingkungan. Sebagian besar surfaktan dapat diuraikan oleh mikroba, namun beberapa surfaktan seperti LAS sulit didegradasi dalam kondisi anaerobik. Sifat biodegradasi beberapa jenis surfaktan ditampilkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Biodegradabilitas Surfaktan di Lingkungan

Jenis Surfaktan	Kondisi Aerobik	Kondisi Anaerobik
Linear alkylbenzene sulphonates	<i>Degradable</i> ⁽¹⁾	<i>Persistent</i> ⁽³⁾
Secondary alkane sulphonates	<i>Readily degradable</i> ⁽²⁾	<i>Persistent</i>
Sabun	<i>Readily degradable</i>	<i>Readily degradable</i>
Fatty acid esters	<i>Readily degradable</i>	<i>Persistent</i>
Alkyl sulphates	<i>Readily degradable</i>	<i>Degradable</i>
Alkyl ethoxy sulphate	<i>Degradable</i>	<i>Degradable</i>
Surfaktan kationik	<i>Degradable</i>	<i>Persistent</i>
Alkylphenol ethoxylates	<i>Degradable</i>	<i>Partially degradable</i> ⁽⁴⁾
Alcohol ethoxylates	<i>Readily degradable</i>	<i>Degradable</i>

Sumber : Ying (2005)

(1) terurai total, dari organik menjadi anorganik

(2) terurai total 60%, saat kondisi tepat untuk biodegradasi

(3) sulit terurai

(4) terurai total 20%

2.4 Karakteristik Air Limbah Laundry

Kualitas suatu air limbah akan dapat terindikasi dari kualitas parameter kunci, dimana konsentrasi parameter kunci

tidak melebihi dari standar baku mutu yang ada sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku. Berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur No.72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan Kegiatan Lainnya, maka parameter kunci untuk air limbah *laundry* adalah COD, surfaktan,

Berdasarkan hasil penelitian Hudori dan Soewondo (2009) karakteristik air limbah *laundry* dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Karakteristik Air Limbah *Laundry*

No.	Parameter	Konsentrasi	Satuan
1.	Surfaktan	256,87 - 363,72	mg/L
2.	COD	599,44 – 754,35	mg/L
3.	Fosfat	7,357 – 7,843	mg/L
4.	Kekeruhan	144 – 759	NTU
5.	pH	8,67 – 10,53	-
6.	Konduktivitas	1073 - 1678	µs/cm
7.	Suhu	23,6 - 26	°C

Sumber: Hudori dan Soewondo (2009)

Mengacu pada baku mutu air limbah *laundry* dengan Peraturan Gubernur Jawa Timur No.72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan Kegiatan Lainnya, terdapat pada Tabel 2.3

Tabel 2.3 Baku Mutu Air Limbah *Laundry*

Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)
BOD ₅	100
COD	250
TSS	100
Minyak dan Lemak	10
MBAS (Detergent)	10
Fosfat (sebagai P ₂ O ₄)	10
pH	6-9

Sumber : Peraturan Gubernur Jawa Timur No.72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan Kegiatan Lainnya

2.5 Fitoremediasi

Fitoremediasi adalah upaya untuk remediasi berbagai jenis media yang tercemar kontaminan menggunakan tanaman.

Teknologi ini dapat dilakukan secara *in-situ* maupun *ex-situ*. Kontaminan organik yang dapat diolah dengan teknologi ini antara lain hidrokarbon, kondensasi gas, *crude oil*, senyawa klor, pestisida dan senyawa mudah meledak. Kontaminan anorganik yang dapat diolah dengan teknologi ini antara lain salinitas, logam berat, *metalloid* dan senyawa radioaktif. Media yang dapat diremediasi dengan teknologi ini antara lain tanah, air tanah dan air permukaan (ITRC, 2001).

2.5.1 Mekanisme fitoremediasi

Menurut Halverson (2004) mekanisme pengurangan polutan yang terjadi dalam fitoremediasi, antara lain sebagai berikut:

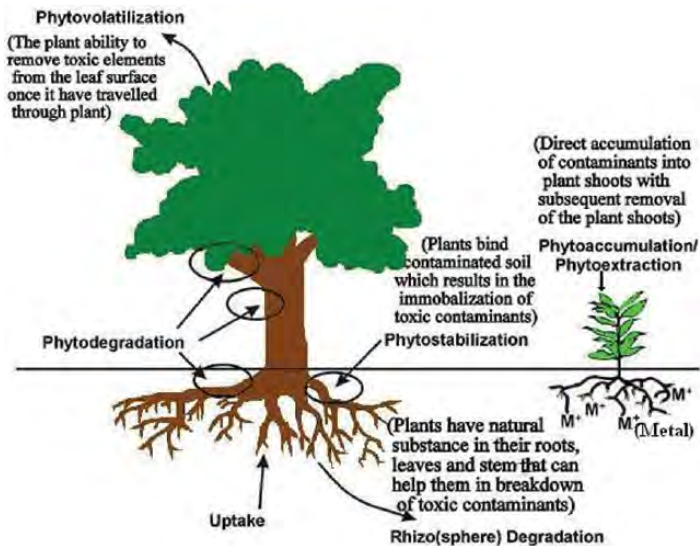
- **Fitostabilisasi**
Merupakan bentuk kemampuan sebagian tanaman untuk memisahkan bahan anorganik pada akar tanaman. Dalam proses stabilisasi, berbagai senyawa yang dihasilkan oleh tanaman dapat mengimobilisasi kontaminan, sehingga diubah menjadi senyawa yang stabil.
- **Fitoakumulasi (Fitoekstraksi)**
Akar tanaman dapat menyerap kontaminan bersamaan dengan penyerapan nutrisi dan air. Massa kontaminan tidak dirombak, tetapi diendapkan di bagian tubuh dan daun tanaman. Metode ini digunakan terutama untuk menyerap limbah yang mengandung logam berat.
- **Rhizodegradasi**
Akar tanaman dapat melakukan penyerapan bahan polutan dari hasil degradasi bahan organik yang dilakukan oleh mikroba
- **Fitovolatilisasi**
Dalam proses ini, tanaman menyerap air yang mengandung kontaminan organik melalui akar, diangkut ke bagian daun, dan mengeluarkan kontaminan yang sudah didetoksifikasi ke udara melalui daun.
- **Fitodegradasi**
Tanaman dapat menghasilkan enzim yang dapat memecah bahan organik maupun anorganik dari polutan sebelum diserap, selama proses transpirasi. Dalam proses metabolisme, tanaman dapat merombak

kontaminan di dalam jaringan tanaman menjadi molekul yang tidak bersifat toksik.

Mekanisme fitoremediasi ditampilkan pada Gambar 2.1

2.5.2 Fitoremediasi menggunakan *constructed wetland*

Fitoremediasi pada *constructed wetland* telah sukses digunakan untuk removal logam dan kontaminan organik dari limbah tambang, pertanian, *runoff* dan limbah industri lainnya. Sistem ini biasanya lebih murah dan membutuhkan perawatan lebih sedikit daripada jenis remediasi lainnya karena secara alami pada *constructed wetland* terjadi pengolahan secara fisik, kimia dan biologis dalam pengolahan kontaminan. Proses kerja pada *constructed wetland* bergantung pada karakteristik tanaman, kontaminan dan komponen fisik-kimia wetland.



Gambar 2.1 Mekanisme Fitoremediasi

2.6 Constructed Wetland

2.6.1 Gambaran umum

Sistem *constructed wetland* (lahan basah buatan) merupakan proses pengolahan limbah aplikasi dari proses

penjernihan air yang terjadi di lahan basah/rawa (wetland), dimana tumbuhan air (*hydrophyta*) yang tumbuh di daerah tersebut memegang peranan penting dalam proses pemulihan kualitas air limbah secara alami. Menurut Hammer (1986), pengolahan yang memasukkan faktor utama, yaitu:

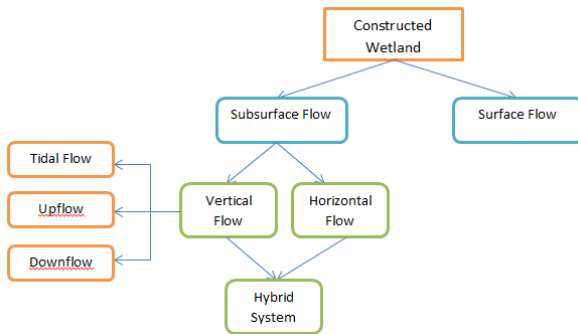
- Area yang tergenangi air dan mendukung kehidupan tumbuhan air sejenis *hydrophyta*
- Media tempat tumbuh berupa tanah yang selalu digenangi air
- Media juga bukan hanya tanah, tetapi media yang dapat jenuh dengan air

Prinsip pengolahan limbah dalam *constructed wetland* menguraikan limbah dalam bentuk *Particulate Organic Carbon* (POC), *Dissolved Organic Carbon* (DOC), *Dissolved Inorganic Carbon* (DIC), *Volatile Organic Carbon* (VOC), dan *Particulate Inorganic Carbon* (PIC) berlangsung secara aerobik. Oksigen berasal dari udara yang masuk ke dalam air, fitoplankton dan tanaman air yang berada dalam *constructed wetland*. Mikroorganisme pada *constructed wetland* berperan dalam melakukan transformasi karbon. Hasil dari pengolahan bahan organik tersebut akan dimanfaatkan oleh fitoplankton dan tanaman air dengan demikian terjadilah pengurangan pencemar (US EPA, 1999).

2.6.2 Sistem constructed wetland

Constructed wetland dapat diklasifikasikan berdasarkan tipe vegetasi dan arah aliran yang mengalir dalam sistem. Klasifikasi jenis *constructed wetland* berdasarkan arah aliran dijelaskan pada Gambar 2.2 berikut ini. Berdasarkan jenis vegetasinya, *constructed wetland* dibagi menjadi 3 jenis yaitu:

1. *Floating treatment wetlands* (dengan tumbuhan mengapung di permukaan air)
2. *Emergent macrophyte wetlands* (dengan tumbuhan dengan perakaran di tanah)
3. *Submerged macrophyte wetlands* (tumbuhan seluruhnya di bawah permukaan air)

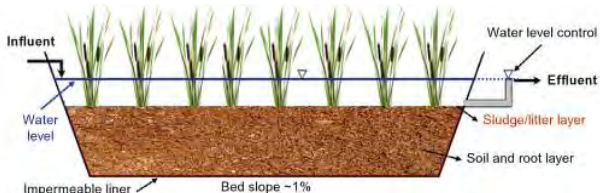


Gambar 2.2 Klasifikasi *Constructed Wetland* Berdasarkan Arah Aliran Air (Sumber: Stefanakis *et al.*, 2014)

2.6.3 *Free water surface constructed wetland*

Free water surface wetland merupakan sistem *wetland* dimana permukaan air terbuka dengan atmosfer. Dalam sistem ini, air mengalir di atas permukaan tanah dengan tumbuhan. Di beberapa kasus air hilang seluruhnya oleh proses evapotranspirasi dan peresapan ke dalam tanah. *Wetland* jenis ini biasanya digunakan untuk pengolahan tersier. *Free water surface wetland* (FWS) membutuhkan luas area yang besar, terutama jika digunakan untuk pengolahan nitrogen dan fosfor. *Free water surface wetland* mampu mengolah BOD, COD dan TSS serta nitrogen dan fosfor jika waktu tinggal mencukupi (USEPA, 2000).

Pada Gambar 2.2 adalah ilustrasi aliran air dalam FWS. Sel tambahan dapat ditambahkan pada desain ini.



Gambar 2.3 Ilustrasi Aliran Air Pada FWS (Sumber: Stefanakis *et al.*, 2014)

Kriteria desain FWS yang dianjurkan oleh Iowa DNR dijelaskan pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Kriteria Desain FWS

Parameter	Kriteria Desain
Kualitas Effluen	BOD ≤ 30 mg/L
	TSS ≤ 30 mg/L
	TKN ≤ 10 mg/L
Pretreatment	Septic Tank atau Aerated Lagoon
BOD Loading max	53.5 lb/acre.d
TSS loading max	44.5 lb/acre.d
TKN loading max	4.5 lb/acre.d
kedalaman air min	1 ft
HRT	2 hari
rasio P:L	3:1 - 5:1

Sumber: Iowa DNR, 2007

2.6.4 Horizontal sub-surface flow constructed wetland

Horizontal Sub-Surface Flow Wetland (HSSF) adalah bed kerikil dan tanah yang ditanami oleh tanaman *wetland*. Permukaan air HSSF berada di dalam bed kerikil. Terdapat kecenderungan anaerobic, sehingga hampir tidak ada proses nitrifikasi. SSFW didesain untuk mengolah effluen dari septic tank, clarifier dan pengendap lainnya. SSFW tidak dapat digunakan untuk mengolah effluen aerated lagoon karena adanya alga akan berpengaruh negatif pada pengolahan (USEPA, 1993)

Pada Gambar 2.3 berikut ini adalah ilustrasi aliran air dalam SSFW. Sel tambahan dapat ditambahkan pada desain ini.



Gambar 2.3 Ilustrasi Aliran Air Pada SSFW (Sumber: Stefanakis et al., 2014)

Dimensi HSSFW ditentukan berdasarkan *loading rate*. Setelah menentukan dimensinya, komponen hidrolis dapat ditentukan. Desain hidrolis menjadi komponen penting, karena saat melalui bed kerikil headloss yang dihasilkan lebih besar dari SFW. Kriteria desain HSSFW yang dianjurkan oleh Iowa DNR dijelaskan pada Tabel 2.5

Tabel 2.5 Kriteria Desain HSSFW

Parameter	Kriteria Desain
Kualitas Effluen	BOD ≤ 30 mg/L
	TSS ≤ 30 mg/L
Pretreatment	septic tank
BOD Loading max	53.5 lb/acre.d
TSS loading max	89.2 lb/acre.d
kedalaman	media : 20 inch
	air : 16 inch
slope dasar	0.5 - 1 %
ukuran media	zona inlet : 1.5" - 3"
	zona treatment : 3/4" - 1"
	zona outlet : 1.5" - 3"
	zona penanaman : 1/4"-3/4"
kedalaman media tanam	min 4 inch

Sumber: Iowa DNR, 2007

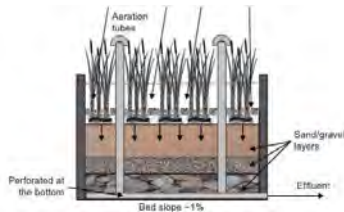
2.6.5 Vertical flow constructed wetland

Air limbah diaplikasikan ke permukaan bak, membanjiri seluruh permukaannya kemudian air mengalami perkolasi dan mengalir secara vertikal melalui media berporos. Media yang sering digunakan adalah kerikil dan tanah yang semakin ke dalam semakin besar. Kedalaman bed berkisar antara 0,45 hingga 1,2 m dan di dasar bed diberi *slope* sebesar 1-2 % (Stefanakis *et al.*, 2014).

Berdasarkan arah aliran air pada sumbu vertikal, VFCW dapat dibedakan menjadi 3 tipe yaitu:

1. Downflow

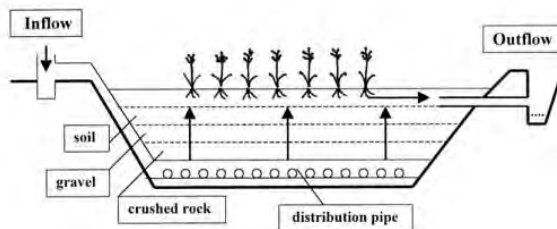
Pada sistem ini, air limbah dimasukkan dalam jumlah besar ke permukaan *wetland*. Sehingga menimbulkan permukaan tanah tergenang air setinggi 3-5 cm untuk sementara. Kemudian air mengalir ke bawah secara gravitasi melalui media berpori. Reaktor dijalankan secara *batch*. Biasanya jumlah air limbah yang dimasukkan per hari tidak terlalu besar. Pada Gambar 2.4 berikut ini adalah ilustrasi aliran air dalam *downflow* VFCW



Gambar 2.4 Ilustrasi Aliran Air Pada *Downflow* VFCW (Sumber: Stefanakis et al., 2014)

2. Upflow

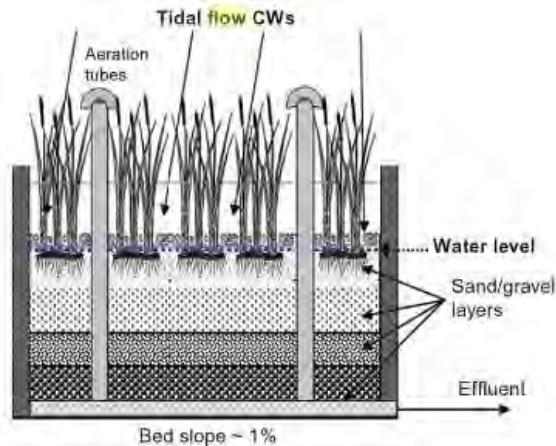
Dalam *vertical-upflow constructed wetland* air limbah dialirkan pada bagian bawah bed. Air kemudian mengalami perkolasi ke atas dan *outlet*-nya berada di dekat permukaan atau di permukaan tanah. Bed diisi dengan batu pecah pada bagian bawah, lapisan berikutnya adalah kerikil kasar dan lapisan teratasnya adalah tanah dengan tumbuhan (Vymazal dan Kröpfelová, 2008). Pada Gambar 2.5 berikut ini adalah ilustrasi aliran air dalam *upflow* VFCW



Gambar 2.5 Ilustrasi Aliran Air Pada *Upflow* VFCW (Sumber: Vymazal dan Kröpfelová, 2008)

3. Tidal Flow

Tidal Flow merupakan jenis baru dari sistem VFCW. Pada *Tidal Flow* air dialirkan melalui dasar bed melalui pipa aerasi. Kemudian air mengalami perkolasi ke atas hingga membanjiri bagian permukaan tanah. Setelah permukaan banjir, inlet ditutup dan air mengalami pengolahan oleh tumbuhan dan mikroorganisme tanah. Air dikeluarkan melalui bagian bawah bed (Vymazal dan Kröpfelová, 2008). Pada Gambar 2.6 berikut ini adalah ilustrasi aliran air dalam *tidal flow* VFCW



Gambar 2.6 Ilustrasi Aliran Air Pada *Tidal Flow* VFCW (Sumber: Stefanakis *et al.*, 2014)

2.6.6 Prinsip dasar pengolahan zat organik pada constructed wetland

Proses pengolahan limbah pada *constructed wetland* dapat terjadi secara fisik, kimia dan biologi. Proses secara fisik yang terjadi adalah proses sedimentasi, filtrasi, adsorpsi oleh media tanah yang ada. Dengan adanya proses secara fisik ini hanya dapat mengurangi konsentrasi COD dan BOD solid maupun TSS, sedangkan COD dan BOD terlarut dapat dihilangkan dengan proses gabungan kimia dan biologi melalui aktivitas mikroorganisme maupun tanaman (Metcalf dan Eddy, 1993)

Mekanisme penyerapan polutan pada *constructed wetland*, menurut Halverson (2004) menyebutkan bahwa secara umum melalui proses abiotik (fisik dan kimia) atau biotik (mikrobia dan tanaman) dan gabungan dari kedua proses tersebut. Proses pengolahan awal secara abiotik, antara lain melalui:

- *Settling* dan sedimentasi, efektif untuk menghilangkan partikulat dan padatan tersuspensi
- Adsorpsi dan absorpsi, merupakan proses kimiawi yang terjadi pada tanaman, substrat, sedimen maupun air limbah, yang berkaitan dengan waktu retensi air limbah
- Oksidasi dan reduksi, efektif untuk mengikat logam-logam B3
- Photodegradasi, penurunan berbagai unsur polutan yang berkaitan dengan adanya sinar matahari
- Volatilisasi, penurunan polutan akibat menguap dalam bentuk gas

Proses secara biotik, seperti biodegradasi dan penyerapan oleh tanaman juga merupakan bentuk pengurangan polutan seperti halnya pada proses abiotik.

Proses penurunan dalam bentuk organik tinggi, merupakan nutrient bagi tanaman. Melalui proses dekomposisi bahan organik oleh jaringan akar tanaman akan memberikan sumbangan yang besar terhadap penyediaan C, N dan energi bagi kehidupan mikroba (Handayanto dan Hairiah, 2007)

2.6.7 Faktor yang mempengaruhi sistem *constructed wetland*

Dalam proses pengolahan air limbah dengan Sistem ini, terdapat 3 (tiga) faktor / komponen yang mempengaruhi kinerja sistem tersebut, yaitu :

1. Media

Media yang digunakan dalam reaktor *constructed wetland* secara umum dapat berupa tanah, pasir, batuan atau bahan – bahan lainnya, namun khusus pada penelitian ini menggunakan batuan pasir. Tingkat permeabilitas dan konduktivitas hidrolis media tersebut sangat berpengaruh terhadap waktu detensi air limbah, dimana waktu detensi yang cukup akan memberikan kesempatan kontak antara

mikroorganisme dengan air limbah, serta oksigen yang dikeluarkan oleh akar tanaman (Tangahu & Warmadewanthi, 2001).

Pada Tabel 2.6, disajikan karakteristik media yang umum digunakan pada sistem *Constructed wetland*. Permukaan yang terbagi menjadi 5 (lima) tipe.

Tabel 2.6. Karakteristik Media Dalam Wetland

Tipe Media	Diameter butiran (mm)	Porositas (η)	Konduktivitas Hidrolik
Medium sand	1	0,30	1640
Coarse sand	2	0,32	3280
Gravelly sand	8	0,35	16.400
Medium gravel	32	0,40	32.800
Coarse gravel	128	0,45	328.000

Sumber : Crites & Tchobanoglous (1998).

Peranan utama dari media pada *constructed wetland* tersebut adalah :

- Tempat tumbuh bagi tanaman
- Media berkembang-biaknya mikroorganisme
- Membantu terjadinya proses sedimentasi.
- Membantu penyerapan (adsorpsi) bau dari gas hasil biodegradasi

Sedangkan peranan lainnya adalah tempat terjadinya proses transformasi kimiawi, tempat penyimpanan bahan – bahan nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman. Menurut Khiatuddin, M. (2003) menyebutkan bahwa kinerja *constructed wetland* berdasarkan media yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.7

2. Tanaman

Jenis tanaman yang sering digunakan untuk *Sub-surface flow constructed wetland* adalah jenis tanaman air atau tanaman yang tahan hidup di air tergenang (*Submerged plants* atau *amphibiuous plants*).

Tabel 2.7. Kinerja *Sub-surface flow constructed wetland* Berdasarkan Jenis Media yang Digunakan

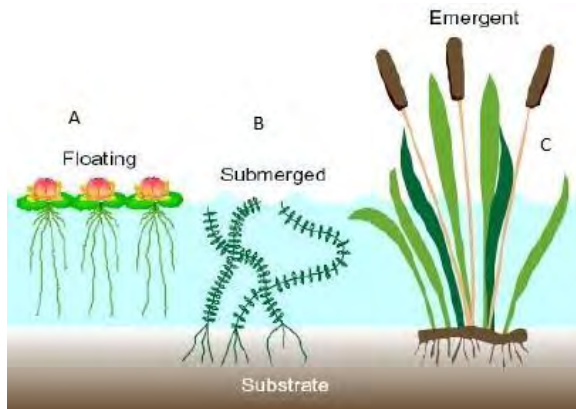
No.	Jenis Media	Prosentase Pengurangan Polutan	
		BOD	SS
1.	Kerikil	55 – 96	51 – 98
2.	Tanah	62 – 85	49 – 85
3.	Pasir	96	94
4.	Tanah Liat	92	91

Sumber : *Khiatuddin, M. (2003).*

Pada umumnya tanaman air tersebut dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) tipe / kelompok, berdasarkan area pertumbuhannya didalam air. Adapun ketiga tipe tanaman air tersebut adalah sebagai berikut :

- a. **Tanaman yang mencuat ke permukaan air (emergent)**, merupakan tanaman air yang memiliki sistem perakaran pada tanah di dasar perairan dan daun berada jauh diatas permukaan air.
- b. **Tanaman yang mengambang dalam air (submerged)**, merupakan tanaman air yang seluruh tanaman (akar, batang, daun) berada didalam air
- c. **Tanaman yang mengapung di permukaan air (floating)**, merupakan tanaman air yang akar dan batangnya berada dalam air, sedangkan daun diatas permukaan air.

Tipe-tipe tanaman diatas ditampilkan pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Tipe Tanaman Air (Sumber: Sa'at, 2006)

Dari ketiga tipe tanaman air tersebut, yang umum digunakan untuk Lahan Basah Buatan ditampilkan pada Tabel 2.8

3. Temperatur

Temperatur air limbah akan berpengaruh pada aktivitas mikroorganisme maupun tanaman, sehingga akan mempengaruhi kinerja pengolahan air limbah yang masuk ke bak/cell *Wetland* yang akan digunakan. Menurut Suriawiria (1993) menyebutkan bahwa temperatur akan dapat mempengaruhi reaksi, dimana setiap kenaikan suhu 10°C akan meningkatkan reaksi 2 – 3 kali lebih cepat. Disamping itu, suhu juga merupakan salah satu faktor pembatas bagi kehidupan mikroorganisme. Walaupun batas kematian mikroorganisme pada daerah suhu yang cukup luas ($0^{\circ}\text{C} - 90^{\circ}\text{C}$), namun kehidupan optimal untuk tiap jenisnya mempunyai kisaran tertentu.

Mengingat kondisi iklim di Indonesia secara umum memiliki iklim tropis dengan kisaran perbedaan suhu (amplitudo) harian yang relatif kecil, maka suhu bukan merupakan faktor pembatas lagi, sehingga kehidupan mikrobial dapat optimal disepanjang tahun. Dengan demikian, maka kinerja pengolahan

limbah dengan sistem *Wetland* di Indonesia, dapat berjalan secara optimal untuk sepanjang tahun.

Tabel 2.8. Jenis Tanaman yang digunakan pada Lahan Basah Buatan

Tanaman yang mencuat di permukaan air	Tanaman yang Mengambang dalam air	Tanaman yang mengapung di permukaan air
<i>Scirpus robustus</i>	<i>Potamogeton spp.</i>	<i>Lagorosiphon major</i>
<i>Scirpus lacustris</i>	<i>Egeria densa</i>	<i>Salvinia rotundifolia</i>
<i>Scirpus validus</i>	<i>Ceratophyllum demersum</i>	<i>Spirodela polyrhiza</i>
<i>Scirpus pungens</i>	<i>Elodea nuttallii</i>	<i>Pistia stratoites</i>
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	<i>Myriophyllum aquaticum</i>	<i>Lemna minor</i>
<i>Phragmites australis</i>	<i>Algae</i>	<i>Eichornia crassipes</i>
<i>Thypha latifolia</i>		<i>Hydrocotyle umbellata</i>
<i>Canna flaccida</i>		<i>Ludwigia spp.</i>
<i>Cyperus papyrus</i>		

Sumber : Khatuddin, M. (2003).

2.7 *Cyperus papyrus*

Cyperus papyrus merupakan spesies dominan rawa-rawa di Afrika Timur dan Tengah. Tanaman ini telah dimanfaatkan untuk pembuatan kertas sejak zaman Mesir Kuno. Selain itu juga dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan perahu, tali, kain, obat dan pembungkus *mummy*. *Cyperus papyrus* adalah tumbuhan monokotil yang habitat alaminya adalah pinggiran sungai, danau dan rawa. Tumbuhan ini termasuk dalam famili rumput. Berikut ini adalah klasifikasi ilmiah *Cyperus papyrus*

- Kingdom : Plantae
- Super Divisi : Angiosperma
- Divisi : Monokotil
- Kelas : Commelinids

- Ordo : Poales
- Famili : Cyperaceae
- Genus : Cyperus
- Spesies : *Cyperus papyrus*

Cyperus papyrus memiliki batang berbentuk segitiga, dapat tumbuh hingga 3-5 meter di atas tanah dan membutuhkan waktu 6-9 bulan untuk dewasa sepenuhnya. Batangnya berstruktur lunak berwarna hijau dan mampu melakukan fotosintesis. Di atas batangnya terdapat daun yang membentuk mahkota disebut *umbel*, merupakan sumber utama fotosintesis. Rhizoma dan akarnya bergabung menjadi satu di dasar rawa. *Cyperus papyrus* dapat tumbuh di iklim sub-tropis dan tropis (Mburu, 2013). Morfologi *Cyperus papyrus* ditampilkan pada Gambar 2.4.

Tumbuhan ini merupakan salah satu tanaman yang paling produktif di wetland alami. *Cyperus papyrus* dalam wetland mampu mengabsorpsi logam berat, pathogen, nitrogen anorganik, fosfor dan nutrisi lainnya. Rhizomanya dapat mencegah erosi dan menahan sedimen dari air yang masuk. *Cyperus papyrus* banyak digunakan untuk *constructed wetland* untuk meningkatkan kualitas air (Kyambedde *et al.*, 2005)

2.8 Review Penelitian Terdahulu

Pada penelitian Erina dan Wiyono (2012), menggunakan tanaman *Cyperus papyrus* didapatkan removal BOD sebesar 86% dan removal TSS sebesar 89% dengan waktu detensi 6 hari. Kepadatan tanaman dalam wetland sebanyak 6-16 tanaman/m². Penelitian Syarifah dan Damanhuri (2010) menggunakan tanaman *Cyperus papyrus* didapatkan removal COD sebesar 76,62% dengan waktu detensi 9 hari. Penelitian Tangahu dan Warmadewanthi (2001) menggunakan *constructed wetland* untuk mengolah air limbah domestik menggunakan tanaman *Thypha angustifolia* didapatkan removal zat organik sebesar 50-93% dengan waktu detensi optimum 3 hari. Menurut Supradata (2005), waktu tinggal optimal yang dibutuhkan untuk pengolahan air limbah menggunakan tanaman *Cyperus alternifolius* dengan sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (*SSF-Wetlands*) adalah 2 hari, dengan beban BOD/area sebesar 16,24 g/m²/hari. Penelitian terdahulu ditampilkan selengkapnya ditampilkan pada Tabel 2.6



Tumbuhan *Cyperus papyrus*



Bagian daun



Bagian akar

Gambar 2.8 Morfologi *Cyperus papyrus* (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tabel 2.9 Review Penelitian Terdahulu

Referensi	Jenis Limbah	Konsentrasi Limbah	Tanaman	HRT	Jenis Aliran	Removal (%)
Erina dan Wiyono (2012)	Limbah Domestik	BOD : 325 mg/L TSS : 310 mg/L	<i>Cyperus papyrus</i>	6 hari	SSF	BOD: 93% TSS: 89%
Syarifah dan Damanhuri (2010)	Lindi Artifisial	BOD: 176 mg/L COD:1120 mg/L TSS: 139 mg/L	<i>Cyperus papyrus</i>	9 hari	SSF	BOD: 76% COD: 76% TSS: 79%
Tangahu dan Warmadewant hi (2001)	Limbah Domestik	COD: 150 mg/L TSS: 350 mg/L	<i>Typha angustifolia</i>	3 hari	FWS	COD: 93% TSS: 95%
Supradata (2005)	Limbah Domestik	BOD: 280 mg/L COD: 405 mg/L	<i>Cyperus alternifolius</i>	2 hari	SSF	BOD: 81% COD: 79%

Lanjutan tabel 2.9

Referensi	Jenis Limbah	Konsentrasi Limbah	Tanaman	HRT	Jenis Aliran	Removal (%)
Hijosa-Valsero (2010)	Limbah Domestik	COD: 250 mg/L BOD: 150 mg/L TSS: 150 mg/L	<i>Thypha angustifolia</i>	3 hari	FWS dan SSF	<u>FWS</u> BOD: 70% COD: 80% TSS: 80% <u>SSF</u> BOD: 80% COD: 70% TSS: 70%
Hermawati <i>et al.</i> (2005)	Limbah Laundry	Fosfat : 200 mg/L	<i>Eichhornia crassipes</i>	5 hari	FWS	24 %

Lanjutan tabel 2.9

Referensi	Jenis Limbah	Konsentrasi Limbah	Tanaman	HRT	Jenis Aliran	Removal (%)
Fajarianingtyas <i>et al.</i> (2006)	Limbah Laundry	Deterjen : 88 mg/L	<i>Commelina nudiflora</i> , <i>Cyperus brevifolius</i> , <i>Eclipta prostrata</i> , <i>Ipomoea aquatica</i> , dan <i>Marsilea crenata</i>	15 hari	FWS	93 %
Del Bubba <i>et.al.</i> (2000)	Limbah Laundry	LAS : 65 mg/L	<i>P. Australis</i>	-	FWS	99,7%
Penelitian Ini	Limbah Laundry	?	<i>Cyperus papyrus</i>	3 hari dan 6 hari	FWS dan SSF	?

Hasil penelitian terdahulu diatas dijadikan pertimbangan dalam merancang penelitian ini

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Gambaran Umum

Penelitian ini membahas analisis efisiensi *Cyperus papyrus* dalam mengolah air limbah *laundry* dengan memanfaatkan *free water surface* (FWS) dan *sub-surface flow* (SSF) *constructed wetland*. Limbah yang digunakan adalah air limbah *laundry* artifisial yang dibuat dari deterjen yang dijual di pasaran. Sebelum melakukan uji *fitotreatment*, dilakukan penelitian pendahuluan, yaitu pengembangbiakan tanaman *Cyperus papyrus*, analisis kualitas air limbah *laundry* yang akan dipakai dalam uji *fitotreatment*, dan *range finding test*.

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis aliran *wetland* dan HRT. Parameter yang diuji adalah kadar surfaktan, rasio BOD/COD, pH, suhu dan morfologi tanaman.

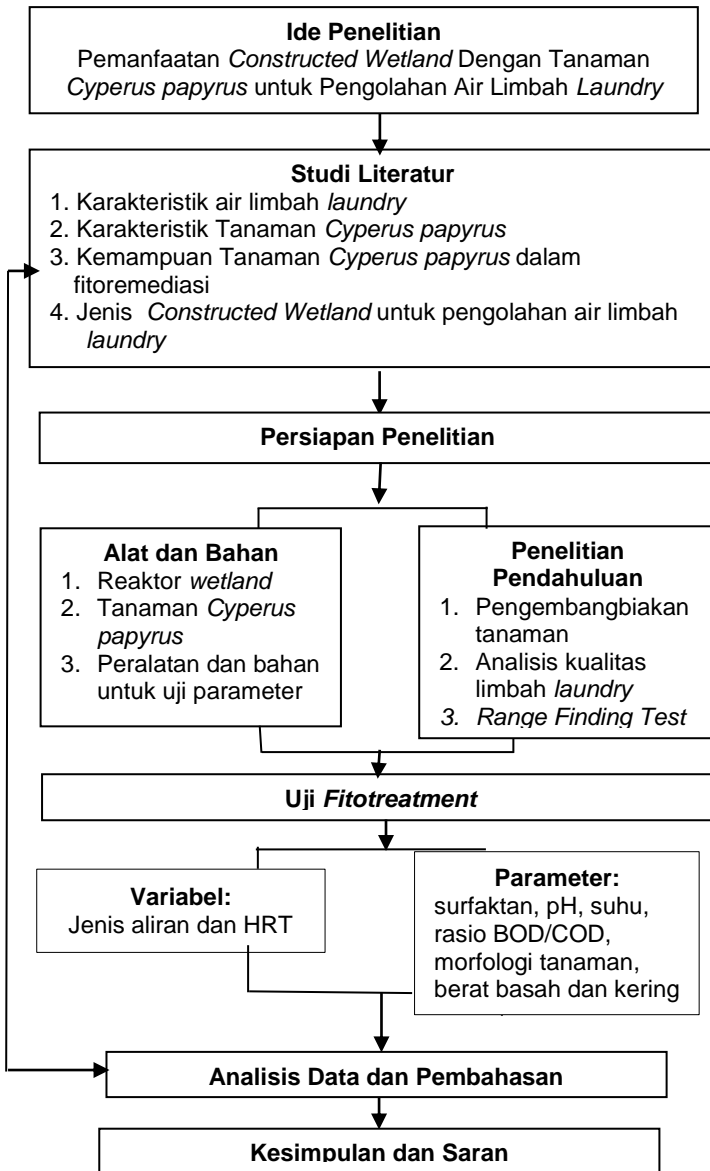
3.2 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian merupakan dasar pemikiran dan rangkaian kegiatan untuk melaksanakan penelitian. Dengan adanya kerangka penelitian, diharapkan pelaksanaan penelitian ini dapat berjalan secara sistematis dengan tujuan yang jelas pada tahap pelaksanaannya. Adapun kerangka penelitian digambarkan dalam Gambar 3.1.

3.3 Tahapan Penelitian

3.3.1 Ide penelitian

Ide penelitian diperoleh dari permasalahan yang ada, yaitu air limbah *laundry* yang bila dibuang tanpa pengolahan dapat mengakibatkan pencemaran pada badan air dan tanah. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pengolahan air limbah *laundry* menggunakan *constructed wetland* dengan tanaman *Cyperus papyrus* memungkinkan untuk diterapkan. Berdasarkan hal tersebut maka timbul ide untuk penelitian ini. Dimana penelitian ini berkonsentrasi pada efisiensi penurunan konsentrasi pencemar pada air limbah *laundry*



Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.3.2 Studi literatur

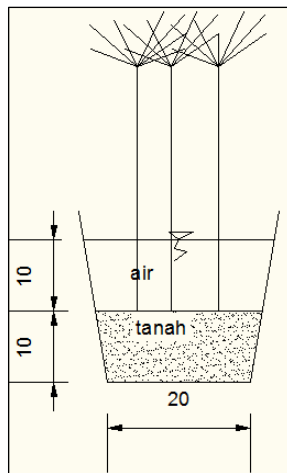
Studi literatur bertujuan untuk mendukung pelaksanaan penelitian. Studi literatur dapat berfungsi dalam melakukan analisis data dan pengambilan kesimpulan penelitian. Studi literatur dilaksanakan dari awal hingga akhir penelitian. Literatur yang digunakan dalam penelitian ini berupa jurnal ilmiah, buku teks dan literatur lainnya yang berhubungan dengan ide penelitian. Dalam penelitian ini studi literatur yang diperlukan meliputi karakteristik air limbah, karakteristik tanaman *Cyperus papyrus*, kemampuan *Cyperus papyrus* dalam fitoremediasi dan karakteristik *constructed wetland* akan digunakan dalam penelitian.

3.3.3 Persiapan alat dan bahan

3.3.3.1 Penelitian pendahuluan

1. Alat

- Pengembangbiakan tanaman dan *Range finding test* dilakukan di pot dengan diameter bawah ± 20 cm, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 (ukuran dalam cm)



Gambar 3.2 Pot Perkembangbiakan Tanaman

- Analisis kualitas air limbah laundry menggunakan alat yang dibutuhkan untuk analisis parameter
2. Bahan
- Air limbah artifisial
 - Tanaman *Cyperus papyrus*
 - Air PDAM untuk perkembangbiakan tanaman
 - Tanah
 - Bahan-bahan untuk analisis parameter pada analisis kualitas air limbah laundry

3.3.3.2 Uji *Fitotreatment*

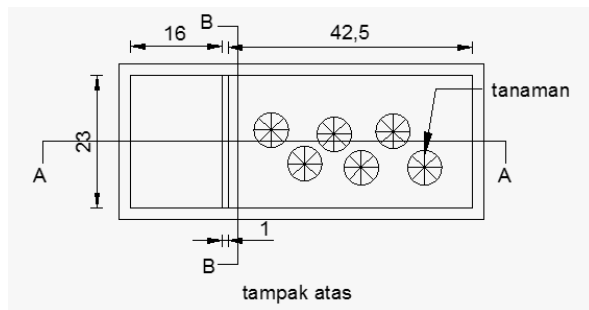
1. Alat

Reaktor penelitian berupa bak berbahan semen dengan bentuk persegi panjang. Reaktor dioperasikan dengan volume air dan karakteristik air limbah yang sama.

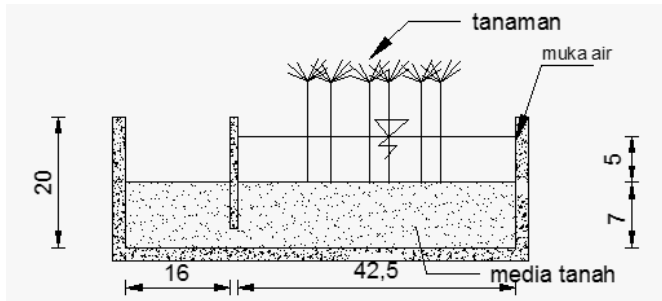
- Reaktor FWS
 - 1) Luas permukaan reaktor (A_s) : $0,08 \text{ m}^2$ ($0,4 \times 0,2 \text{ m}$)
 - 2) Tinggi air dalam reaktor (d) : $0,05 \text{ m}$
 - 3) Tinggi media tanam : $0,1 \text{ m}$
 - 4) Volume air : $0,008 \text{ m}^3$
 - 5) T_d : 3 hari dan 6 hari

Sketsa reaktor FWS ditunjukkan pada Gambar 3.3

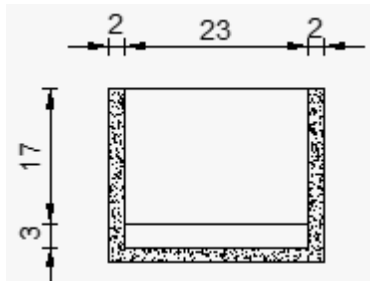
(ukuran dalam cm)



Gambar 3.3a tampak atas reaktor FWS



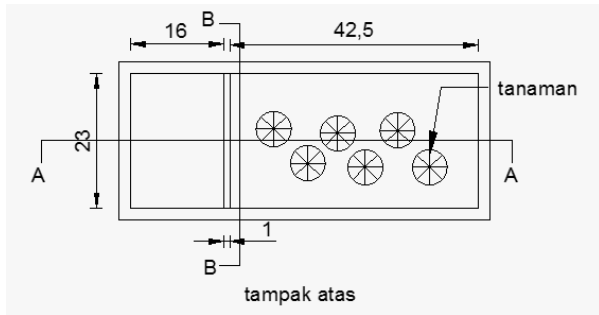
Gambar 3.3b Reaktor FWS potongan A-A



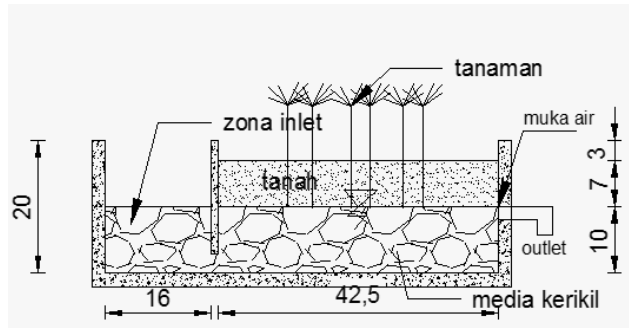
Gambar 3.3c Reaktor FWS potongan B-B

- Reaktor SSF
 - 1) Luas permukaan reaktor (A_s) : $0,1 \text{ m}^2$ ($0,425 \times 0,23 \text{ m}$)
 - 2) Tinggi air dalam reaktor (d) : $0,1 \text{ m}$
 - 3) Tinggi media kerikil : $0,1 \text{ m}$
 - 4) Tinggi media tanam : $0,1 \text{ m}$
 - 5) Volume air : $0,008 \text{ m}^3$
 - 6) T_d : 3 hari dan 6 hari

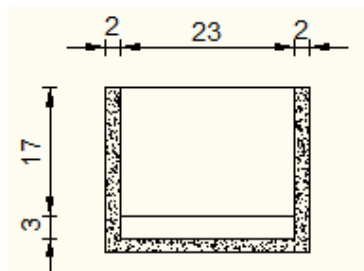
Sketsa reaktor SSF ditunjukkan pada Gambar 3.4 (ukuran dalam cm)



Gambar 3.4a Reaktor SSF tampak atas



Gambar 3.4b Reaktor SSF Potongan A-A



Gambar 3.4b Reaktor SSF Potongan B-B

- Ringkasan spesifikasi reaktor ditampilkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Spesifikasi Reaktor

Spesifikasi	Ukuran (cm)	
	<i>Free Water Surface</i>	Sub-surface Flow
Panjang	42	42
Lebar	23	23
Kedalaman Air	5	10
Kedalaman Media	-	10
Media Tanam	7	7
Freeboard	8	3
Kedalaman Reaktor	20	20

2. Bahan

- Limbah *laundry* artifisial, cara pembuatannya terdapat pada lampiran
- Tanaman *Cyperus papyrus* ditanam dengan tinggi 30-40 cm sebanyak 6 batang per reaktor
- Tanah dan kerikil
- Bahan-bahan yang dibutuhkan untuk analisis parameter konsentrasi surfaktan, BOD, COD, pH, suhu, morfologi tanaman, berat basah dan kering tanaman

3.3.4 Penelitian pendahuluan

1. Tahap Pengembangbiakan Tanaman

Tanaman *Cyperus papyrus* dibeli penjual bunga kemudian ditanam di pot dengan digenangi air PDAM setinggi ± 5 cm.

2. Analisis Kualitas Air Limbah Laundry

Analisis kualitas air limbah laundry yang didapat dari sumber limbah dilakukan untuk mengetahui *range* konsentrasi parameter COD dan surfaktan. Analisis

kualitas dilakukan pada selama 3 hari pada jam yang sama tiap harinya.

3. Tahap *Range Finding Test*

Range Finding Test yang akan dilakukan mengacu pada pedoman USEPA Ecological Effect Guidelines OPPTS 850.4400. *Range Finding Test* dilakukan dengan membuat variasi konsentrasi air limbah yang kemudian diujikan ke tanaman. Konsentrasi yang dipilih adalah konsentrasi tertinggi dimana tanaman tetap hidup dengan kondisi baik. Tanaman yang digunakan sekitar 3-4 tanaman per konsentrasi dengan ukuran tanaman yang sama.

Variasi konsentrasi yang digunakan adalah *range* konsentrasi yang didapat dari analisis kualitas air limbah. Variasi konsentrasi didapat dengan cara mencampurkan air limbah dengan air PDAM. Variasi yang digunakan minimal 5 konsentrasi dengan 1 kontrol dengan konsentrasi air limbah 0 mg/L.

Range Finding Test ini dilakukan selama 7 hari. Dari kelima konsentrasi tersebut, akan dipilih konsentrasi dimana tanaman tetap hidup untuk digunakan pada uji *fitotreatment*.

3.3.5 Uji *fitotreatment*

3.3.5.1 Variabel

Terdapat dua variabel yang digunakan yaitu aliran *wetland* (*Free Water Surface* dan *Sub-Surface Flow*) dan *Hydraulic Retention Time* (HRT). Penjelasan penggunaan variabel terdapat pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Variabel Penelitian

	FWS	SSF
3 hari	FWS3	SSF3
6 hari	FWS6	SSF6

Keterangan:

1. FWS3 : jenis aliran *free water surface* dengan HRT 3 hari

2. FWS6 : jenis aliran *free water surface* dengan HRT 6 hari
 3. SSF3: jenis aliran *sub-surface flow* dengan HRT 3 hari
 4. SSF6: jenis aliran *sub-surface flow* dengan HRT 6 hari
- Penelitian dilakukan dengan *duplo*
 - Reaktor variabel kontrol yang digunakan mendapatkan perlakuan sama seperti variabel penelitian tapi tanpa tanaman.

3.3.5.2 Parameter

Parameter yang diuji pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Konsentrasi surfaktan
Konsentrasi surfaktan diuji setiap 3 hari dan 6 hari sesuai HRT reaktor. Metode yang digunakan mengacu pada SNI 06-6989.51-2005 (cara uji kadar surfaktan anionik dengan spektrofotometer secara biru metilen). Prosedur uji surfaktan dapat dilihat pada Lampiran C.
2. Rasio BOD/COD
Rasio BOD/COD dianalisis pada awal dan akhir penelitian. Metode yang digunakan dalam analisis BOD dan COD mengacu pada Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Untuk BOD *section* 5210 B. 5-day BOD Test dan untuk COD pada *section* 5220 C. Closed Reflux Titrimetric Method. Prosedur uji BOD dan COD dapat dilihat pada Lampiran C.
3. pH pada air limbah
Pengukuran dilakukan setiap pengambilan sampel. Metode yang digunakan mengacu pada SNI 06-6989.11-2004 (cara uji derajat keasaman dengan menggunakan alat pH meter). Prosedur uji dapat dilihat pada Lampiran C.
4. Suhu Pada Air Limbah
Pengukuran suhu dilakukan pada air di dalam reaktor setiap pengambilan sampel. Metode yang digunakan mengacu pada SNI 06-6989.23-2005 (cara uji suhu dengan termometer). Prosedur uji dapat dilihat pada Lampiran C.

5. Morfologi tanaman
Morfologi tanaman yang diukur adalah tinggi tanaman. Tinggi tanaman diukur dari atas tanah hingga ujung daun menggunakan penggaris. Pengukuran dilakukan setiap hari.
6. Berat basah dan kering tanaman
Pengukuran dilakukan 3 kali yaitu pada awal penelitian, 1 minggu setelah penelitian dan akhir penelitian. Metode yang digunakan mengacu pada Kalra (1998). Prosedur uji dapat dilihat pada Lampiran C.

3.3.6 Analisis data dan pembahasan

Analisis data dan pembahasan dilakukan setelah mendapatkan data yang diperoleh selama penelitian. Hasil analisis akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik serta dianalisis secara deskriptif. Kemudian dilakukan uji signifikansi data menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) dan analisis korelasi untuk menguji hubungan antara parameter.

Pembahasan yang dibuat mengacu pada literatur. Dalam pembahasan dijabarkan secara detail dan menjawab rumusan masalah.

3.3.7 Kesimpulan dan saran

Kesimpulan didapat dari hari penelitian yang dilakukan. Kesimpulan harus sesuai dengan tujuan penelitian dan menjawab rumusan masalah penelitian. Saran merupakan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengembangbiakan Tanaman

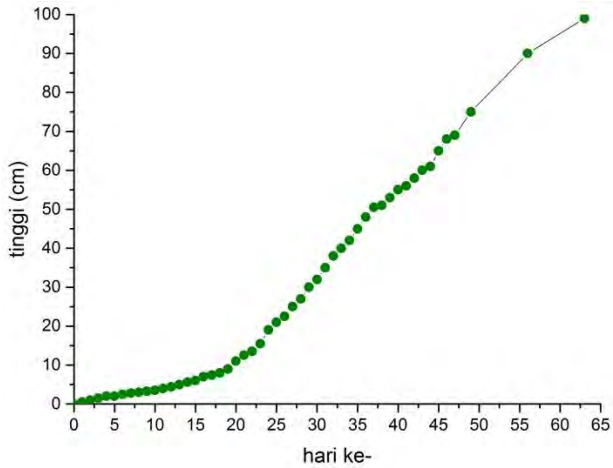
Pengembangbiakan tanaman *Cyperus papyrus* dilakukan untuk mendapatkan tunas baru yang akan digunakan dalam *range finding test* dan uji *fitotreatment*. Tahap ini dilakukan di *green house* jurusan Teknik Lingkungan ITS selama ± 1 bulan. Bibit tanaman didapat dari pedagang bunga di Sidoarjo kemudian ditanam di reaktor perkembangbiakan tanaman berupa bak plastik. Pengembangbiakan tanaman ditampilkan pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Pengembangbiakan Tanaman

Tunas baru yang tumbuh berada di reaktor pengembangbiakan hingga tingginya mencapai sekitar 30-40 cm. Kemudian akan dipindah ke reaktor *range finding test* untuk penelitian selanjutnya. Sedangkan tanaman induknya tetap berada reaktor pengembangbiakan untuk menumbuhkan tunas baru yang akan digunakan pada uji *fitotreatment*.

Dalam tahap ini juga dilakukan pengukuran tinggi tanaman untuk mengetahui siklus hidup tanaman. Pertumbuhan tanaman digambarkan pada Gambar 4.2

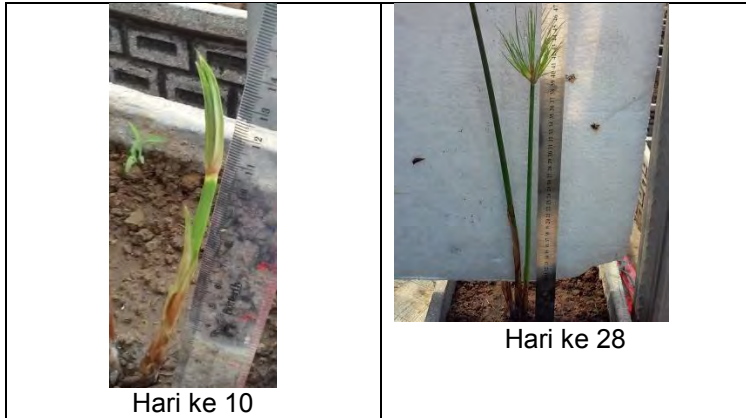


Gambar 4.2 Pertumbuhan Tinggi Tanaman

Pada hari pertama, tinggi tunas adalah 0,5 cm dan berwarna coklat kemerahan. Kemudian pada hari ke 5 tunas muncul warna hijau pada ujungnya dan tingginya menjadi 3,5 cm. Pada hari ke 10 tanaman mulai membentuk bagian daun dan bagian batang. Tinggi tanaman pada saat itu adalah 8 cm. Kemudian tanaman bertambah tinggi, hingga pada hari ke 28 tingginya mencapai 27 cm. Tanaman telah memiliki tunas baru. Serta daunnya akan mekar.

Tahap-tahap pertumbuhan tanaman digambarkan pada Gambar 4.3 berikut ini





Gambar 4.3 Tahap Pertumbuhan Tanaman

4.2 Analisis Kualitas Air Limbah *Laundry*

Analisis kualitas air limbah *laundry* dilakukan untuk mengetahui berapa konsentrasi parameter pencemar yang ada pada air limbah dari usaha *laundry*. Air limbah diambil dari satu tempat usaha *laundry* pada 3 hari yang berbeda dan pada jam yang sama dalam waktu 1 minggu.

Tujuan dilakukannya pengambilan sampel pada hari yang berbeda adalah untuk mendapatkan *range* konsentrasi parameter pencemar yang akan digunakan pada penelitian selanjutnya. Pengambilan sampel dilakukan pada hari Selasa, 24 Maret 2015; Jumat, 27 Maret 2015; dan Sabtu, 28 Maret 2015.

Parameter yang diuji dalam analisis kualitas ini adalah kadar surfaktan, COD dan BOD. Hasil analisis ditampilkan dalam Tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil Analisis Kualitas Air Limbah *Laundry*

Tanggal <i>Sampling</i>	Surfaktan (mg/L)	COD (mg/L)
24 Maret 2015	237	1600
27 Maret 2015	192	800
28 Maret 2015	178	700

Selain parameter diatas, juga dilakukan analisis rasio BOD/COD untuk mengetahui biodegradabilitas air limbah.

Dalam analisis ini, digunakan sampel yang diambil pada tanggal 8 April 2015. Hasilnya adalah sebagai berikut:

BOD : 300,9 mg/L

COD : 800 mg/L

BOD/COD : 0,375

4.3 Range Finding Test

Range Finding Test dilakukan untuk menentukan konsentrasi surfaktan yang akan digunakan dalam uji *fitotreatment*. Tanaman hasil pengembangbiakan dipapar dengan air limbah artifisial yang konsentrasinya dikondisikan seperti limbah asli. Limbah artifisial dibuat dengan cara melarutkan deterjen bubuk ke air kran. *Range* konsentrasi yang digunakan didapat dari tahap sebelumnya yaitu antara 178-237 mg/L.













Dari *range* diatas maka ditentukan konsentrasi yang digunakan dalam *range finding test* adalah 100, 150, 200, 225 dan 250 mg/L dengan kontrol tanpa limbah. Reaktor yang digunakan pada tahap ini adalah bak plastik dengan diameter ± 20 cm dengan media tanah kebun setinggi 10 cm. Volume air yang dimasukkan pada reaktor adalah masing-masing 1,5 L.













Tanaman yang digunakan pada tahap ini berjumlah 3 batang masing-masing tingginya 30-40 cm. Setelah diisi dengan air, tanaman akan diamati selama 7 hari. Hal yang diamati adalah perubahan yang terjadi pada tanaman dengan limbah dan tanaman tanpa limbah. Perbandingan tanaman tanpa limbah dan dengan limbah pada hari ke 7 ditunjukkan pada Gambar 4.2

Berdasarkan Gambar 4.2, dapat diketahui pada konsentrasi 100-225 mg/L tidak dapat perbedaan dengan reaktor kontrol. Sedangkan pada konsentrasi 250 mg/L daun berubah warna menjadi coklat pada ujung-ujungnya. Detail hasil pengamatan *Range Finding Test* ditampilkan pada tabel 4.2.

Berdasarkan hasil pengamatan dapat diketahui bahwa tanaman uji tetap hidup hingga hari ketujuh pada semua konsentrasi kecuali pada konsentrasi 250 mg/L.

Tabel 4.2 Hasil Pengamatan *Range Finding Test*

Konsentrasi	Hari-0	Hari-3	Hari-5	Hari-7
Tanpa Limbah	 Daun dan batang berwarna hijau	 KONTROL Sama seperti kontrol	 Sama seperti kontrol	 Sama seperti kontrol
100 mg/L	 Daun dan batang berwarna hijau	 Tidak terdapat perubahan	 Tidak terdapat perubahan	 Tidak terdapat perubahan
150 mg/L	 Daun dan batang berwarna hijau	 Tidak terdapat perubahan	 Tidak terdapat perubahan	 Tidak terdapat perubahan

Konsentrasi	Hari-0	Hari-3	Hari-5	Hari-7
200 mg/L	 <p>Daun dan batang berwarna hijau</p>	 <p>Tidak terdapat perubahan</p>	 <p>Tidak terdapat perubahan</p>	 <p>Tidak terdapat perubahan</p>
225 mg/L	 <p>Daun dan batang berwarna hijau</p>	 <p>Tidak terdapat perubahan</p>	 <p>Tidak terdapat perubahan</p>	 <p>Tidak terdapat perubahan</p>
250 mg/L	 <p>Daun dan batang berwarna hijau</p>	 <p>2 dari 3 tanaman daunnya layu dan berwarna kuning</p>	 <p>2 dari 3 tanaman daun dan batangnya coklat</p>	 <p>2 dari 3 tanaman daun dan batangnya coklat</p>

4.4 Uji *fitotreatment*

Pada uji *fitotreatment*, tanaman yang digunakan adalah hasil pengembangbiakan yang tinggi batangnya 30-40 cm berumur ± 1 bulan. Tanaman yang digunakan pada masing-masing reaktor adalah 6 buah. Sebelum ditanam, tanaman uji ditimbang berat basahnya terlebih dulu. Diusahakan berat tanaman pada tiap reaktor adalah sama.

Setiap sesuai sampling, air limbah diisi ulang hingga mencapai level air yang sama seperti awal penelitian. Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi hilangnya air limbah dalam reaktor akibat sampling dan penguapan. Volume air limbah yang terdapat dalam reaktor adalah 8 liter. Setiap sampling air limbah diambil ± 200 mL. Penurunan level air yang terjadi akibat penguapan bervariasi sesuai paparan sinar matahari pada tempat reaktor berada.

Air limbah artifisial yang digunakan pada uji *fitotreatment* dibuat di laboratorium Sanitasi Lingkungan dan Fitoteknologi. Konsentrasi surfaktan tiap kali penambahan air limbah sama seperti konsentrasi awal.

Uji *fitotreatment* dilakukan selama 48 hari. Uji *fitotreatment* dihentikan ketika efisiensi removal sudah mencapai titik stabil. Tahap ini dilakukan mulai tanggal 14 April 2015. Reaktor uji *fitotreatment* ditampilkan pada Gambar 4.4. Berikut ini adalah hasil analisis dan pembahasan tiap parameter pada uji *fitotreatment*.

4.4.1 Surfaktan

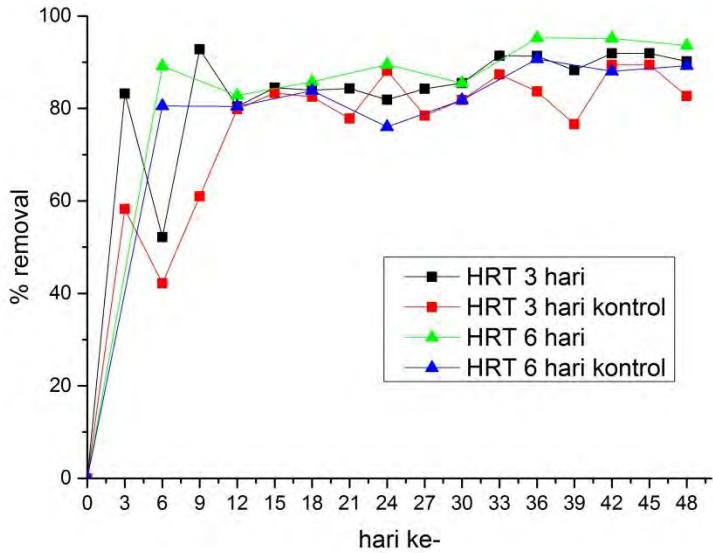
Efisiensi removal surfaktan per jenis alirannya ditampilkan pada Gambar 4.5, 4.6, 4.7 dan 4.8. Berdasarkan Gambar 4.4, diketahui bahwa reaktor SSF dengan HRT 3 hari efisiensi removal terbesarnya adalah 92,79% dan rata-rata 84,87%. Sedangkan dengan HRT 6 hari efisiensi removalnya 95,25% dan rata-rata 89,59%. Konsentrasi surfaktan yang terdapat dalam effluen dari kedua reaktor berturut-turut adalah 16,65 dan 10,97 mg/L.



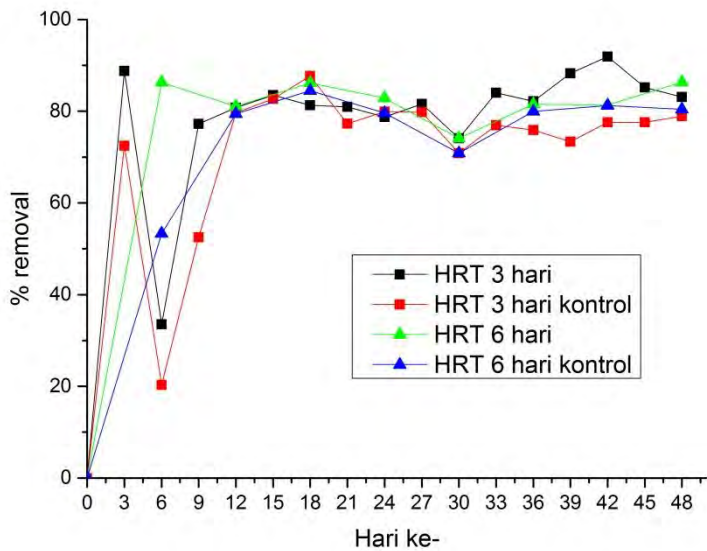
Gambar 4.4 Reaktor Uji *fitotreatment*

Pada reaktor FWS efisiensi removal maksimum reaktor dengan HRT 3 hari adalah 91,92% dan rata-rata 79,69%. Untuk reaktor dengan HRT 6 hari efisiensi removalnya 86,32% dan rata-rata sebesar 82,45%. Konsentrasi surfaktan yang terdapat dalam effluen dari kedua reaktor berturut-turut adalah 18,66 dan 31,6 mg/L.

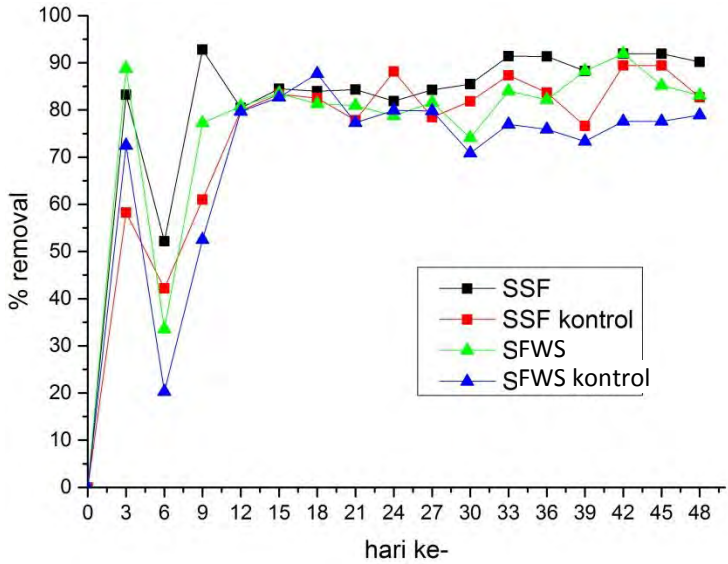
Menurut Scott dan Jones (2000), LAS merupakan surfaktan yang *biodegradable*. Tingkat biodegradasinya sangat tinggi yaitu sekitar 97-99% pada instalasi pengolahan air limbah (IPAL). LAS dapat didegradasi oleh mikroorganisme aerobik di lingkungan. Biodegradasi LAS terdapat beberapa tahap, yang pertama adalah ω -oksidasi rantai karbon alkyl menjadi sulfophenyl acids (SPC) kemudian dilanjutkan dengan β -oksidasi. ω -oksidasi rantai karbon alkyl memerlukan molekul oksigen, maka dari itu degradasi surfaktan dalam kondisi anaerobik belum pernah tercatat. Dalam proses ini alkyl menjadi asam karboksilat kemudian menjadi acetyl Co-A dan masuk ke dalam siklus krebs.



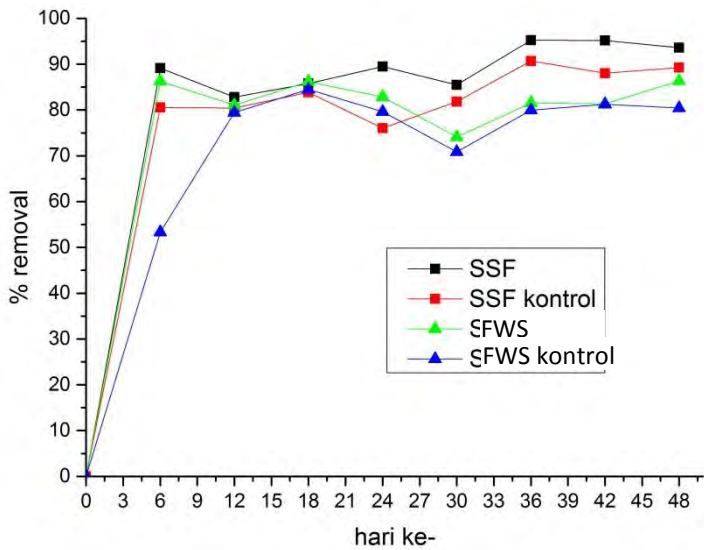
Gambar 4.5 Removal Surfaktan pada Aliran *Sub-Surface*



Gambar 4.6 Removal Surfaktan pada Aliran *Free Water*



Gambar 4.7 Removal Surfactan pada HRT 3 Hari



Gambar 4.8 Removal Surfactan pada HRT 6 Hari

Setelah ω -oksidasi, SPC mengalami desulfonasi seperti ditunjukkan pada reaksi berikut:



Hasil degradasi LAS adalah sulfat yang dapat dioksidasi menjadi sulfat pada lingkungan.

Hilangnya rantai alkyl dan gugus sulfonat pada rantai LAS menghasilkan phenylacetic atau asam benzoat. Tanaman maupun bakteri dapat mengubah phenylacetic ke fumaric acid melalui *deep oxidation*. Pada tanaman, oksidasi ini berlangsung lambat (Kvesitadze, 2006)

Pada sistem SSF, pori-pori pada tanah diisi oleh gas dan terhubung langsung dengan atmosfer. Hal ini mengakibatkan difusi oksigen yang relatif cepat pada perakaran tanaman. Terdapat molekul oksigen yang cukup untuk kebutuhan oksigen akar tanaman. Pada sistem FWS, pori-pori tanah diisi oleh air dan oksigen yang terdapat dalam tanah akan berkurang secara drastis. Difusi oksigen yang terdapat pada air lebih lambat 10000 kali daripada difusi pada media berpori seperti tanah.

Sebagai akibat dari penggenangan tanah dengan air, dan kebutuhan oksigen untuk respirasi akar tanaman dan mikroba, serta oksidasi kimia dari zat organik dan anorganik, kandungan oksigen dalam tanah berkurang dalam waktu beberapa jam hingga beberapa hari. Berkurangnya kandungan oksigen mengakibatkan tanaman tidak dapat melakukan respirasi melalui akar secara normal dan sangat mempengaruhi kemampuan tanaman untuk mengambil nutrisi dari tanah dan air (Vymazal dan Kropfelova, 2008).

Reaktor dengan HRT 6 hari menghasilkan rata-rata efisiensi removal lebih besar daripada 3 hari pada kedua jenis aliran. Hal ini sesuai dengan Barber *et al.* (2001) yang menyatakan bahwa removal LAS meningkat seiring dengan peningkatan HRT.

Pada SSF kerikil berfungsi sebagai media filtrasi. Pada media filtrasi polutan diolah secara fisik, kimia dan biologis. Padatan tersuspensi tertahan oleh media filtrasi dan efisiensi removalnya biasanya sangat tinggi. Pada SSF peran utama tanaman adalah pada akarnya yang merupakan tempat menempelnya mikroba, suplai oksigen yang masuk lewat sela-

selanya, *uptake* nutrisi dan insulasi dari perubahan suhu (Vymazal, 2010). Reaktor FWS memiliki efisiensi removal lebih rendah karena air limbah tidak melalui media filter. Melainkan hanya melewati bagian atas media tanah.

Two-way ANOVA yang dilakukan pada data efisiensi removal menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap tiap jenis aliran (signifikansi $P < 0,001$) dan juga pada tiap HRT (signifikansi $P < 0,001$). Data efisiensi removal dan uji statistik selengkapannya terdapat pada lampiran A.

Pada reaktor tanpa tanaman, dihasilkan efisiensi removal yang cukup besar yakni hingga 90,69% pada reaktor SSF 6 hari. Hal ini diasumsikan karena selain tanaman, bakteri dalam tanah dan air juga berperan dalam degradasi surfaktan. Menurut Ying (2006), LAS dapat didegradasi sebesar lebih dari 99% oleh bakteri dalam air sungai hingga pada suhu 7°C. LAS juga dapat didegradasi oleh bakteri aerobik tanah pada sludge IPAL.

Hal ini menunjukkan bahwa tanaman tidak berpengaruh besar dalam degradasi surfaktan. Melainkan mikroba di akarnya yang berkontribusi besar. Pada reaktor tanpa tanaman removalnya sedikit lebih besar karena tanaman menyediakan nutrisi dari eksudat akarnya untuk mikroba.

4.4.2 pH

pH pada sebagian besar tanah cenderung berubah menjadi netral setelah dipapar dengan air. Air dengan pH rendah cenderung berkurang asiditasnya dan air dengan pH tinggi bertambah asiditasnya. Hal ini mengindikasikan pH berubah ke arah netral akibat adanya zat yang dihasilkan dari reaksi reduksi. Pemaparan tanah dengan air menyebabkan peningkatan konsentrasi ion H^+ . Pada tanah yang memiliki pH netral dan alkali, ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} di dalam tanah memiliki pengaruh besar dalam peningkatan ion (Vymazal dan Kropfelova, 2008).

pH awal limbah artifisial yang digunakan pada penelitian ini adalah 10,12. Pada semua reaktor pH semakin turun hingga mendekati pH netral. Nilai pH terendah terdapat pada reaktor SSF HRT 6 hari dengan 7,66. Secara keseluruhan reaktor dengan tanaman mampu menetralkan pH lebih baik daripada

reaktor tanpa tanaman. Hasil analisis pH dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan 4.10.

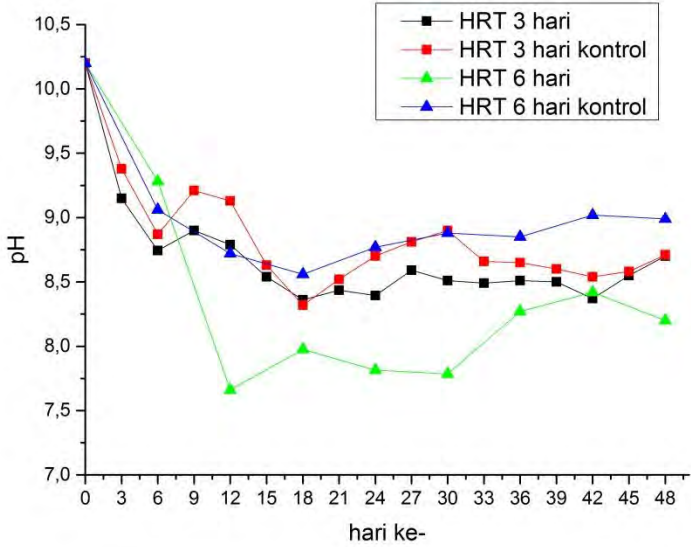
Menurut Kvesitadze (2006), tanaman mengeluarkan zat-zat melalui akarnya yang dapat dimanfaatkan oleh mikroba. Nitrogen terdapat dalam air limbah dalam bentuk organik maupun anorganik. Di dalam *constructed wetland*, terjadi proses removal nitrogen salah satunya adalah proses nitrifikasi. Nitrifikasi terjadi dengan adanya oksigen. Proses nitrifikasi mengkonsumsi alkalinitas, nitrifikasi dapat mengakibatkan penurunan pH secara signifikan (Saeed dan Sun, 2012)

Pada reaktor SSF terdapat kandungan oksigen yang lebih tinggi pada bagian akar tumbuhan (Vymazal, 2010). Maka dari itu proses nitrifikasi yang terjadi lebih signifikan. Sehingga terjadi penurunan nilai pH lebih besar yang diakibatkan oleh bakteri nitrifikasi.

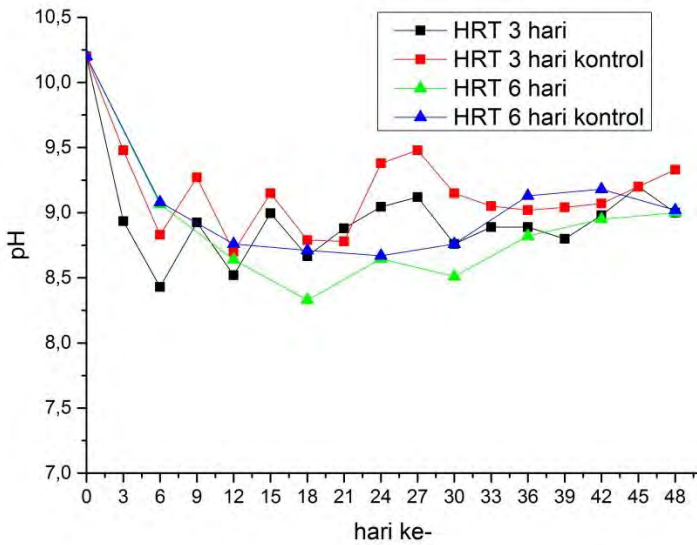
Berdasarkan analisis statistik, terdapat perbedaan signifikan antara pH effluen HRT 3 dan 6 maupun antar jenis aliran ($P < 0,001$). Hal ini menandakan bahwa jenis aliran dan HRT memiliki pengaruh terhadap perubahan pH. Regresi korelasi antara pH dan removal surfaktan adalah $-0,094$ sehingga dapat disimpulkan bahwa korelasi antara nilai pH dan removal surfaktan merupakan korelasi negatif lemah. Artinya nilai pH tidak berpengaruh besar pada removal surfaktan maupun sebaliknya. Data nilai pH dan uji statistik selengkapnya terdapat pada lampiran A.

Turunnya pH dapat diakibatkan oleh tanaman yang melepaskan ion H^+ saat mengambil nutrisi dalam tanah. Hal ini mengakibatkan pH pada reaktor tanpa tanaman lebih tinggi dibanding reaktor dengan tanaman.

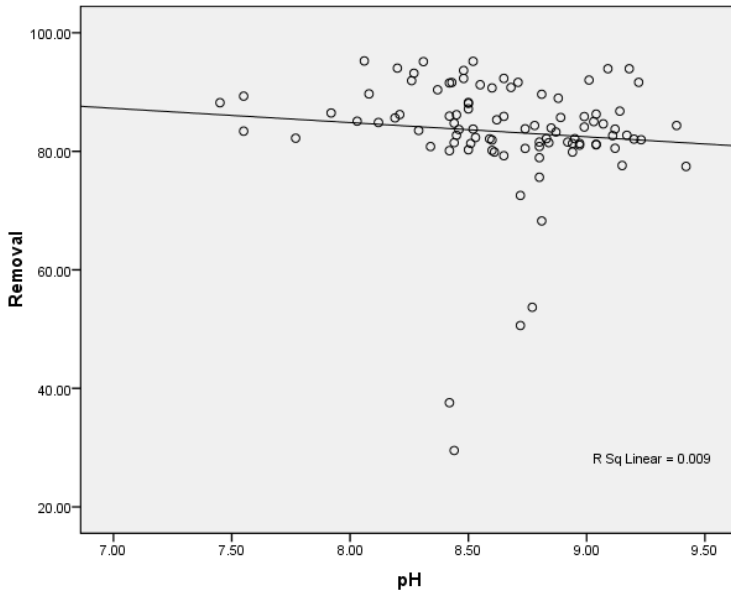
Pada reaktor FWS, nilai pH lebih besar dibandingkan dengan reaktor SSF. Hal ini berpengaruh pada kemampuan tanaman untuk mendegradasi surfaktan yang lebih rendah pula. Hal ini sesuai dengan penelitian Hosseinnia *et.al* (2006) yang menyatakan bahwa absorpsi surfaktan meningkat pada pH yang lebih rendah. Pada pH basa, LAS dalam berubah menjadi bentuk asamnya dan menjadi lebih mudah diserap oleh tanaman. Hubungan antara pH dan removal surfaktan ditampilkan pada Gambar 4.11



Gambar 4.9 Nilai pH Reaktor Aliran *Sub-Surface*



Gambar 4.10 Nilai pH Reaktor Aliran *Free Water*

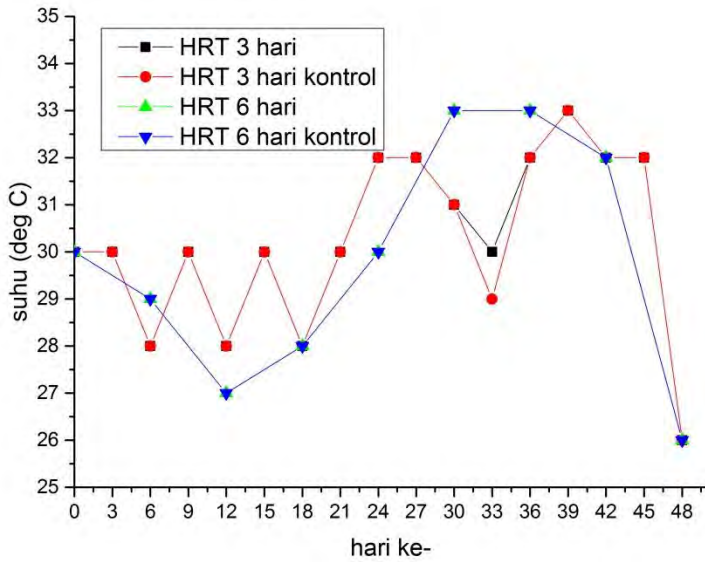


Gambar 4.11 Pengaruh pH Terhadap Removal Surfaktan

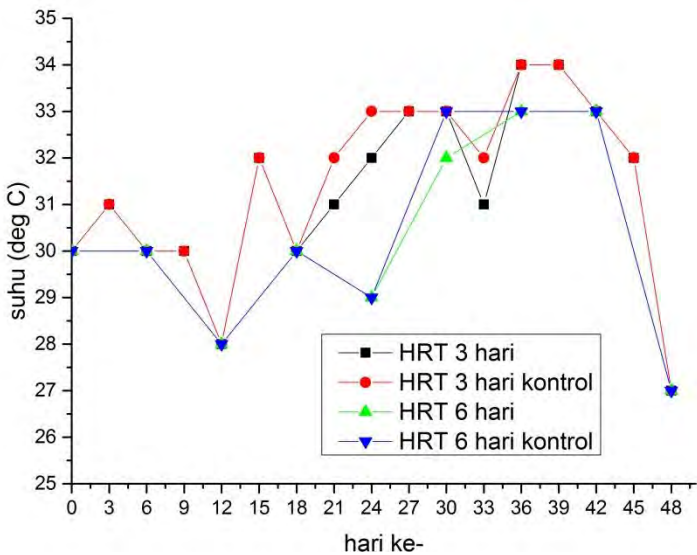
4.4.3 Suhu

Analisis suhu dilakukan pada air limbah yang ada di dalam reaktor. Tujuan dilakukannya pengukuran suhu adalah untuk mengetahui pengaruh suhu air dalam reaktor pada efisiensi degradasi surfaktan. Hasil pengukuran suhu setiap reaktor ditampilkan pada Gambar 4.12 dan 4.13

Suhu air dalam reaktor dipengaruhi oleh suhu ruangan lokasi penelitian dan paparan sinar matahari pada reaktor. Intensitas sinar matahari dan suhu memengaruhi pertumbuhan tanaman. Suhu yang terlalu tinggi mengakibatkan pertumbuhan tanaman terhambat dan menyebabkan tanaman menjadi layu dan mati. Suhu tinggi juga mengakibatkan laju penguapan air dalam reaktor menjadi lebih cepat.

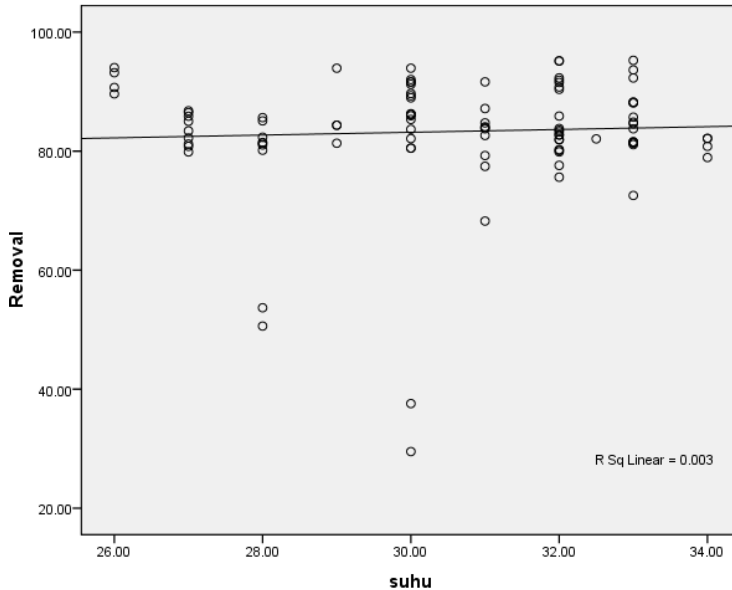


Gambar 4.12 Suhu Air Reaktor Aliran *Sub-Surface*



Gambar 4.13 Suhu Air Reaktor Aliran *Free Water*

Suhu reaktor FWS lebih tinggi daripada SSF. Hal ini dikarenakan air pada FWS terpapar sinar matahari langsung, sedangkan pada SSF air terletak di dalam media kerikil. Pengaruh suhu air terhadap efisiensi removal surfaktan ditunjukkan pada Gambar 4.14



Gambar 4.14 Pengaruh Suhu Air Terhadap Removal Surfaktan

Regresi korelasi antara pH dan removal surfaktan adalah 0,051 sehingga dapat disimpulkan bahwa korelasi antara nilai suhu dan removal surfaktan merupakan korelasi positif lemah. Artinya nilai pH tidak berpengaruh besar pada removal surfaktan maupun sebaliknya.

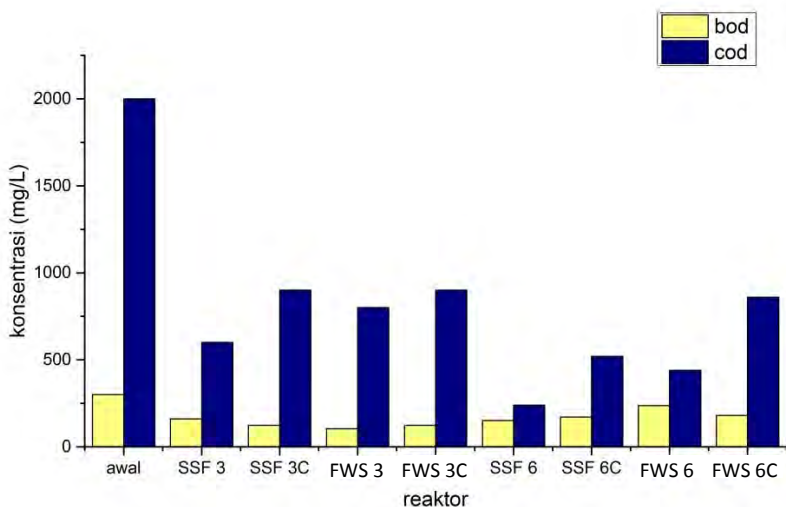
4.4.4 Rasio BOD/COD

Analisis rasio BOD/COD dilakukan untuk mengetahui tingkat biodegradasi air limbah. Uji rasio BOD/COD dapat digunakan untuk mengetahui tingkat toksisitas surfaktan terhadap lingkungan. Menurut Samudro dan Mangkoedihardjo (2010), rasio BOD/COD diklasifikasikan menjadi beberapa

zona yang menentukan bagaimana limbah tersebut diolah atau dibuang. Zona tersebut adalah sebagai berikut:

1. Zona toksik : rasio BOD/COD rendah ($<0,1$), nilai BOD dan COD tinggi.
2. Zona biodegradable : rasio BOD/COD antara $0,1-1,0$; nilai COD rendah dan nilai BOD meningkat.
3. Zona stabil : konsentrasi zat organik dapat dibuang ke lingkungan karena nilai BOD dan COD sama-sama kecil.

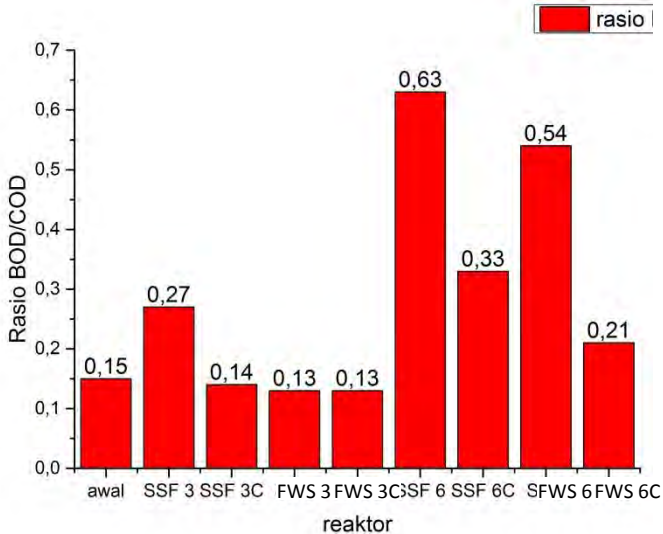
Analisis rasio BOD/COD dilakukan sebanyak 2 kali yaitu pada awal penelitian (limbah artifisial sebelum diolah) dan pada akhir penelitian (hari ke 48). Hasil analisis rasio BOD/COD ditampilkan pada Gambar 4.15 dan 4.16



Gambar 4.15 Hasil Analisis BOD dan COD

Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa rasio BOD/COD awal limbah adalah $0,15$. Dengan COD tinggi yaitu 2000 mg/L dan BOD 300 mg/L. Setelah pengolahan, rasio meningkat, kecuali pada kontrol SSF 3 hari dan pada reaktor FWS 3 hari. Tetapi dilihat dari konsentrasi COD dan BOD, kualitas air limbah meningkat karena COD pada ketiga reaktor

tersebut turun cukup besar, hanya saja konsentrasi BOD juga turun sehingga rasionya menjadi kecil.



Gambar 4.16 Rasio BOD/COD

Reaktor SSF 6 hari menghasilkan effluen dengan rasio terbesar. Terdapat selisih antara reaktor dengan tanaman dan tanpa tanaman yaitu lebih besar pada rasio dengan tanaman. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman berperan dalam removal zat organik. Kecuali pada reaktor FWS 3 hari, hal ini dapat disebabkan oleh adanya media filtrasi berupa kerikil pada reaktor SSF. Serta seiring meningkatnya HRT semakin besar penyisihan zat organik (Hijosa-Valsero, 2010)

Berdasarkan hasil penelitian, removal surfaktan dan rasio BOD/COD berbanding lurus. Semakin besar removal surfaktan semakin besar rasio BOD/COD yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena rasio BOD/COD menggambarkan kandungan zat organik yang terdapat pada air limbah. Surfaktan merupakan salah satu zat organik yang terdapat pada air limbah. Dapat juga disimpulkan bahwa semakin besar

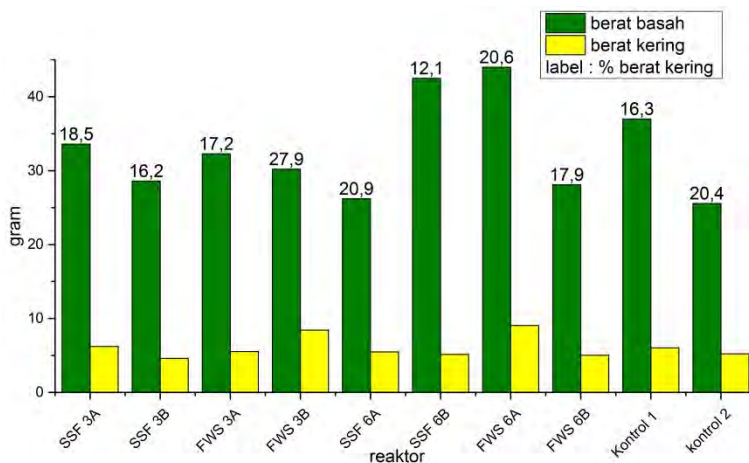
removal surfaktan, semakin kecil sifat toksiknya kepada lingkungan.

4.4.5. Berat basah dan kering tanaman

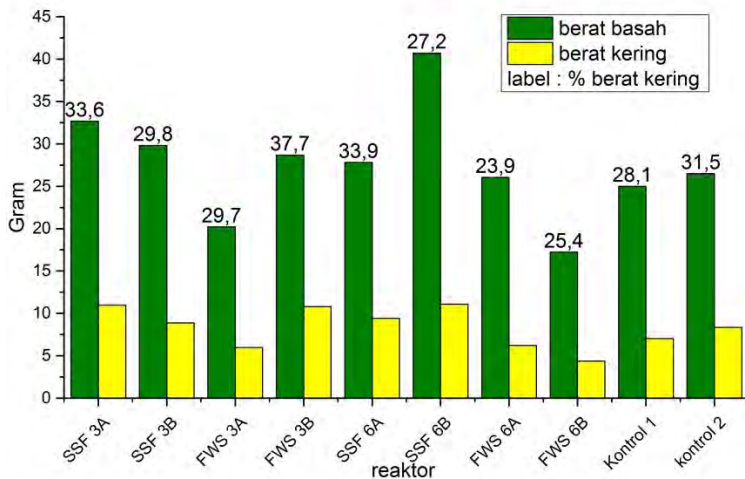
Berat basah dan berat kering tanaman dianalisis untuk mengetahui pengaruh surfaktan terhadap biomassa tanaman dan kadar air tanaman. Analisis dilakukan pada awal penelitian, 6 hari setelah penelitian dan pada akhir penelitian yaitu pada hari ke 48. Hasil analisis pada awal penelitian adalah sebagai berikut:

- Berat basah : 23,99 gram
- Berat kering : 6,16 gram
- Kadar air : 74,3%

Hasil analisis berat basah dan kering yang kedua dan ketiga ditampilkan pada Gambar 4.17 dan 4.18. Reaktor kontrol 1 adalah reaktor FWS dan kontrol 2 adalah reaktor SSF.



Gambar 4.17 Berat Basah dan Berat Kering Hari ke 6



Gambar 4.18 Berat Basah dan Berat Kering Hari ke 48

Berdasarkan gambar diatas, dapat diketahui bahwa tidak terdapat perbedaan besar berat kering tanaman antara reaktor dengan limbah dan dengan limbah. Begitu pula dengan antar reaktor dengan limbah itu sendiri (<10%). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa, air limbah tidak berpengaruh terhadap biomassa dan kadar air tanaman.

Hal ini semakin menguatkan bukti bahwa tanaman tidak berpengaruh besar terhadap removal pencemar pada air limbah *laundry*. Melainkan mikroba di tanah yang berperan besar.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan jenis aliran, efisiensi removal surfaktan yang paling maksimum didapat pada reaktor SSF dengan HRT 6 hari yaitu rata-rata sebesar 89,59%. Dengan reaktor FWS didapat removal rata-rata sebesar 82,45% dengan HRT 6 hari.
2. HRT yang lebih besar menghasilkan removal yang lebih besar. Dengan reaktor SSF 6 hari didapatkan efisiensi removal rata-rata 89,59% dan reaktor SSF 3 hari didapat efisiensi removal sebesar rata-rata 84,87%. Demikian pula dengan reaktor FWS efisiensi removal rata-ratanya untuk HRT 6 hari dan 3 hari berturut-turut adalah 82,45% dan 79,69%. Reaktor kontrol SSF 6 hari tanpa tanaman menghasilkan efisiensi removal maksimum sebesar 83,83%. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman tidak berpengaruh besar terhadap removal surfaktan, terbukti dari efisiensi removalnya yang tidak terlalu besar.

5.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya, dapat ditambah variasi HRT yang digunakan.
2. Dilakukan penelitian terhadap bakteri yang diasumsikan ikut berperan dalam degradasi surfaktan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A DATA HASIL ANALISIS	67
LAMPIRAN B DOKUMENTASI PENELITIAN	77
LAMPIRAN C METODE ANALISIS PARAMETER	83

DAFTAR PUSTAKA

- Adamsons, A.W. 1982. **Physical Chemistry of Surface**. USA: Wiley Interscience Publication
- Ahmad, J. dan El-Dessouky, H. 2008. "Design of a Modified Low Cost Treatment System for The Recycling and Reuse of Laundry Wastewater". **Resources, Conservation and Recycling**, vol.52, 7:973-978
- APHA-AWWA-WPCF. 1999. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. American Public Health Association: Washington D.C.
- Ciabatti, I., Cesaro, F., Faralli, L., Fatarella, E., dan Tognotti, F. 2009. "Demonstration of a Treatment System for Purification and Reuse of Laundry Wastewater". **Desalination**, vol. 245, 1:451-459
- Crites, R. dan Tchobanoglous, G. 1998. **Small and Decentralized Wastewater Management System : Wetlands and Aquatic Treatment**. McGraw-Hill: Singapore
- Cui, L., Ouyang, Y., Lou, Q., Yang, F., Chen, Y., Zhu, W., dan Luo, S. 2010. "Removal of Nutrient From Wastewater with *Canna indica* L. Under Different Vertical-Flow Constructed Wetland Conditions". **Ecological Engineering**, vol.36, 3:1083-1088
- Del Bubba, M., Heijnen, G., Cincinelli, A., Griffini, O., dan Tabani, F. **Linear alkylbenzene sulfonates (LAS) Removal in a Pilot Submerged Horizontal Flow Constructed Wetland**. Gainesville: University of Florida
- Effendi, H. 2003. **Telaah Kualitas Air : Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan**. Yogyakarta: Penerbit Kanisius
- Erina, R. dan Wiyono, E. 2012. "Domestic Wastewater Treatment Using Constructed Wetland as a Development Strategy of Sustainable Residential". **International Conference on Environment, Energy and Biotechnology**, vol.33, 3:110-115
- Fajariningtyas, D.A., Retnaningdyah, C., dan Arisoesilaningsih, E. 2006. **Peningkatan Kualitas Limbah Deterjen Dengan Fitoremediasi Menggunakan Diversitas**

- Hidrokromatofita Indonesia**. Skripsi pada Universitas Brawijaya Malang: Tidak Diterbitkan
- Halverson, N. V. 2004. **Review of Constructed Subsurface Flow vs. Surface Flow Wetlands**. Springfield, USA: U.S. Department of Energy
- Hammer, M.J. 1986. **Water and Wastewater Technology SI Version**. Singapore: John Wiley & Sons
- Herawati, E., Wiryanto, dan Solichatun. 2005. "Fitoremediasi Limbah Detergen Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) dan Genjer (*Limnocharis flava* L.)". **BioSMART**, vol.7, 2:115-124
- Hijosa-Valseo, M. 2010. "Optimization of Performance Assesment and Design Characteristics in Constructed Wetland for The Removal of Organic Matter". **Chemospher**, vol. 8, 1:651-657
- Hosseinnia, A., Hashtroudi, M.S., Pazouki, M., dan Banifatemi, M. 2006. "Removal of Surfactant From Wastewater by Rice Husk". **Iranian Journal of Chemical Engineering**. Vol. 3. 3:44-50
- Hudori dan Soewondo. 2009. **Pengolahan Air Limbah Laundry Dengan Menggunakan Elektrokoagulasi**. Seminar Nasional Ke 4 Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi
- Interstate Technology and Regulatory Cooperation. 2001. **Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance Document**. USA: ITRC
- Iowa Department of Natural Resource. 2007. **Constructed Wetlands Technology Assessment and Design Guidance**. USA: DNR
- Kalra, Y.P. 1998. **Handbook of Reference Methods for Plant Analysis**. Boca Raton: CRC Press
- Khiatuddin, M. 2003. **Melestarikan Sumber Daya Air Dengan Teknologi Rawa Buatan**. Yogyakarta: Gajah Mada University Press
- Kvesitadze, G., Khatisashvili, G., Sadunishvili, T., Ramsden, J.J. 2006. **Biochemical Mechanism of Detoxification in Higher Plants**. Berlin: Springer
- Kyambedde, J., Kansime, F., Gumaelius, L., dan Dalhammar, G. 2005. "A Comparative Study of *Cyperus papyrus*

- and *Miscanthidium violaceum*-based Constructed Wetlands For Wastewater Treatment in a Tropical Climate". **Water Research**, vol 38, 4:475-485
- Liang, M., Zhang, C., Peng, C., Lai, Z., Chen, D., dan Chen, Z. 2011. "Plant Growth, Community Structure and Nutrient Removal in Monoculture and Mixed Constructed Wetlands". **Ecological Engineering**, vol.37, 1:309-316
- Metcalfe dan Eddy. 1993. **Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse**. New York: McGraw-Hill
- Peraturan Gubernur Jawa Timur No.72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan Kegiatan Lainnya. Surabaya: 2013
- Pitter, P. 2009. **Hydrochemistry, 4th edition**. Czech Republic: VSCHT Praha
- Sa'at. 2006. **Subsurface Flow and Free Water Surface Flow Constructed Wetland with Magnetic Field for Leachate Treatment**. Johor Bahru: University Teknologi Malaysia.
- Saeed, T dan Sun, G. "A Review on Nitrogen and Organics Removal Mechanisms in Subsurface Flow Constructed Wetlands: Dependency on Environmental Parameters, Operating Conditions and Supporting Media". **Journal of Environmental Management**. Vol. 112, 12:429:448
- Sasse, L. 1998. **Decentralised Wastewater Treatment in Developing Countries**. New Delhi: BORDA
- Samudro, G. Dan Mangkoedihardjo, S. "Review on BOD/COD Ratio: A Triangle Zone For Toxic, Biodegradable and Stable Levels". **International Journal of Academic Research**. Vol.2, 2:235-239
- Scott, M.J., dan Jones, M.J. 2000. "The Biodegradation of Surfactants in The Environment". **Biochimia et Biophysica Acta**. Vol.1508, 1:235-251
- Singh, R., Gautam, N., Mishra, A., dan Gupta, R. 2011. "Heavy Metals and Living Systems: An Overview". **Indian Journal of Pharmacology**. Vol. 43, 3:246-253
- Smulders, E. 2002. **Laundry Detergents**. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH

- Standar Nasional Indonesia, **Cara Uji Kadar Surfaktan Anionik Dengan Spektrofotometer Secara Biru Metilen. (SNI 06-6989.51-2005)**
- Standar Nasional Indonesia, **Cara Uji Derajat Keasaman Dengan Menggunakan Alat Ph Meter (SNI 06-6989.11-2004)**
- Stefanakis, A., Akrotos, C.S., dan Tsihrintzis, V.A. 2014. **Vertical Flow Constructed Wetlands**. Oxford: Elsevier Inc.
- Sumarno, I. Sumantri, dan A. Nugroho. 1996. **Penurunan Kadar Detergen Dalam Limbah Cair Dengan Pengendapan Secara Kimiawi**. Majalah Penelitian Lembaga Penelitian 8 (30): 25-35.
- Supradata. 2005. **Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Tanaman Hias *Cyperus alternifolius*, L. Dalam Sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (SSF-Wetlands)**. Tesis pada Universitas Diponegoro: Tidak Diterbitkan
- Suriawiria, U. 1993. **Mikrobiologi Air**. Bandung: Penerbit Alumni
- Surrency, D. 1993. "Evaluation of Aquatic Plants for Constructed Wetlands". **Constructed Wetland for Water Quality Improvement**. CRC Press: Boca Raton, Florida, hal 349-357
- Syarifah, M.N., dan Damanhuri, T.P. 2010. **Penyisihan Senyawa Non Logam Pada Lindi Menggunakan Constructed Wetland**. Skripsi pada FTSL-ITB Bandung: Tidak Diterbitkan
- Tangahu, B.V. dan Warmadewanthi, I.D.A.A. 2001. "Pengelolaan Limbah Rumah Tangga Dengan Memanfaatkan Tanaman Cattail (*Typha angustifolia*) dalam Sistem Constructed Wetland". **Purifikasi**. Volume 2 Nomor 3, ITS – Surabaya.
- Theophile, F., Sako, I.B., Martin, L., Fabrice, M.T., dan Akoa, A. 2013. "Potential of *Cyperus papyrus* in Yard-Scale Horizontal Flow Constructed Wetland for Wastewater Treatment in Cameroon". **Universal Journal of Environmental Research and Technology**, vol.1, 2:160-168

- U.S. Environmental Protection Agency. 1993. **Subsurface Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, A Technology Assesment**. USA: Office of Water – Environmental Protection Agency (EPA)
- U.S. Environmental Protection Agency. 1999. **Draft Guidance for Water Quality**. USA : Office of Water – EPA
- U.S. Environmental Protection Agency. 2000. **Wastewater Technology Fact Sheet Free Water Surface Wetlands**. USA: Office of Water – Environmental Protection Agency (EPA)
- U.S. Environmental Protection Agency. 1996. **Ecological Effect Guidelines OPPTS 850.4400**. USA: Office of Water – Environmental Protection Agency (EPA)
- Vymazal, J., dan Kröpfelová, L. 2008. **Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow**. USA: Springer
- Vymazal, J. 2010. “Constructed Wetland for Wastewater Treatment”. **Water**. Vol:2, 1:530-549
- Wang, C.T., Chou, W. L., dan Kuo, Y.M. 2009. “Removal of COD From Laundry Wastewater By Electrocoagulation/Electroflotation”. **Journal of Hazardous Materials**, vol.164, 1:81-86
- Wu, H., Zhang, J., Ngo, H., Guo, W., dan Hu, Z. 2014. “A Review on The Sustainability of Constructed Wetland for Wastewater Treatment”: Design and Operation. **Bioresource Technology**, vol.175, 4:594-601
- Ying G. 2006 “Fate, Behavior and Effects of Surfactant and Their Degradation Products in The Environment”. **Environmental International**. Vol. 32, 3:417-431

LAMPIRAN A DATA HASIL ANALISIS

1. Analisis Surfaktan

Cara perhitungan efisiensi removal surfaktan:

$$\% \text{ Removal} = \frac{(\text{konsentrasi awal} - \text{konsentrasi akhir}) \text{mg/L}}{\text{konsentrasi awal} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)} \times 100\%$$

a. Reaktor *Sub-Surface Flow*

reaktor	% removal			
	HRT 3	kontrol 3	HRT 6	kontrol 6
0	0	0	0	0
3	83.21	58.28	-	-
6	52.15	42.18	89.15	80.52
9	92.79	60.97	-	-
12	80.45	79.84	82.81	80.45
15	84.50	83.33	-	-
18	83.98	82.52	85.78	83.86
21	84.33	77.81	-	-
24	81.89	88.16	89.50	76.04
27	84.27	78.46	-	-
30	85.46	81.83	85.46	81.83
33	91.42	87.32	-	-
36	91.34	83.67	95.25	90.69
39	88.24	76.58	-	-
42	91.92	89.42	95.14	88.04
45	91.92	89.42	-	-
48	90.15	82.71	93.60	89.23

b. Reaktor *Free Water Surface*

reaktor	% removal			
	HRT 3	kontrol 3	HRT 6	kontrol 6
0	0	0	0	0
3	88.77	72.47	-	-
6	33.55	20.32	86.27	53.30
9	77.26	52.53	-	-
12	80.80	79.65	81.07	79.46
15	83.50	82.71	-	-
18	81.30	87.70	86.18	84.52
21	80.95	77.27	-	-
24	78.75	79.92	82.85	79.61
27	81.58	79.76	-	-
30	74.09	70.83	74.09	70.83
33	84.02	76.96	-	-
36	82.14	75.89	81.51	79.95
38	78.92	73.36	-	-
42	85.17	77.61	81.33	81.26
45	85.17	77.61	-	-
48	83.10	78.92	86.32	80.45

2. Analisis pH

a. Reaktor HRT 3 hari

hari ke-	SSF 3	SSF 3C	FWS 3	FWS 3C
0	10.2	10.2	10.2	10.2
3	9.2	9.4	8.9	9.5
6	8.7	8.9	8.4	8.8
9	8.9	9.2	8.9	9.3
12	8.8	9.1	8.5	8.7

hari ke-	SSF 3	SSF 3C	FWS 3	FWS 3C
15	8.5	8.6	9.0	9.2
18	8.4	8.3	8.7	8.8
21	8.4	8.5	8.9	8.8
24	8.4	8.7	9.0	9.4
27	8.6	8.8	9.1	9.5
30	8.5	8.9	8.8	9.2
33	8.49	8.66	8.89	9.05
36	8.51	8.65	8.89	9.02
39	8.50	8.60	8.80	9.04
42	8.37	8.54	8.98	9.07
45	8.55	8.58	9.20	9.20
48	8.71	8.71	9.04	9.33

b. Reaktor *Free Water Surface*

hari ke-	SSF 6	SSF 6C	FWS 6	FWS 6C
0	10.2	10.2	10.2	10.2
6	9.3	9.1	9.1	9.1
12	7.7	8.7	8.6	8.8
18	8.0	8.6	8.3	8.7
24	7.8	8.8	8.6	8.7
30	7.8	8.9	8.5	8.8
36	8.27	8.85	8.82	9.13
42	8.42	9.02	8.95	9.18
48	8.235	8.99	9.065	9.02

3. Analisis Suhu (°C)

a. Reaktor HRT 3 Hari

Hari ke-	SSF 3	SSF 3C	FWS 3	FWS 3C
0	30	30	30	30
3	30	30	31	31
6	28	28	30	30
9	30	30	30	30
12	28	28	28	28
15	30	30	32	32
18	28	28	30	30
21	30	30	31	32
24	32	32	32	33
27	32	32	33	33
30	32	31	33	33
33	33	29	31	32
36	32	32	34	34
39	33	33	34	34
42	32	32	33	33
45	32	32	32	32
48	26	26	27	27

b. Reaktor HRT 6 hari

Hari ke-	SSF 6	SSF 6C	FWS 6	FWS 6C
0	30	30	30	30
6	29	29	30	30
12	27	27	28	28
18	28	28	30	30
24	30	30	29	29
30	33	33	32	33

Hari ke-	SSF 6	SSF 6C	FWS 6	FWS 6C
36	33	33	33	33
42	32	32	33	33
48	26	26	27	27

4. Analisis Berat Basah

a. Berat basah awal

reaktor	berat awal (gram)
SSF 3A	31
SSF 3B	26,7
FWS 3A	30
FWS 3B	28,7
SSF 6A	25,8
SSF 6B	38,5
FWS 6A	39
FWS 6B	26
Kontrol 1	35,3
Kontrol 2	24,8

b. Berat basah 6 hari (gram)

Reaktor	batang	akar	daun	total
SSF 3A	18,9	11,7	3	33,6
SSF 3B	21,4	5,1	2,1	28,6
FWS 3A	18,7	11,2	2,4	32,3
FWS 3B	16,2	10,5	3,5	30,2
SSF 6A	16,1	6,9	3,2	26,2
SSF 6B	16,4	23,9	2,2	42,5
FWS 6A	22,9	17,1	4	44
FWS 6B	17,3	7,6	3,2	28,1
Kontrol	19	14,8	3,2	37

c. Berat Basah 48 hari (gram)

reaktor	batang	akar	daun	total
SSF 3A	7.333	24.285	1.0605	32.6785
SSF 3B	15.1075	12.74	1.9758	29.8233
SF 3A	14.5185	4.5998	1.0826	20.2009
SF 3B	14.68	11.5947	2.4079	28.6826
SSF 6A	13.25	13.3527	1.2198	27.8225
SSF 6B	10.5367	27.9462	2.22097	40.70387
SF 6A	12.7552	10.2978	2.9989	26.0519
SF 6B	7.3902	8.9209	0.9228	17.2339
Kontrol 1	11.2919	12.513	1.2054	25.0103
kontrol 2	14.7501	10.677	1.0757	26.5028

5. Analisis Berat Kering (gram)

a. Berat Kering 6 hari (gram)

reaktor	batang	akar	daun	total
SSF 3A	3,32	1,88	1,03	6,23
SSF 3B	4,08	0,15	0,39	4,62
FWS 3A	2,13	2,26	1,15	5,54
FWS 3B	6,36	0,96	1,12	8,44
SSF 6A	4,3714	0,1214	0,9885	5,4813
SSF 6B	2,1626	2,8505	0,1227	5,1358
FWS 6A	4,925	2,6958	1,4523	9,0731
FWS 6B	3,2429	0,8842	0,9167	5,0438
Kontrol	3,0081	1,764	1,2729	6,045

b. Berat Kering 48 hari (gram)

reaktor	daun	akar	batang	total
SSF 3A	0.5276	7.738	2.7262	10.9918
SSF 3B	0.8544	4.9593	3.0718	8.8855
SF 3A	0.3955	0.8327	4.7619	5.9901
SF 3B	1.0992	2.7668	6.9399	10.8059
SSF 6A	0.3651	3.8841	5.1722	9.4214
SSF 6B	1.0681	2.9939	7.0271	11.0891
SF 6A	1.321	1.9234	2.9703	6.2147
SF 6B	0.3445	2.1613	1.8759	4.3817
Kontrol	0.5922	4.6274	1.8037	7.0233
kontrol 2	0.476	3.813	4.054	8.343

6. Analisis statistik

a. ANOVA Removal Surfaktan

- Nilai signifikansi total

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: removal

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	3290.263 ^a	23	143.055	22.068	.000	.955
Intercept	312945.397	1	312945.397	4.827E4	.000	1.000
td	441.788	1	441.788	68.150	.000	.740
hari_ke	2019.406	15	134.627	20.768	.000	.928
td * hari_ke	1026.282	7	146.612	22.616	.000	.868
Error	155.582	24	6.483			
Total	362014.623	48				
Corrected Total	3445.845	47				

- Nilai signifikansi antar jenis reaktor

Multiple Comparisons

Removal
LSD

(I) Jenis _Alira n	(J) Jenis _Alira n	Mean Difference (I- J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
SSF3	SF3	6.2622 ^a	.77865	.000	4.6966	7.8278
	SSF6	-4.7884 ^a	.95365	.000	-6.7059	-2.8710
	SF6	1.5035	.95365	.121	-.4140	3.4209
SF3	SSF3	-6.2622 ^a	.77865	.000	-7.8278	-4.6966
	SSF6	-11.0506 ^a	.95365	.000	-12.9681	-9.1332
	SF6	-4.7588 ^a	.95365	.000	-6.6762	-2.8413
SSF6	SSF3	4.7884 ^a	.95365	.000	2.8710	6.7059
	SF3	11.0506 ^a	.95365	.000	9.1332	12.9681
	SF6	6.2919 ^a	1.10118	.000	4.0778	8.5060
SF6	SSF3	-1.5035	.95365	.121	-3.4209	.4140
	SF3	4.7588 ^a	.95365	.000	2.8413	6.6762
	SSF6	-6.2919 ^a	1.10118	.000	-8.5060	-4.0778

b. ANOVA nilai pH

- Nilai signifikansi total

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: pH

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	12.918 ^a	47	.275	7.409	.000
Intercept	5749.057	1	5749.057	1.550E5	.000
Jenis_Reaktor	4.590	3	1.530	41.237	.000
Hari_ke	3.013	15	.201	5.415	.000
Jenis_Reaktor * Hari_ke	4.390	29	.151	4.080	.000
Error	1.781	48	.037		
Total	7194.026	96			
Corrected Total	14.699	95			

- Nilai signifikansi tiap jenis reaktor

Multiple Comparisons

pH
LSD

(I) Jenis Rea- ktor	(J) Jenis Rea- ktor	Mean Difference (I- J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
SSF3	SF3	-.2850'	.04815	.000	-.3818	-.1882
	SSF6	.4169'	.05897	.000	.2983	.5355
	SF6	-.1563'	.05897	.011	-.2748	-.0377
SF3	SSF3	.2850'	.04815	.000	.1882	.3818
	SSF6	.7019'	.05897	.000	.5833	.8205
	SF6	.1287'	.05897	.034	.0102	.2473
SSF6	SSF3	-.4169'	.05897	.000	-.5355	-.2983
	SF3	-.7019'	.05897	.000	-.8205	-.5833
	SF6	-.5731'	.06810	.000	-.7100	-.4362
SF6	SSF3	.1563'	.05897	.011	.0377	.2748
	SF3	-.1287'	.05897	.034	-.2473	-.0102
	SSF6	.5731'	.06810	.000	.4362	.7100

c. Korelasi nilai pH dan removal surfaktan

Correlations

		Removal	pH
Removal	Pearson Correlation	1	-.094
	Sig. (2-tailed)		.363
	N	96	96
pH	Pearson Correlation	-.094	1
	Sig. (2-tailed)	.363	
	N	96	96

d. Korelasi nilai suhu dan removal surfaktan

Correlations

		Removal	suhu
Removal	Pearson Correlation	1	.051
	Sig. (2-tailed)		.620
	N	96	96
suhu	Pearson Correlation	.051	1
	Sig. (2-tailed)	.620	
	N	96	96

7. Analisis Rasio BOD/COD

Reaktor	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	Rasio
limbah awal	300.9	2000	0.15
SSF 3	161.5	600	0.27
SSF 3C	123.5	900	0.14
FWS 3	104.5	800	0.13
FWS 3C	123.5	900	0.14
SSF 6	152	240	0.63
SSF 6C	171	520	0.33
FWS 6	237.5	440	0.54
FWS 6C	180.5	860	0.21

LAMPIRAN B DOKUMENTASI PENELITIAN

- Analisis suhu



- Analisis Surfaktan



- **Analisis berat basah**



- **Analisis Berat Kering**



- Reaktor *Fitotreatment* Pada hari-30



Kontrol FWS



Kontrol SSF



SSF 3A



SSF 3B



FWS 3A



FWS 3B



SSF 6A



SSF 6B



FWS 6A



FWS 6B



Kontrol tanpa tanaman

- Reaktor *Fitotreatment* Pada Saat Pengisian Air Limbah



LAMPIRAN C

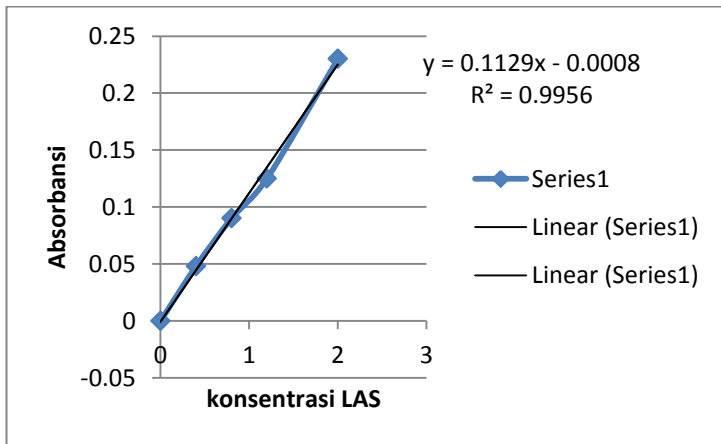
METODE ANALISIS PARAMETER

1. Analisis surfaktan

Prosedur:

- Diambil masing-masing 100 mL kemudian masing-masing masukkan ke dalam corong pemisah 250 mL
- Tambahkan 3 tetes sampai dengan 5 tetes indikator fenolftalin dan larutan NaOH 1N tetes demi tetes ke dalam contoh uji sampai timbul warna merah muda, kemudian hilangkan dengan menambahkan H₂SO₄ tetes demi tetes
- Tambahkan masing-masing larutan biru metilen sebanyak 25 mL
- Tambahkan masing-masing 10 mL kloroform, kocok kuat-kuat selama 30 detik sekali-kali buka tutup corong untuk mengeluarkan gas
- Biarkan hingga terjadi pemisah fasa, goyangkan corong pemisah perlahan-lahan, jika terbentuk emulsi tambahkan sedikit isopropil hingga emulsinya hilang
- Pisahkan lapisan bawah (fasa kloroform) dan tamping dalam corong pemisah lain
- Ekstraksi kembali fasa air dalam corong pemisah dengan mengulangi langkah c sampai e sebanyak 2 kali dan satukan semua fasa kloroform
- Tambahkan 50 mL larutan pencuci ke dalam fasa kloroform gabungan dan kocok kuat-kuat selama 30 detik
- Biarkan terjadi pemisahan fasa, goyangkan perlahan-lahan
- Keluarkan lapisan bawah (kloroform) melalui *glass wool* dan ditampung ke dalam labu ukur

- Cuci *glass wool* dengan kloroform sebanyak 10 mL dan gabungkan dengan fasa kloroform
- Tepatkan isi labu ukur hingga tanda tera dengan menggunakan kloroform
- Ukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 652 dan catat serapannya
- Dihitung dengan kurva kalibrasi sebagai berikut



2. Analisis pH

Prosedur :

- Lakukan kalibrasi alat pH meter dengan larutan penyangga sesuai instruksi kerja alat.
- Keringkan elektroda dengan kertas tisu
- Bilas elektroda dengan samel
- Celupkan elektroda ke dalam contoh uji sampai pH meter menunjukkan pembacaan yang tetap
- Catat hasil pembacaan skala.

3. Analisis suhu air

Prosedur :

- a. Termometer langsung dicelupkan pada air sampel dan biarkan 2 menit sampai dengan 5 menit sampai termometer menunjukkan nilai yang stabil
 - b. Catat pembacaan skala termometer tanpa mengangkat termometer dari air.
4. Analisis berat kering
 - Ditimbang berat basahnya dengan neraca analitik
 - Dioven pada suhu 80°C selama 48 jam
 - Dimasukkan ke desikator selama 15 menit
 - Ditimbang berat keringnya dengan neraca analitik
5. Analisis BOD

Prosedur:

 - a. Menentukan pengenceran. Untuk menganalisis BOD harus diketahui besarnya pengenceran melalui angka COD sebagai berikut.

$$P = \frac{\text{Angka COD}}{3 \text{ atau } 5}$$
 - b. Menyiapkan 1 buah labu takar 500 ml dan menuangkan sampel sesuai perhitungan pengenceran, lalu menambahkan air pengencer sampai batas labu
 - c. Menyiapkan 2 buah botol winkler 300 ml dan 2 buah botol winkler 150 ml
 - d. Menuangkan air dalam labu takar tadi ke dalam botol winkler 300 ml dan 100 ml sampai tumpah
 - e. Menuangkan air pengencer ke botol winkler 300 ml dan 150 ml sebagai blanko sampai tumpah
 - f. Memasukkan kedua botol winkler 300 ml ke dalam inkubator 20°C selama 5 hari.
 - g. 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 lalu dibolak-balikkan beberapa kali

- Membiarkan gumpalan mengendap selama 5-10 menit
 - Menambahkan 1 ml asam sulfat pekat, lalu ditutup dan dibolak-balikkan
 - Menuangkan 100 ml larutan ke dalam erlenmeyer 250 ml
 - Menitrasi dengan Natrium thiosulfat 0,0125 N sampai menjadi warna coklat muda
 - Menambahkan 3-4 tetes indikator amilum dan titrasi dengan natrium thiosulfat hingga warna biru hilang
- h. Setelah 5 hari, menganalisis kedua larutan dalam botol winkler 300 ml dengan analisis oksigen terlarut
- i. Hitung oksigen terlarut dan BOD dengan rumus berikut.

$$OT \text{ (mg O}_2\text{/l)} = \frac{a \times N \times 8000}{100 \text{ ml}}$$

Keterangan :

a = volume titran (ml)

N = Normalitas larutan Na-thiosulfat = 0,0125 N

100 ml = volume sampel yang digunakan dalam titrasi

$$BOD_5^{20} \text{ (mg/l)} = \frac{[(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)] \times (1 - P)}{P}$$

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

Keterangan :

X₀ = DO sampel pada t = 0 hari

X₅ = DO sampel pada t = 5 hari

B₀ = DO blanko pada t = 0 hari

B₅ = DO blanko pada t = 5 hari

P = derajat pengenceran

6. Analisis COD
- Cuci tutup tabung menggunakan H_2SO_4 sebelum pemakaian untuk menghindari kontaminasi
 - Masukkan 1 mL sampel ke dalam tabung
 - Tambahkan 1,5 mL $K_2Cr_2O_7$ 0,25 N ke dalam tabung
 - Tambahkan 3,5 mL $AgSO_4$ ke dalam tabung
 - Panaskan tabung dengan suhu $150^\circ C$ di dalam ruangan terlindung selama 2 jam
 - Dinginkan tabung hingga mencapai suhu ruang
 - Tetesi dengan 1 tetes indikator ferroin
 - Titrasikan dengan larutan FAS 0,05 N hingga warna larutan berubah menjadi merah bata
 - Hitung oksigen terlarut dan BOD dengan rumus berikut.

$$COD \text{ (mg/L)} = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{mL \text{ sampel}}$$

Keterangan :

A = mL FAS yang digunakan pada blanko

B = mL FAS yang digunakan pada sampel

N = Normalitas FAS

8000 = miliekivalen berast oksigen x 1000 mL/L

BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Sidoarjo, tanggal 1 Mei 1993. Penulis menempuh pendidikan dasar pada tahun 1999-2005 di SDN Terusan 3, Mojokerto. Kemudian melanjutkan di SMPN 3 Sidoarjo pada tahun 2005-2008 dan SMAN 4 Sidoarjo pada tahun 2008-2011. Penulis kemudian diterima melalui jalur SNMPTN di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS, Surabaya pada tahun 2011 dan terdaftar dengan NRP 33 11 100 076.

Selama perkuliahan, penulis aktif sebagai panitia di berbagai kegiatan yang diadakan oleh himpunan mahasiswa teknik lingkungan (HMTL) dan sebagai pengurus Environmental Engineering English Club (EEEC) HMTL. Beberapa pelatihan dan seminar di bidang Teknik Lingkungan juga telah diikuti oleh penulis dalam rangka untuk pengembangan diri. Penulis dapat dihubungi via email dengan alamat: putri.windriya11@mhs.enviro.its.ac.id