



TUGAS AKHIR - RE 141581

**STUDI LITERATUR PENGOLAHAN AIR
LIMBAH MENGGUNAKAN MIXED AQUATIC
PLANTS**

YURIDNA AFIFAH

3313100075

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Dr.Ir.Sarwoko Mangkoedihardjo, MScES.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - RE 141581

A REVIEW OF WASTEWATER TREATMENT USING MIXED AQUATIC PLANTS

**YURIDNA AFIFAH
3313100075**

**SUPERVISOR
Prof.Dr.Ir.Sarwoko Mangkoedihardjo, MScES.**

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil, Environmental, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**

HALAMAN PENGESAHAN

STUDI LITERATUR PENGOLAHAN AIR LIMBAH MENGUNAKAN *MIXED AQUATIC PLANTS*

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik

pada

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

Oleh:

YURIDNA AFIFAH

NRP. 3313100075

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MScES

NIP. 19540824 198403 1 001



STUDI LITERATUR PENGOLAHAN LIMBAH AIR MENGUNAKAN MIXED AQUATIC PLANTS

Nama Mahasiswa : Yuridna Afifah
NRP : 3313100075
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Prof.Dr.Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MScES.

ABSTRAK

Air merupakan material yang membuat kehidupan terjadi di bumi. Berkembangnya populasi penduduk serta banyak industri kecil seperti industri tahu dan industri batik kebanyakan menyatu dengan penduduk. Selain itu, kebanyakan dari hasil kegiatan tersebut membuang limbah cair langsung ke badan air sehingga mencemari dan dapat mengganggu kesehatan.

Studi literatur ini bertujuan untuk mengetahui keefektifan pengolahan air limbah menggunakan *mixed aquatic plant* yang difokuskan pada kemampuan tumbuhan air terhadap penurunan kontaminan yang nantinya dapat diterapkan di badan air. Pengumpulan data didapatkan dari jurnal internasional maupun nasional, prosiding, peraturan yang berlaku, tugas akhir, tesis, dan disertasi.

Ada lebih dari satu jenis kontaminan yang ada pada badan air. Hasil studi menunjukkan keefektifan pengolahan air limbah dengan menggunakan *mixed plant* sebagai agen bioremediasi lebih efektif untuk kontaminan yang lebih kompleks karena kemampuan tiap tumbuhan dalam menyerap polutan berbeda.

Kata kunci: wetland, pengolahan air limbah, tumbuhan air, mixed plant

“Halaman sengaja dikosongkan”

A REVIEW OF WASTEWATER TREATMENT USING MIXED PLANT

Name : Yuridna Afifah
NRP : 032113000075
Department : Teknik Lingkungan
Supervisor : Prof.Dr.Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M.ScES

ABSTRACT

Water is the material that makes life happen on earth. The growing population as well as many small industries such as tofu industry and batik industry mostly blend with the population. In addition, most of the results of these activities dispose of liquid waste directly kebadan water so that pollute and can disrupt health.

This literature study aims to determine the effectiveness of wastewater treatment using a mixed aquatic plant that is focused on the ability of water plants to decrease contaminants that can later be applied in water. Data collection is obtained from international and national journals, proceedings, applicable regulations, final project, thesis, and dissertation.

There is more than one type of contaminant present in water bodies. The results show that wastewater treatment using a mixed plant is more effective than using a single plant because of the ability of each plant to absorb different pollutants.

Keywords: wetland, pengolahan air limbah, tumbuhan air, mixed plant

“Halaman sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, berkah, dan hidayah-Nya sehingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan tepat waktu. Tugas akhir dengan judul "***Studi Literatur Pengolahan Air Limbah Menggunakan Mixed aquatic plant***". Dalam penyusunan laporan, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MScES. selaku dosen pembimbing atas ilmu dan masukan yang diberikan dalam proses bimbingan tugas akhir.
2. Bapak Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT., Bapak Welly Herumurti, ST., MSc., dan Ibu Dr. Harmin Sulistiyaning Titah, ST., MT., selaku dosen penguji, atas segala masukan yang diberikan.
3. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu mendoakan dan memberi dukungan serta motivasi.
4. Teman-teman satu asistensi dan sahabat yang tidak lelah memberi semangat dan doa untuk dapat menyelesaikan
5. Teman-teman satu generasi kepengurusan seperjuangan dan anggota lainnya yang tidak dapat disebut satu persatu di KSR ITS
6. Teman-teman angkatan 2013 atas segala bantuan dan dukungan yang diberikan.

Mohon maaf apabila terdapat kesalahan dalam penulisan laporan tugas akhir ini. Kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

“Halaman sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Manfaat.....	4
BAB 2 METODE STUDI.....	5
2.1 Kerangka Studi.....	5
2.2 Metode Studi.....	7
2.2.1 Ide Studi	7
2.2.2 Pengumpulan Data	8
2.2.3 Hasil dan Pembahasan	8
2.2.4 Studi Kasus	9
2.2.5 Kesimpulan dan Saran.....	9
BAB 3 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	11
3.1 Air Limbah	11
3.1.1 Air Limbah Domestik.....	11

3.1.2 Air Limbah Tahu.....	14
3.1.3 Air Limbah Industri Tekstile.....	19
3.2 Proses Fitoteknologi	21
3.3 Constructed Wetland	24
3.3.1 Free Water Surface Constructed Wetland	25
3.3.2 Subsurface Constructed Wetland	27
3.4 Makrofita (Tumbuhan Air)	30
3.4.1 Kerapatan Tumbuhan	35
3.4.2 Pola Pengaliran.....	35
3.4.3 Mekanisme Kombinasi antara Mikroorganisme dan Tumbuhan.....	38
3.5 Peyisihan Pencemar Organik oleh Tumbuhan Air	39
3.5.1 <i>Typha latifolia</i> dan <i>Eceng Gondok</i>	47
3.5.2 <i>Scirpus grossus</i> dan <i>Iris pseudacorus</i>	48
3.5.3 penggunaan <i>mixed plants</i> pada pengolahan badan air tercemar	50
BAB 4 STUDI KASUS	53
4.1 Perbaikan kualitas Danau Ebony Jakarta Utara	53
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	57
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	59
BIOGRAFI PENULIS.....	71

DAFTAR GAMBAR

2.1 Kerangka Studi	7
3.2 Mekanisme Fitoproses	23
3.3 <i>Freewater surface flow constructed wetland</i>	26
3.4 <i>Subsurface flow constructed wetland</i>	28
3.5 Aliran Horizontal pada <i>Constructed Wetland</i>	29
3.6 Aliran Vertical pada <i>Constructed Wetland</i>	30
3.7 <i>Klasifikasi Tumbuhan Air</i>	32
3.8 Instalasi Reaktor	47

“Halaman sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

3.1 Baku Mutu Air Limbah Domestik.....	13
3.2 Kualitas Air Limbah Domestik.....	13
3.3 Baku Mutu Air Limbah Tahu	17
3.4 Kualitas Limbah Cair Industri Tahu	18
3.5 Baku Mutu Air Limbah Industri Tekstile.....	20
3.6 Kualitas Air Limbah Industri Tekstile	21
3.7 Efisiensi Penyisihan Air Limbah.....	42
3.8 Efisiensi penyisihan COD	47
3.9 Efisiensi Penyisihan Parameter COD	48

“Halaman sengaja dikosongkan”

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan material yang membuat kehidupan terjadi di bumi. Tumbuhan dan binatang juga membutuhkan air. Air merupakan senyawa yang sangat penting bagi kehidupan makhluk hidup dan fungsinya tidak dapat digantikan oleh senyawa lainnya. Kuantitas dan kualitas air merupakan faktor penting yang menentukan kesehatan makhluk hidup. Oleh karena itu, pemeliharaan akan kualitas dan kuantitas sangatlah penting demi suatu kelestarian lingkungan yang berkelanjutan.

Dengan berkembangnya kota-kota besar, mengakibatkan meningkatnya kebutuhan akan air bersih dan air baku. Di samping itu, semakin tingginya konsentrasi penduduk dan industri di daerah perkotaan yang membuang langsung air limbah hasil kegiatan ke sungai atau selokan sehingga menimbulkan masalah antara lain timbulnya daerah kumuh di tepi sungai, menurunnya kualitas air sungai dan bencana banjir akibat terganggunya aliran air, baik karena banyaknya sampah, pendangkalan maupun berkurangnya lebar sungai. (Krisnawati *et al.*, 2015).

Menurut Sugiharto (2008) limbah cair domestik adalah air yang dipergunakan dan berasal dari rumah tangga atau permukiman termasuk didalamnya adalah yang berasal dari kamar mandi, tempat cuci, WC, 2001). *Grey water* sendiri merupakan air yang berasal dari buangan cair aktivitas dapur, bekas mandi, cuci mencuci dan lain sejenisnya yang banyak mengandung antara lain nitrat, fosfat, dan zat organik atau parameter COD (*Chemical Oxygen Demand*), dan BOD (*Biological Oxygen Demand*) didalamnya.

Ada banyak industri di Indonesia yang kebanyakan menyatu dengan permukiman penduduk, sehingga muncul permasalahan bagi warga sekitar. Selain itu, sumber penghasil limbah cair terbesar di Indonesia adalah aktivitas rumah tangga (Wirawan *et al.*, 2014). Hal ini dikarenakan jumlah penduduk di Indonesia yang sangat besar. Oleh karena itu volume limbah domestik yang dihasilkan juga besar. Sedangkan salah satu pencemar terbesar badan air adalah air limbah domestik sekitar 60-70%.

Kegiatan industri tahu dan industri batik yang didominasi oleh usaha-usaha skala kecil dengan modal yang terbatas. Semakin meningkatnya jumlah industri, maka limbah cair yang dihasilkan akan semakin besar (Chan, 2012). Namun, kenaikan jumlah industri ini tidak disertai dengan sistem pengolahan limbah yang baik sehingga sebagian besar tidak memiliki unit pengolahan limbah, dimana limbah cair langsung dibuang ke selokan atau badan air tanpa pengolahan terlebih dahulu. Padahal limbah cair tersebut jika dibuang langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu dapat menimbulkan dampak buruk bagi kualitas air dan pada akhirnya akan berimbas ke lingkungan dan masyarakat (Azahra, *et al.*, 2015).

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia tentang baku mutu air limbah domestik, maka baku mutu untuk air limbah adalah BOD 30 mg/L, COD 100 mg/L, TSS 30 mg/L, serta Amoniak 10 mg/L. Karena melebihi baku mutu maka perlu proses pengolahan limbah cair biologis untuk mengolah limbah cair industri dan industri kecil.

Air limbah dengan kandungan material organik tinggi yang di buang ke badan air akan mengambil oksigen terlarut dalam jumlah besar untuk proses dekomposisi. Oleh karena itu, diperlukan pengolahan air limbah sebelum dibuang ke badan air (Suswati, 2014).

Wetland atau lahan basah merupakan salah satu teknologi pengolahan air limbah. Seluruh bagian kehidupan manusia maupun hewan baik secara langsung ataupun tidak terkait dengan keberadaan lahan basah.

Fitoremediasi merupakan pengolahan air limbah dengan menggunakan tumbuhan untuk mereduksi nutrien, sehingga dapat menjadi teknologi yang murah dalam pengolahan limbah. Fitoremediasi menggunakan tanaman hijau termasuk rumput, tanaman berkayu, dan semak mampu menghilangkan polutan seperti logam berat, nutrien, bahan organik, dan radioaktif di dalam tanah dan air. Proses fisika, kimia, dan biologi pada fitoremediasi membantu dalam proses penyerapan, degradasi, dan metabolisme kontaminan, baik oleh tanaman maupun organisme yang hidup bebas di rizhosfer (Herdianti, 2014). Selain itu, dari segi biaya lebih murah dibandingkan dengan bioremediasi (Vangronveld, 2009)

Pada umumnya tumbuhan air yang mampu tumbuh dan beradaptasi dengan cepat pada kondisi lingkungan tercemar merupakan tumbuhan air yang berpotensi digunakan sebagai biofilter penjernih air limbah (Madkar dan Kurniadie, 2003). Hampir semua menggunakan satu jenis tumbuhan saja. Sedangkan tumbuhan yang hidup di alam ada berbagai jenis dengan kemampuan penyisihan yang berbeda (Somtrakoon, 2014). Berdasarkan uraian tersebut diduga penggunaan kombinasi tumbuhan air dapat lebih efektif mengurai bahan organik dalam air limbah dibandingkan menggunakan satu jenis tumbuhan.

Dalam studi literatur ini, penulis akan mengkaji kemampuan efisiensi penyisihan polutan baik menggunakan satu jenis tumbuhan atau lebih. Diharapkan melalui studi literatur ini, dapat memberkan alternatif baru dan bahan pertimbangan dalam merediasi badan air yang tercemar.

1.2 Rumusan Masalah

Kemampuan tumbuhan dalam penyisihan polutan dengan satu jenis tumbuhan dan atau dengan lebih dari satu jenis tumbuhan. Selain itu juga perlu diketahui jenis tumbuhan air yang berpotensi untuk di kombinasikan.

1.3 Tujuan

Tujuan dari studi literatur ini adalah untuk mengkaji kemampuan penyisihan polutan satu jenis tumbuhan maupun dengan kombinasi untuk menurunkan kandungan kadar polutan serta memberikan rekomendasi tumbuhan yang berpotensi untuk dikombinasikan.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari studi literatur ini adalah sebagai berikut:

1. Literatur yang digunakan dalam kajian ini berasal dari jurnal baik dari Indonesia ataupun International, prosiding seminar, peraturan yang telah ada, tugas akhir, tesis, dan disertasi.
2. Contoh studi kasus diambil dari kasus yang ada sehingga dapat diaplikasikan di Indonesia.

1.5 Manfaat

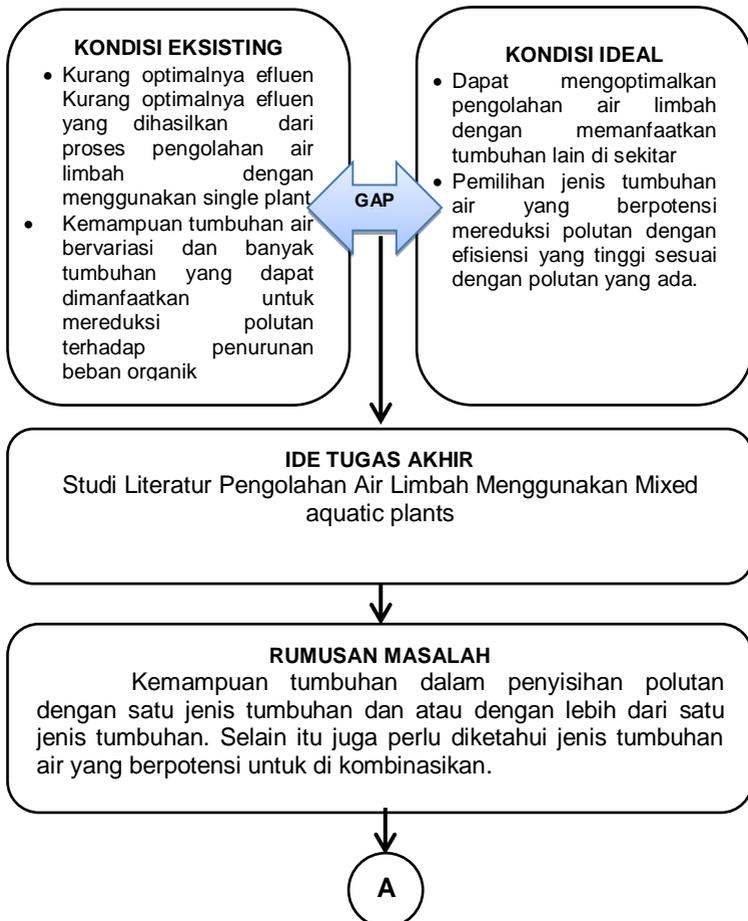
Manfaat dari studi literatur ini adalah sebagai berikut:

1. memberikan informasi tentang jenis tumbuhan air dalam menurunkan kadar polutan organik dalam air limbah serta berpotensi menurunkan pencemar.
2. Memberikan pertimbangan pemilihan *kombinasi* tumbuhan dalam mengolah air limbah dengan metode constructed wetland yang dapat diaplikasikan sesuai dengan kualitas limbah yang dihasilkan.
3. Memberikan nilai estetika terhadap lingkungan sekitar.

BAB 2 METODE STUDI

2.1 Kerangka Studi

Metode studi disusun dalam kerangka studi membahas mengenai dasar-dasar pemikiran untuk mencapai tujuan studi. Tujuan dibuatnya kerangka studi adalah sebagai acuan proses pengambilan jurnal dan artikel, sehingga proses penulisan berjalan sistematis dan terencana. Kerangka studi dapat dilihat pada Gambar 2.1.



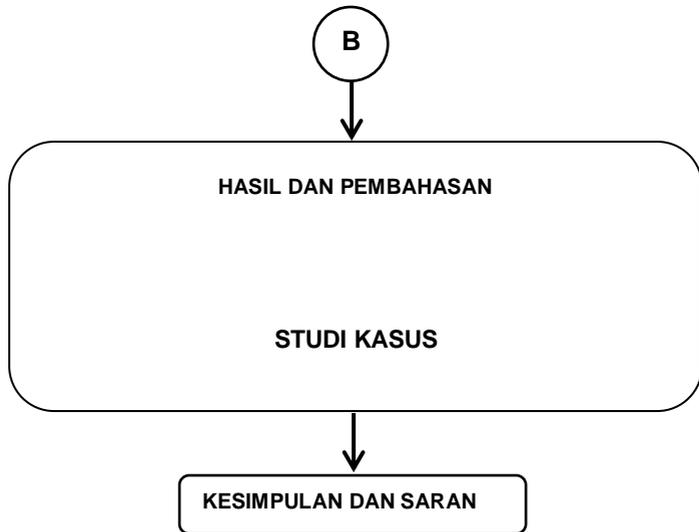
A

Tujuan dari studi literatur ini adalah untuk mengkaji kemampuan penyisihan polutan satu jenis tumbuhan maupun dengan kombinasi untuk menurunkan kandungan kadar polutan serta memberikan rekomendasi tumbuhan yang berpotensi untuk dikombinasikan.

METODE PENGUMPULAN DATA

1. Literatur berupa *text book*, jurnal ilmiah internasional, jurnal ilmiah nasional, prosiding, makalah, tugas akhir, tesis, disertasi, dan karya ilmiah lain yang sesuai dengan topik.
2. Contoh studi kasus diambil dari kasus yang ada sehingga dapat diaplikasikan di Indonesia.

B



Gambar 2.1 Kerangka Studi

2.2 Metode Studi

Metode studi berisi rangkaian langkah-langkah studi yang akan dilaksanakan sampai didapatkan kesimpulan umum. Metode studi dibuat agar pelaksanaan kegiatan studi terarah dan dapat mencapai tujuan yang diinginkan.

2.2.1 Ide Studi

Ide studi dari literatur ini adalah Studi Literatur Pengolahan Air limbah menggunakan *Mixed aquatic plants*. Ide studi didapatkan dengan melakukan *gap analysis* untuk membandingkan kondisi di lapangan dengan permasalahan yang terjadi untuk mencapai kondisi ideal. Ide studi berasal dari masalah akibat perbedaan kondisi keduanya yang signifikan. Kemampuan tumbuhan air yang bervariasi terhadap penurunan pencemar dengan beragam macam polutan di badan air Sehingga pemilihan jenis tumbuhan air yang berpotensi mereduksi polutan pada badan air yang telah tercemar.

2.2.2 Pengumpulan Data

Studi literatur bertujuan untuk mendukung dan meningkatkan pemahaman lebih jelas terhadap ide penelitian. Sumber literatur yang digunakan minimal 100 jurnal dari jurnal internasional maupun jurnal nasional, prosiding seminar nasional dan internasional, tugas akhir, tesis, dan disertasi yang berhubungan dengan topik yang dibahas.

Pengumpulan data berupa data sekunder dari hasil penelitian yang dilakukan dengan seleksi literatur dengan perkembangan literatur yang digunakan adalah 5 tahun terakhir. Jika tidak mencukupi minimal 100 jurnal maka literatur yang digunakan ditambah 10 tahun terakhir.

Jurnal ilmiah didapatkan dari mengakses situs internet *google scholar* (<http://scholar.google.com>), *science direct* (<http://sciencedirect.com>) dan *mendeley* (<https://www.mendeley.com>) dengan cara memasukkan kata kunci yang berkaitan dengan topik pengolahan air limbah dengan fitoteknologi.

2.2.3 Hasil dan Pembahasan

Untuk memudahkan penyusunan tugas akhir ini, diperlukan outline studi literatur. Berikut merupakan outline studi literatur tugas akhir ini:

BAB 1 Pendahuluan

- 1.1 Latar Belakang
- 1.2 Rumusan Masalah
- 1.3 Tujuan Penelitian
- 1.4 Ruang Lingkup
- 1.5 Manfaat

BAB 2 Metode Studi

- 2.1 Kerangka Studi
- 2.2 Metode Studi
 - 2.2.1 Ide Studi
 - 2.2.2 Pengumpulan Data
 - 2.2.3 Hasil dan Pembahasan
 - 2.2.4 Studi Kasus
 - 2.2.5 Kesimpulan dan Saran

BAB 3 Hasil Studi

- 3.1 Karakteristik Air Limbah
- 3.2 Fito Proses
- 3.3 Wetland
- 3.4 Tumbuhan Air
- 3.5 Penyisihan Polutan

BAB 4 Pembahasan Studi Kasus

- 4.1 Gambaran Umum
- 4.2 Karakteristik Air Limbah dan Pembahasan kasus

BAB 5 Kesimpulan dan Saran

- 5.1 Kesimpulan
- 5.2 Saran

2.2.4 Studi Kasus

Studi Kasus yang dibahas pada bab 4 adalah kasus buruknya kualitas perairan Danau Ebony yang terletak di Jakarta Timur. Dari studi kasus kemudian dihubungkan dengan studi literatur penggunaan *mixed aquatic plant* sehingga dapat diketahui penggunaan jenis tumbuhan yang efektif untuk mengolah perairan danau tersebut.

2.2.5 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan didapatkan dari hasil pembahasan. Kesimpulan merupakan jawaban dari tujuan studi literatur. Saran berisi hal-hal yang masih dapat dikerjakan dengan lebih baik dan dapat dikembangkan lebih lanjut.

“Halaman sengaja dikosongkan”

BAB 3

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Air Limbah

3.1.1 Air Limbah Domestik

Air limbah domestik merupakan air limbah yang dihasilkan dari kegiatan rumah tangga seperti mencuci, mandi, memasak, serta buang air. Air limbah domestik sendiri dapat dibedakan menjadi dua, yaitu *grey water* yang berasal dari air bekas mencuci dan kamar mandi, serta *black water* yang merupakan air yang sudah terkena kotoran dan berpotensi mengandung patogen (Mubin, *et al.*, 2016). Itu berarti tidak terdapat pengolahan *grey water* sebelum menuju badan air. Ketika air limbah tidak diolah lebih dulu, maka dapat terjadi pencemaran badan air dan mengganggu kehidupan biota air. Perlu dilakukan upaya agar air limbah yang dibuang tidak melebihi baku mutu yang ditetapkan pemerintah untuk meminimalisir pencemaran yang terjadi pada badan air.

Karakteristik air limbah domestik, baik secara fisik, kimia maupun biologis, adalah sebagai berikut :

a. Karakteristik fisik limbah cair

Karakteristik awal limbah cair yang sangat mudah terlihat adalah karakteristik fisik limbah cair. Penentuan derajat pencemaran air limbah juga sangat mudah terlihat dari karakteristik fisiknya. Salah satu hal yang mempengaruhi karakteristik fisik ini adalah aktivitas penguraian bahan-bahan organik pada air buangan oleh mikroorganisme. Penguraian ini akan menyebabkan kekeruhan. Selain itu, kekeruhan juga dapat terjadi akibat lumpur, tanah liat, zat kolid dan benda-benda terapung yang tidak segera mengendap. Penguraian bahan-bahan organik juga menimbulkan terbentuknya warna. Selain itu, penguraian bahan-bahan organik yang tidak sempurna dan menyebabkannya menjadi busuk dapat menimbulkan bau. Beberapa karakteristik fisik yang penting dalam limbah cair, antara lain warna, bau adanya endapan atau zat tersuspensi dari lumpur limbah dan temperatur (Siregar, 2005).

b. Karakteristik biologis limbah cair

Karakteristik biologis limbah cair biasanya dipengaruhi oleh kandungan mikroorganisme dalam limbah cair tersebut. Karakteristik biologis terdiri dari mikroorganisme yang terdapat di dalam air limbah, seperti bakteri, virus, jamur, ganggang, dan protozoa (Siregar, 2005). Karakteristik biologis ini penting, terutama dalam hubungannya dengan air minum serta untuk keperluan kolam renang. Mikroorganisme yang berperan dalam proses penguraian bahan-bahan organik di dalam limbah cair domestik, antara lain bakteri, jamur, protozoa dan algae. Bakteri adalah mikroorganisme bersel satu yang menggunakan bahan organik dan anorganik sebagai makannya. Bakteri yang memerlukan oksigen untuk mengoksidasi bahan organik disebut bakteri aerob, sedangkan yang tidak memerlukan oksigen disebut bakteri anaerob (Sugiharto, 2008).

c. Karakteristik kimia limbah cair

Berdasarkan karakteristik kimianya, senyawa kimia yang terkandung dalam air limbah terdiri dari tiga golongan, yaitu :

- Senyawa organik, senyawa ini terdiri atas :
Protein = 40% -- 60%
Karbohidrat = 25% -- 50%
Lemak = 10%
- Senyawa anorganik, kelompok senyawa anorganik yang berpengaruh terhadap air limbah adalah nitrogen, fosfat dan sulfat.
- Gas, gas yang paling umum terdapat dalam air limbah adalah gas hidrogen, oksigen, dan nitrogen

Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik disebutkan pada Pasal 1 ayat 2, bahwa baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah domestik yang akan dibuang atau dilepas ke air permukaan. Baku mutu efluen air limbah domestik yang digunakan adalah Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 68 Tahun 2016.

Hal ini karena peraturan tersebut adalah yang terbaru dan berlaku saat ini. Standar baku mutu air limbah yang ditetapkan oleh pemerintah pada Tabel 3.1. Dengan adanya Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan ini, maka air limbah domestik yang akan dibuang menuju badan air harus memenuhi baku mutu agar terjadi upaya pencegahan pencemaran lingkungan.

Tabel 3.1 Baku Mutu Air Limbah Domestik

Nilai Baku Mutu Air Limbah Domestik Volume Maksimal Air Limbah 100L/orang.hari	
Parameter	Konsentrasi Maksimal (mg/L)
BOD	30
COD	100
TSS	30
Minyak dan Lemak	5
pH	6-9
Amoniak	10
Total Coliform	3000/100 mL

Sumber: Permen LHK No. 68 Tahun 2016

Tentu saja kualitas air limbah domestik yang akan dibuang harus diketahui lebih dahulu sehingga diketahui bahwa apakah air limbah domestik dapat langsung dibuang ke dalam badan air ataukah perlu ada upaya pengolahan sebelum air limbah dapat dibuang ke dalam badan air. Karakteristik air limbah domestik yang dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Kualitas Air Limbah Domestik

no	Sumber	Sumber Air Limbah	Parameter	Konsentrasi (mg/L)
1	Setiawati, 2016	Permukiman Kecamatan Simokerto, Surabaya	BOD	494
			COD	799

no	Sumber	Sumber Air Limbah	Parameter	Konsentrasi (mg/L)
2	Afiandi, 2013	Pemukiman Kecamatan Mayangan Probolinggo	BOD	353,43
			TSS	119,25
3	Mubin, 2016	Pemukiman Kelurahan Istiqlal Manado	BOD	300

Pada tabel 3.2 kualitas air limbah domestik di atas, maka dapat diketahui bahwa kualitas air limbah domestik yang ada di beberapa daerah Indonesia lebih besar daripada baku mutu yang berlaku, terutama standar baku mutu yang ditetapkan. Untuk memenuhi standar kualitas yang ada, air limbah domestik *grey water* tidak bisa dibuang secara langsung menuju badan air. Pengolahan harus dilakukan untuk memastikan bahwa kualitas air limbah tidak melampaui standar baku mutu yang ditetapkan pemerintah

3.1.2 Air Limbah Tahu

Tahu merupakan salah satu jenis makanan yang dibuat dari kedelai. Cara membuat tahu dengan jalan memekatkan protein kedelai dan mencetaknya melalui proses pengendapan protein dengan atau tanpa penambahan unsure unsur lain yang diijinkan. Ditinjau dari segi kesehatan, tahu merupakan makanan yang sangat menyehatkan dan memiliki kandungan zat yang sangat diperlukan untuk memperbaiki gizi masyarakat (Suprpti, 2005).

Menurut Mahmud (1990) bahan baku tahu adalah kedelai yang tersusun dari komponen-komponen yang berupa: protein berkisar 40-60%, karbohidrat berkisar 25-50%, lemak berkisar 8-12%, dan sisanya berupa kalsium, besi, fosfor, dan vitamin. Protein merupakan komponen yang dominan di dalam tahu. Protein adalah senyawa organik yang mengandung atom karbon, hidrogen, oksida, dan nitrogen. Suprpti (2005) menyebutkan bahwa berdasarkan Standar Industri Indonesia (SII) No.0270-80 persyaratan standar kualitas tahu adalah mengandung protein

minimal 9%, abu maksimal 1%, serat kasar maksimal 0,1%, tidak mengandung logam berbahaya, bau dan rasa khas tahu, tidak berjamur dan tidak mengandung bakteri Coli.

Dalam Kristanto (2004) dikatakan bahwa, limbah atau polutan adalah sisa atau bahan buangan dari suatu usaha/kegiatan. Jadi limbah industri adalah hasil buangan yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu tidak dikehendaki lingkungan karena tidak memiliki nilai ekonomi. Limbah yang dihasilkan oleh industri tahu ada beberapa jenis, yaitu berupa limbah padat kering, limbah padat basah, dan limbah cair. Limbah padat kering dan padat basah tidak menjadi masalah karena bisa dimanfaatkan. Limbah padat keringnya dapat dimanfaatkan untuk pakan ternak sedangkan limbah padat basahnya dapat dimanfaatkan untuk bahan pembuatan tepung kedelai, bahan pengembang roti, bahan pembuatan tempe gembus, kecap, dan pigmen merah (Jenie, 1995). Limbah cair tahu dalam kondisi baru tidak menimbulkan bau dan baru berbau setelah 12 jam kemudian. Limbah cair tahu masih dapat dimanfaatkan untuk beberapa keperluan misalnya: bahan penggumpal tahu untuk periode berikutnya, bahan minuman ternak, bahan pupuk tanaman, bahan campuran pakan lele, bahan pembuatan nata de soya, asam cuka, dan lahan penanaman eceng gondok (Suprapti, 2005).

Limbah cair tahu berasal dari proses pembuatan, proses penyaringan, proses penekanan, pencucian kedelai, pencucian peralatan, pencucian lantai, dan air bekas rendaman kedelai. Limbah cair tahu mengandung zat padat tersuspensi misalnya potongan tahu yang hancur pada saat pemrosesan karena kurang sempurna pada saat penggumpalan. Limbah cair tahu pada umumnya mengandung kadar protein yang tinggi. Limbah cair industri tahu berupa cairan kental yang terpisah dari gumpalan tahu yang disebut air dadih (Suprapti, 2005; Damayanti, 2004).

Limbah cair tahu mengandung senyawa organik yang tinggi dan sedikit mengandung senyawa anorganik. Pada Gambar 1 dapat dilihat Limbah Cair Tahu. Ketika limbah cair tahu dibuang ke sungai, maka akan terjadi peruraian senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Proses peruraian bahan

organik oleh mikroorganisme aerob memerlukan oksigen dalam jumlah besar untuk memperoleh energi.

Hal ini menyebabkan terjadinya penurunan konsentrasi oksigen terlarut di dalam air. Penurunan yang melewati ambang batas akan mengakibatkan kematian biota air lain akibat kekurangan oksigen. Ketika oksigen terlarut tidak tersedia lagi, peruraian zat organik dilakukan oleh mikroorganisme anaerob yang mengeluarkan gas asam sulfida (H_2S) dan gas metana (CH_4) yang berbau seperti telur busuk. Tingginya konsentrasi zat organik dalam limbah cair tahu termasuk kandungan amoniak akan menyebabkan terjadi penurunan kandungan oksigen dalam air sehingga kebutuhan oksigen biologi dan kebutuhan oksigen kimia dalam perairan tinggi (Khatudin, 2003; Murdjito, 1995).

Khatuddin (2003) menyebutkan beberapa metoda yang sering dipakai untuk mengukur besarnya pencemaran bahan organik terhadap lingkungan air adalah mengukur *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Dissolved Oxygen* (DO). Limbah cair industri tahu mempunyai BOD, COD cukup tinggi dan DO sangat rendah.

Ciri-ciri limbah cair tahu adalah sebagai berikut: limbah cair tahu pada umumnya berada pada kondisi temperatur tinggi. Hal ini disebabkan karena dalam proses pembuatan tahu selalu pada kondisi panas, baik pada saat penggumpalan atau pada saat penyaringan yaitu pada suhu 60–80°C. Pencucian dengan menggunakan air dingin selama proses berjalan tidak mampu menurunkan suhu limbah cair tersebut. Limbah cair tahu berwarna kuning muda dan disertai adanya suspensi berwarna putih (Purnama, 2007; Yulianti, 2001).

Bau busuk pada air buangan industri tahu disebabkan adanya proses pemecahan protein yang mengandung sulfur atau sulfat tinggi oleh mikroba alam. Padatan yang terlarut dan tersuspensi dalam air limbah pabrik tahu menyebabkan air keruh. Zat yang menyebabkan air keruh adalah zat organik atau zat-zat tersuspensi dari tahu atau kedelai yang tercecceh sehingga air limbah berubah menjadi seperti emulsi keruh.

Pengolahan limbah cair tahu dilakukan untuk memenuhi standar air limbah sesuai ketentuan yang dikeluarkan oleh Pemerintah. Oleh karena itu sebelum limbah cair dibuang ke sungai perlu diadakan pengolahan terlebih dahulu. Limbah

industri yang dibuang langsung ke badan air tanpa mengalami pengolahan terlebih dahulu, dapat menimbulkan gangguan kesehatan dan dapat menimbulkan berubahnya tatanan ekosistem air yang dibuktikan dengan matinya organisme air. Oleh karena itu, untuk mengatasi berbagai persoalan tersebut sebelum limbah dibuang ke perairan perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu dengan cara-cara yang efektif sehingga dapat menurunkan daya cemar tersebut baik dengan cara fisika, kimia, atau biologi (Setiadi dan Dewi, 2003).

Pramudyanto (1991) dan Antara (1993) menyebutkan secara umum, limbah cair tahu yang mengandung polutan bahan organik dapat diolah dengan cara: fisika, kimia, atau biologi. Cara fisika biasanya dilakukan pada awal penanganan, misalnya limbah cair tahu pada tahap awal dilakukan penyaringan. Saringan dapat bertahap dari saringan kasar sampai saringan halus, selain itu juga dilakukan pengendapan dengan memperlambat aliran buangan sehingga benda-benda padat dan berat dapat tinggal dalam bak pengendap. Cara kimia adalah penanganan air buangan dengan menggunakan bahan kimia misalnya: netralisasi, penggumpalan, penyerapan, klorinasi, dan ozonisasi. Cara biologi bertujuan untuk menghilangkan bahan organik dengan penguraian hayati, mengubah menjadi gas dan massa. Junaidi (2006) mengatakan bahwa keberhasilan pengolahan limbah secara biologi tergantung dari aktifitas mikroorganisme di dalamnya. Karena itu diperlukan perlakuan khusus yang mampu menjaga keseimbangan pertumbuhan mikroorganisme.

Seluruh proses di atas bertujuan untuk menghilangkan kandungan padatan tersuspensi, koloid dan bahan-bahan organik maupun anorganik. Dalam prakteknya, tidak semua proses itu harus dilakukan. Penentuan jenis proses yang akan diambil sangat tergantung dengan karakteristik limbahnya, serta berbagai faktor lainnya (Siregar, 2005).

Tabel 3.3 Baku Mutu Air Limbah Industri Tahu

Nilai Baku Mutu Limbah Cair Tahu	
Parameter	Konsentrasi Maksimal (mg/L)
BOD5	150

COD	300
TSS	100
NH3	5
Temperatur	40
pH	6-9

Sumber: Pergub Jatim Nomor 72/2013

Karakteristik umum buangan limbah cair industri tahu disajikan dalam Tabel 3.4

Tabel 3.4 Kualitas Limbah Cair Industri Tahu

no	Parameter	nilai (mg/L)
1	BOD5	6000 - 8000
2	COD	7500 - 14000
3	Amonia	80,5 – 82,6
4	Suhu	37-45 C

Sumber: Kaswinarni (2007)

Menurut Capps dalam Romli (2009), jika nilai BOD5/COD < 0,4 maka limbah cair tersebut mudah terdegradasi secara biologi. Dari Tabel 3. menunjukkan rata-rata nilai BOD5/COD limbah cair industri tahu adalah 0,6. Melihat dari karakteristik limbah cairnya, limbah cair tahu dapat dibedakan menjadi 2 jenis :

1. Limbah cair dari proses pencucian dan perendaman kedelai serta pencucian peralatan proses. Limbah cair ini mengandung kotoran kedelai maupun detergen hasil pencucian peralatan proses
2. Limbah cair dari sisa Limbah cair ini memiliki keasaman tinggisehingga disebut kecutan. Cairan ini masih mengandung protein yang cukup tinggi. Kadar padatan tersuspensi dan COD masih cukup tinggi. Pengelompokkan ini bertujuan memudahkan kita dalam

menentukan teknologi pengolahan limbah cair yang tepat guna

3.1.3 Air Limbah Industri Tekstile

Air limbah batik pada umumnya bersifat basa dan memiliki kadar organik yang tinggi akibat sisa proses pembatikan. Proses pencelupan yang dilakukan merupakan penyumbang zat warna yang kuat apabila tidak diberikannya pengolahan yang tepat. Zat warna yang terkandung dalam air limbah batik umumnya sukar untuk terdegradasi dengan baik. Zat warna ini umumnya didesain untuk memiliki tingkatan kimia yang tinggi untuk menahan kerusakan akibat oksidatif yang berasal dari cahaya matahari (Manurung, 2004).

Karakteristik air limbah ini dapat digolongkan menjadi tiga macam, yaitu karakteristik fisik, karakteristik kimia dan biologi (Metcalf & Eddy, 2003)

a) Karakteristik Fisik

Karakteristik fisik air limbah meliputi temperatur, bau, warna, dan padatan. Temperatur menunjukkan derajat atau tingkat panas air limbah yang ditunjukkan kedalam skala. Suhu dapat mempengaruhi kadar *Dissolved Oxygen* (DO) dalam air. Kenaikan temperatur sebesar 10oC dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen sebesar 10% dan akan mempercepat metabolisme 2 kali lipat. Adanya bau yang lain pada air limbah, menunjukkan adanya komponen-komponen lain di dalam air tersebut. Warna biasanya disebabkan oleh adanya materi *dissolved*, *suspended*, dan senyawa-senyawa koloidal, yang dapat dilihat dari spektrum warna yang terjadi. Padatan yang terdapat di dalam air limbah dapat diklasifikasikan menjadi *floating*, *settleable*, *suspended* atau *dissolved*, berbau menyengat, dan kontaminan akan membuat air menjadi keruh. Timbulnya gejala tersebut secara mutlak dapat dipakai sebagai salah satu tanda terjadinya tingkat pencemaran air yang cukup tinggi (Wardhana, 2001).

b) Karakteristik kimia

Karakteristik Kimia, meliputi *Chemical Oxygen Demand* (COD), pH, dan DO. COD merupakan banyaknya oksigen dalam mg/L yang dibutuhkan untuk menguraikan bahan

organik secara kimiawi. Semakin tinggi kadar COD maka semakin buruk kualitas air tersebut. DO merupakan sebuah ukuran banyaknya kandungan oksigen yang terlarut dalam air. Oksigen terlarut ini merupakan hal yang paling penting untuk ikan. DO optimum untuk ikan adalah 5-6 mg/L, sedangkan kadar DO minimum paling tidak adalah 3 mg/L. pH merupakan cara untuk menunjukkan derajat keasaman dalam perairan. Ikan dapat hidup pada kisaran pH 5-9. Ikan akan mati apabila pH dalam air dibawah dari 4 ataupun diatas dari 11.

c) Karakteristik Biologis

Mikroorganisme ditemukan dalam jenis yang sangat bervariasi hampir dalam semua bentuk air limbah, biasanya dengan konsentrasi 105-108 organisme/mL. Keberadaan bakteri dalam unit pengolahan air limbah merupakan kunci efisiensi proses biologis. Bakteri juga berperan penting untuk mengevaluasi kualitas air (Purwaningsih, 2008).

Industri batik menghasilkan limbah cair dengan kandungan organik yang besar, warna yang pekat, berbau menyengat dan memiliki suhu yang tinggi. Nilai keasaman (pH), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS) yang dihasilkan juga tinggi (Kurniawan et al., 2013).

Tabel 3.5 Baku Mutu Air Limbah Industri Tekstil

Nilai Baku Mutu Air Limbah Industri Tekstil	
Parameter	Konsentrasi Maksimal (mg/L)
BOD5	60
COD	150
Warna	50
pH	6-9

Sumber: Pergub Jatim Nomor 72/2013

Tentu saja kualitas limbah cair batik yang akan dibuang harus diketahui lebih dahulu sehingga diketahui bahwa apakah air limbah tersebut dapat langsung dibuang ke dalam badan air

ataukah perlu ada upaya pengolahan sebelum air limbah dapat dibuang ke dalam badan air. Karakteristik air limbah batik di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Kualitas Air Limbah Batik

no	Sumber	Sumber Air Limbah	Parameter	Konsentrasi (mg/L)
1	Octarina, 2015	Sentra Industri Batik, Jetis, Sidoarjo	BOD	261,25
			COD	1066
2	Ningsih, 2017	Sentra Industri Batik, Jetis, Sidoarjo	BOD	2710
			TSS	3855

3.2 Proses Fitoteknologi

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

– *Phytoextraction*

Phytoextraction merupakan mekanisme penyerapan kontaminan dari sumbernya oleh akar tumbuhan dan memindahkannya pada bagian-bagian dalam tumbuhan, yang kemudian dapat dihilangkan dengan cara memanen tumbuhan yang telah menyerap pencemar (*National Risk Management Research Laboratory of U.S. EPA*, 2000). Mekanisme ini dianggap sebagai strategi yang paling efektif namun paling sulit untuk dilakukan yang melibatkan budidaya tumbuhan yang toleran terhadap konsentrasi pencemar pada bagian jaringan tumbuhan di atas tanah (Kraemer, 2005). Jumlah biomassa terkontaminasi ini ketika

diolah akan jauh lebih sedikit daripada ketika melakukan proses pengolahan lain seperti penggalian (*excavation*). Biomassa ini dapat dikeringkan dan dibuang ke dalam *dump site* ataupun diinsinerasi

- *Rhizofiltration*

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

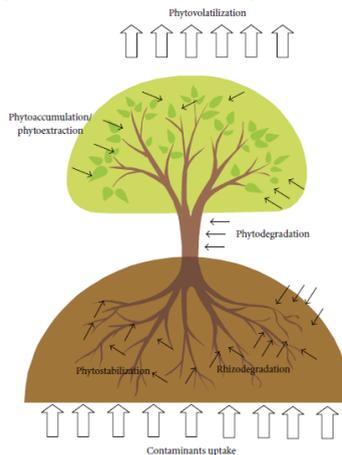
- *Phytostabilization*

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

- *Rhizodegradation*

Rhizodegradation merupakan mekanisme pemecahan kontaminan organik di area sekitar akar melalui aktivitas mikroba, juga dikenal sebagai peningkatan biodegradasi rizosfer (*National Risk Management Research Laboratory of U.S. EPA, 2000*). Akar tumbuhan meningkatkan aerasi pada tanah karena tumbuhan melepaskan oksigen ke dalam rizosfer, sehingga menciptakan degradasi aerobik dan meningkatkan degradasi mikroba di sekitar zona perakaran (*Brix, 1994*). Akar tumbuhan juga mengeluarkan enzim yang dapat meningkatkan populasi maupun aktivitas mikroba di dalam rizosfer, sehingga meningkatkan biodegradasi kontaminan organik.

- *Phytodegradation*
Phytodegradation terjadi ketika tumbuhan menghasilkan enzim yang dapat menjadi katalisator proses degradasi yang terjadi di dalam maupun di luar badan tumbuhan (Materac, *et al.*, 2015). Mekanisme pemecahan kontaminan di dalam tumbuhan ini terjadi akibat adanya proses metabolisme tumbuhan (*National Risk Management Research Laboratory of U.S. EPA, 2000*) sedangkan *rhizodegradation* dengan pelepasan enzim pada zona perakaran merupakan salah satu contoh dari *phytodegradation* tumbuhan yang terjadi di tanah.
- *Phytovolatilization*
Phytovolatilization merupakan mekanisme penyisihan kontaminan melalui penyerapan menuju bagian tumbuhan dan transpirasi yang melepaskan kontaminan dari dalam tumbuhan ke atmosfer (*National Risk Management Research Laboratory of U.S. EPA, 2000*). Tumbuhan akan menyerap kontaminan dari tanah ataupun air, dan setelah proses metabolisme, kemudian akan dilepas dalam bentuk volatil dan dalam bentuk yang kurang beracun dibandingkan sebelumnya (Materac, *et al.*, 2015).



Gambar 3.2 Mekanisme Fitoproses

Sumber: Tangahu *et al.* (2013)

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

3.3 Constructed Wetland

Lahan basah buatan adalah salah satu ekosistem lahan basah yang terbentuk akibat intervensi manusia baik sengaja maupun tidak sengaja. Lahan basah buatan yang pembentukannya disengaja, biasanya difungsikan untuk memenuhi berbagai kepentingan tertentu. Mislanya untuk meningkatkan lahan pertanian, sumber air atau meningkatkan keindahan bentang alam bagi keperluan pariwisata. Sedangkan lahan basah buatan yang pembentukannya tidak sengaja umumnya memiliki tujuan pemanfaatan yang kurang jelas, misalnya genangan air yang terbentuk dilahan-lahan bekas kegiatan tambang. Dalam perkembangannya, lahan basah buatan dapat mengalami suksesi sehingga tampak seperti ekosistem alami (Wibowo, *et al.*, 1996)

Constructed wetlands (CWs) adalah sistem rekayasa yang didesain dan dibangun untuk memanfaatkan proses alami yang meliputi vegetasi *wetland*, tanah, serta kumpulan mikroba terkait di dalam mengolah air limbah (Vymazal, 2010). CWs mendapatkan banyak perhatian karena dianggap layak untuk mengolah air limbah terutama pada daerah terpencil. CWs didefinisikan sebagai teknologi hijau yang ramah lingkungan (Cooper, 2009). CWs telah digunakan di seluruh dunia dan telah menunjukkan performa yang tinggi dan konsisten di dalam menyisihkan pencemar organik seperti BOD, COD, padatan tersuspensi, serta mikroorganisme. (Frazer-Williams, 2010). Efisiensi pengolahan dari CWs sangat bergantung pada keberadaan vegetasi (Sehar, *et al.*, 2015). Tumbuhan menyerap pencemar dari air dan rizosfer menjadi tempat terikatnya mikroorganisme yang memiliki peran dalam pengolahan air. Perbedaan jenis makrofita memiliki efisiensi penyisihan beban

pencemar yang berbeda karena panjang akar serta sistem perakaran yang berbeda-beda. Tumbuhan air sendiri terdiri dari 4 jenis berdasarkan fasa hidupnya mulai dari tumbuhan *free floating*, *floating leaved*, *rooted emergent*, dan *submerged macrophytes* (Brix & Schierup, 1989). Perbedaan dapat terjadi akibat adanya perbedaan hidrologi berdasarkan arah aliran air sehingga setiap jenis CWs bisa jadi membutuhkan tumbuhan air yang berbeda sesuai dengan karakteristik yang sesuai dengan kondisi CWs (Vymazal, 2010). Hampir semua CWs untuk mengolah air limbah menggunakan tumbuhan *emergent*, akan tetapi sistem pengaliran air limbahnya dapat menerapkan hidrolika pengaliran yang berbeda-beda (Vymazal, 2005). Secara umum, CWs dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu *free water surface* dimana air limbah tergenang di atas tanah seperti rawa pada umumnya, dan *subsurface flow* dimana air limbah mengalir di bawah permukaan tanah. Diantara dua kategori ini, aliran *subsurface* diketahui mampu mengurangi bau dari air limbah. *Subsurface CWs* dapat diklasifikasikan lebih jauh lagi berdasarkan arah aliran yang terjadi, yaitu *vertical flow* (VF) dan *horizontal flow* (HF) (Tee, *et al.*, 2012).

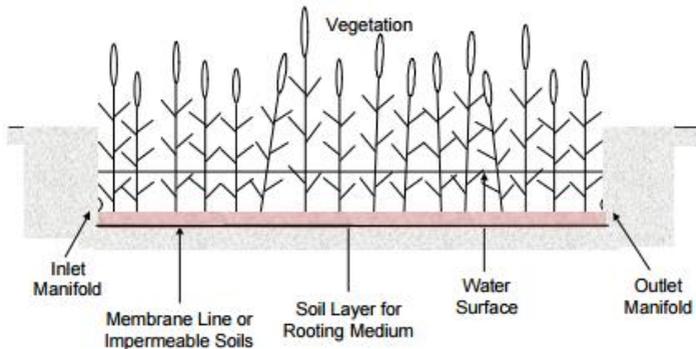
3.3.1 Free Water Surface Constructed Wetland

FWS CWs merupakan lahan basah buatan yang terdiri dari sebuah cekungan atau saluran dengan berbagai jenis sekat untuk mencegah rembesan dan media untuk mendukung akar tumbuhan (*emergent plant*) (Phewnil *et al.*, 2014). FWS CWs disebut juga rawa buatan dengan aliran di atas permukaan tanah. Sistem ini berupa kolam atau saluran-saluran yang dilapisi dengan lapisan *impermeable* dibawah saluran atau kolam yang berfungsi untuk mencegah merembesnya air keluar dari kolam atau saluran. FWS CWs digunakan sebagai *polishing treatment* dari pengolahan air limbah sekunder seperti *lagoon*, *trickling filter*, atau *activated sludge system* (Kadlec dan Wallace, 2009). Tumbuhan yang biasanya digunakan dalam sistem ini adalah *Typha*, *Scirpus*, *Phragmites* (USEPA, 2000; Zhang *et al.*, 2015), *Scirpus lacustris*, *Scirpus fluviatilis*, *Eleocharis sphacelata*, dan *Scirpus validus* (Vymazal, 2011).

Kedalaman air merupakan salah satu faktor kritis dalam sistem FWS *constructed wetland*. Kedalaman air pada sistem ini

relatif dangkal yakni 0,1-0,6m yang mengalir melalui sistem secara horizontal (Phratap *et al.*, 2014). Menurut Li *et al.*(2006), kedalaman sistem FWS *constructed wetland* bervariasi antara 0,2-0,6 m dan padat vegetasi. Menurut Tanaka *et al.*(2011), FWS CW seefektif setidaknya pada kedalaman 0,1 m pada musim kemarau, sedangkan pada musim penghujan adalah <0,45 m. Menurut Zhang *et al.*(2015), kedalaman sistem ini <0,4 m dengan tipikal HLR 0,7 dan 5 cm/hari yang sesuai untuk *wetland* dengan luas area 2-14 ha dengan debit 1000m³/hari. Menurut Vymazal (2010), kedalaman tanah perakaran 0,2-0,3 m dan kedalaman air 0,2-0,4 m dengan pertumbuhan vegetasi tumbuhan mencakup sebagian besar permukaan *wetland* sekitar 50%. Pada FWS CWs, efisiensi removal dapat mencapai lebih dari 70% untuk kandungan BOD, COD, TSS, dan patogen

Keuntungan dari sistem ini adalah memiliki kemampuan dalam menyaring, menyerap partikulat, nutrisi, dan polutan dalam air limbah (Phratap *et al.*, 2014), dan membutuhkan biaya konstruksi rendah. Sistem ini efektif dalam penurunan BOD, COD, dan TSS dengan HRT yang cukup lama. Selain itu sistem ini juga mampu menurunkan kandungan nitrogen dan fosfor dalam air limbah (USEPA, 2000). Sistem FWS dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.3 Freewater surface flow constructed wetland

Sumber: USEPA (2000)

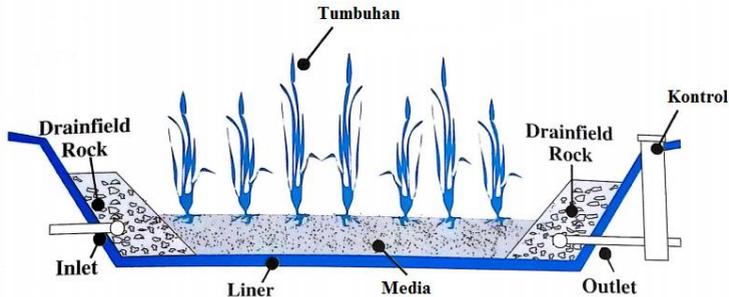
Kekurangan dari sistem FWS adalah umumnya memiliki efisiensi penurunan kontaminan lebih rendah dibandingkan

dengan sistem SSF. Dalam sistem ini, air limbah melewati media, antara batang tumbuhan dan melalui puing-puing permukaan. Sinar matahari yang menembus ke bagian bawah sistem dapat memicu tingkat pertumbuhan alga yang lebih cepat dari reaksi fotosintesis (Li *et al.*, 2006). Selain itu sistem ini membutuhkan lahan yang lebih luas, nyamuk dan vektor serangga dapat menjadi masalah. Oksigen tersedia di permukaan air, mikroba yang hidup di permukaan tumbuhan, dan akar memungkinkan terjadinya aktivitas aerobik. Namun sebagian besar FWS bersifat anoxic atau anaerobik. Sehingga kekurangan oksigen pada sistem ini dapat menghambat proses nitrifikasi. Namun FWS masih efektif dalam penurunan BOD, TSS (USEPA, 2000).

3.3.2 Subsurface Constructed Wetland

Sistem SSF CWs merupakan lahan basah buatan yang terdiri dari sebuah cekungan yang dilapisi material kedap air untuk menghindari kebocoran dimana air limbah mengalir dibawah substrat kasar (media) dan media yang membantu pertumbuhan tumbuhan. Media dalam SSF CWs terdiri dari batu atau kerikil dengan diameter 10-15mm, dan tanah yang berbeda, atau dalam berbagai kombinasi.

Sistem ini secara luas diakui karena kemampuannya dalam penurunan berbagai kontaminan seperti BOD, COD, logam berat, SS, nitrogen, fosfor, dan patogen (L6 *et al.*, 2009; Tanaka *et al.*, 2011). Kedalaman sistem ini tidak lebih dari 0,6 m (Tanaka *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2015). Tipikal kedalaman pada sistem ini dari 0,49 m-0,79 m dengan HLR 2-20 cm/hari yang sesuai untuk *wetland* dengan luas area 0,5-5 ha dengan debit 1000 m³/hari. Tumbuhan yang biasanya digunakan pada sistem ini adalah *Phragmites australis* (Zhang *et al.*, 2015). SSF CWs dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.4 Subsurface flow constructed wetland
 Sumber: Tanaka et al., 2011

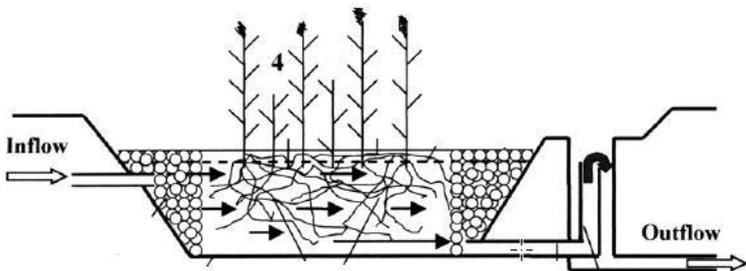
Berdasarkan arah aliran, sistem SSF CWs dibagi menjadi sistem aliran *horizontal subsurface flow constructed wetland* (HSSF CWs) dan *vertical subsurface flow constructed wetland* (VSSF CWs). Saat ini beberapa peneliti sedang mengembangkan sistem lahan basah baru untuk mencapai efisiensi yang lebih tinggi dalam penurunan polutan, misalnya dengan meningkatkan pasang surut aliran atau menggunakan lahan basah dengan sistem pergantian aliran (*flow-shift*) untuk meningkatkan dekomposisi mikroba dari bahan organik. Pemilihan jenis lahan basah yang paling tepat tergantung pada polutan yang ditargetkan, lahan yang tersedia, dan tingkat pemeliharaan dan manajemen (Li et al., 2006).

CWs dengan aliran horizontal merupakan jenis CWs yang sering dibangun, akan tetapi aliran vertikal semakin dikenal luas seiring dengan lebih sedikitnya lahan yang dibutuhkan untuk membangun apabila dibandingkan dengan CWs yang menggunakan aliran horizontal (Vymazal, 2005).

3.3.2.1 Aliran Horizontal

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

al., 2012). HF CWs menerima air limbah secara terus menerus dari satu sisi menuju sisi seberang sehingga menjaga kondisi CWs tetap jenuh dalam air. Karena itulah kemungkinan terjadinya kontak antara air dan udara sangat kecil, dan transfer oksigen yang terbatas mengakibatkan kondisi pada HF CWs dominan anaerobik. HF CWs memiliki performa yang baik dalam menyisihkan pencemar dalam parameter COD, akan tetapi tidak cukup baik untuk menyisihkan nitrogen, yang disebabkan karena sedikitnya oksigen mengakibatkan penurunan proses nitrifikasi, walaupun proses denitrifikasi sangat tinggi. Skema dari HF CWs dapat dilihat pada gambar di bawah ini:

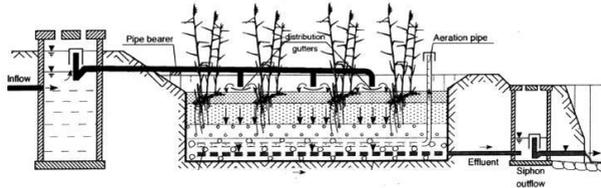


Gambar 3.5 Aliran Horizontal pada *Constructed Wetland*
Sumber: (Vymazal, 2010)

3.3.2.1 Aliran Vertikal

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

daripada HF CWs dan memberikan kondisi yang lebih sesuai terhadap terjadinya proses nitrifikasi.



Gambar 3.6 Aliran Vertikal dari Constructed Wetland

Sumber: (Randerson, 2006)

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

3.4 Makrofit (Tumbuhan Air)

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

besar. Akan tetapi, banyak sekali faktor yang mempengaruhi kinerja makrofita di dalam mengolah air limbah pada *constructed wetland*. Mulai dari jenis *constructed wetland*, kuantitas dan kualitas air limbah, jenis tumbuhan yang digunakan, media tanam, serta manajemen tumbuhan (Shelef, *et al.*, 2013). Vegetasi campuran memiliki efisiensi penyisihan beban pencemar yang lebih baik daripada hanya menggunakan satu jenis tumbuhan saja, akan tetapi karena tidak terdapatnya informasi yang lebih lengkap mengenai mengapa proses ini dapat terjadi, sehingga informasi ini bisa dikatakan masih belum sepenuhnya valid (Shelef, *et al.*, 2013). Selain itu, telah diketahui bahwa akar dari makrofita melepaskan oksigen pada rizosfer. Oksigen yang terlepas pada rizosfer ini sangat penting pada mekanisme *constructed wetland* dengan sistem aliran *subsurface flow* untuk degradasi aerobik dari nitrifikasi serta zat yang memakai oksigen (Brix, 1994).

Spesies *macrophytes* terdiri dari tumbuhan *emergent*, *floating*, dan *submergent*, serta berbagai macam mikroba yang sengaja dibuat untuk pengendalian pencemaran air. *Macrophytes* didalam *constructed wetland* dibagi menjadi empat kelompok, yaitu:

- *Emergent macrophytes*: akar tumbuh pada tanah yang terendam dan memiliki bagian yang menonjol diatas permukaan air sehingga bagian batang, daun, dan bunga terlihat diatas permukaan air. Dapat tumbuh pada kedalaman air 0,5 m atau lebih di atas permukaan substrat. Oksigen ditransfer dari akar kedalam rizosfer untuk degradasi aerobik polutan. Contoh tumbuhan *emergent plants* adalah *Acorus calamus*, *Carex rostrata*, *Sagittaria latifolia*, *Thalia geniculata*, dan yang paling sering digunakan dalam *constructed wetland* adalah *Phragmites australis*, *Scirpus lacustris*, dan *Typha latifolia*.
- *Floating leaved macrophytes*: tumbuhan dengan akar terendam pada tanah di kedalaman 0,5-3,0 m yang mengapung dengan daun berada diatas permukaan air. Tumbuhan yang termasuk jenis *floating leaved plants* seperti, *Nymphaea odorata* dan *Nuphar lutea*.
- *Submerged macrophytes*: tumbuhan yang tumbuh baik didalam air dengan semua jaringan terendam air (dibawah

permukaan air). Tumbuhan jenis ini biasanya digunakan sebagai pengolahan lanjutan dari pengolahan air limbah sekunder. Tumbuhan yang termasuk jenis *submerged plants* seperti, *Myriophyllum spicatum*, *Ceratophyllum demersum*, *Rhodophyceae*, *Egeria densa*, *Vallisneria demersum*, *Cabomba caroliniana*, dan *Stuckenia pectinata*.

- *Freely floating macrophytes*: tumbuhan yang bebas mengapung diatas permukaan air. Tumbuhan yang termasuk jenis *freely floating plants* seperti, rumput bebek (*Lemna minor*), *Spirodela polyrhiza*, apu-apu (*Pistia stratiotes*), dan enceng gondok (*Eichhornia crassipes*).

Tabel 3.7 Klasifikasi Tumbuhan Air

Tumbuhan Air	Klasifikasi	Sumber
Genjer (<i>Limnocharis flava</i>) 	<i>Emergent plant</i>	(IFAS, 2017)
Bunga tasbih (<i>Canna indica</i>) 	<i>Emergent plant</i>	(PFAF, 2017)
Rumput payung (<i>Cyperus alternifolius</i>)	<i>Emergent plant</i>	(Chen et al., 2008)

Tumbuhan Air	Klasifikasi	Sumber
		
<p data-bbox="244 544 555 571">Eceng (<i>Monochoria vaginalis</i>)</p> 	<p data-bbox="678 544 790 596"><i>Emergent plant</i></p>	<p data-bbox="841 544 913 596">(CABI, 2015)</p>
<p data-bbox="244 868 656 920">Enceng gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>)</p> 	<p data-bbox="678 868 813 920"><i>Floating leaved plant</i></p>	<p data-bbox="841 868 913 920">(IFAS, 2017)</p>
<p data-bbox="244 1331 566 1358">Lembang (<i>Typha angustifolia</i>)</p>	<p data-bbox="678 1331 790 1383"><i>Emergent plant</i></p>	<p data-bbox="841 1331 913 1383">(INHS, 2017)</p>

Tumbuhan Air	Klasifikasi	Sumber
		
<p data-bbox="244 568 564 595">Rumput bebek (<i>Lemna minor</i>)</p> 	<p data-bbox="680 568 762 647"><i>Free floating plant</i></p>	<p data-bbox="841 568 941 624">(Zhuang, 2017)</p>
<p data-bbox="244 884 437 911"><i>Scirpus grossus</i></p> 	<p data-bbox="680 884 792 940"><i>Emergent plant</i></p>	<p data-bbox="841 884 972 971">Tangahu, et al., 2013</p>
<p data-bbox="244 1136 423 1163"><i>Iris pseudacorus</i></p>	<p data-bbox="680 1136 792 1192"><i>Emergent plant</i></p>	

Tumbuhan Air	Klasifikasi	Sumber
		

3.4.1 Kerapatan Tumbuhan

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

3.4.2 Pola Pengaliran

a) *Intermittent*

Pengoperasian pemaparan secara *intermittent* pada hakikatnya adalah pemberian air dengan rotasi terputus-putus.

Pengoperasian secara *intermittent* berarti memberi jeda waktu kering pada reaktor tanpa pemberian air limbah dalam masa operasi. Prinsip pemaparan secara *Intermittent* adalah pemberian limbah sampai tinggi genangan yang diinginkan dengan waktu pemberian limbah yang telah ditentukan. Setelah itu pemberian limbah dihentikan sampai genangan di reaktor habis. Setelah genangan habis reaktor diairi kembali (Taufik, 2013). Berdasarkan Poach dan Hunt (2007), Pemaparan secara *intermittent* ini dengan menerapkan siklus *flooding and drying*. Sistem ini mampu meningkatkan penyisihan COD dan nitrogen dibandingkan dengan pengoperasian secara kontinyu. Walaupun pemaparan secara *intermittent* tidak mampu meningkatkan penyisihan fosfor (Tanner *et al.*, 1999). Sistem pemaparan ini mampu meningkatkan DO dalam media secara signifikan (Kadlec dan Wallace, 2009).

Siklus *flooding* adalah disaat kondisi tumbuhan terpapar oleh limbah, sedangkan siklus *drying* adalah disaat tumbuhan tidak terpapar oleh limbah (Jia *et al.*, 2010). Siklus *flooding* dilakukan dengan reaktor diberi air limbah, kemudian air ditahan dalam reaktor selama variasi periode *flooding*. Siklus *drying* dilakukan dengan mengeluarkan air dalam reaktor melalui *outlet*. Reaktor kemudian dibiarkan kosong dari air limbah selama variasi periode *drying* (April dan Mangkoedihardjo, 2010). Proses aerasi alami akan terjadi pada sistem pemaparan secara *intermittent* melalui siklus *flood and drain* ini. Aerasi pada media dapat menambah kondisi redoks sehingga dapat menambah efisiensi penyisihan (Chazarenc *et al.*, 2009). Aerasi dapat menambah aktivitas biologis dan menstimulasi mekanisme nitrifikasi denitrifikasi. Kondisi pemaparan secara *intermittent* memungkinkan udara untuk mengisi pori-pori substrat, sehingga transfer oksigen dari atmosfer ke sistem berlangsung lebih cepat (Prochaska dan Zouboulis, 2006). Difusi oksigen akan berlangsung sangat cepat dan masuk ke dalam akar maupun *biofilm* yang terbentuk (Behrends *et al.*, 2000). Pemaparan secara *intermittent* ini juga merupakan solusi terhadap *clogging* pada media yang biasanya terjadi bila reaktor telah cukup lama beroperasi (Lee, 2008). Keadaan ini membantu proses dekomposisi kontaminan secara aerobik (Kadlec dan Wallace, 2009).

Berdasarkan penelitian Zhang *et al.* (2005), tingkat penurunan nitrogen lebih baik secara *intermittent* sebesar 91% daripada secara kontinyu hanya 77,7%. Sistem ini tidak memiliki efek yang buruk terhadap pertumbuhan tumbuhan, bahkan sistem *intermittent* mampu meningkatkan konsentrasi oksigen dalam substrat dan bermanfaat untuk pertumbuhan akar (Jia *et al.*, 2010)

b) Batch dan Kontinyu

Sistem *batch* pada dasarnya memiliki pola kerja yang sederhana. Pada sistem ini dibiarkan tergenang pada perlakuan. Dengan asumsi selama waktu genang tersebut limbah berinteraksi dengan media dan tumbuhan. Pada sistem *batch*, diperhitungkan besarnya penambahan limbah kedalam sistem. Penambahan ini dipengaruhi kondisi lingkungan perlakuan seperti suhu dan kelembapan. Suhu dan kelembapan membuat sistem berinteraksi dengan limbah yang kemudian dievapotranspirasikan ke lingkungan. Sedangkan perlakuan pada sistem pengaliran kontinyu juga mengamati perubahan volume. Namun untuk sistem ini pengamatan dilihat dari banyaknya polutan yang berkurang pada *wetland* untuk mencapai volume awal. (Suharto *et al.*, 2011).

Pengaliran secara *batch* kaitannya dengan peningkatan penurunan dibandingkan dengan sistem kontinyu memiliki tingkat penurunan yang hampir sama untuk parameter COD lebih tinggi dibandingkan sistem kontinyu yakni 89,6-95,8% untuk sistem *batch* dan 87,7-95,9% untuk sistem kontinyu (Saeed dan Sun, 2012). Zhang *et al.*(2012) juga menunjukkan bahwa penurunan COD baik secara *batch* dan kontinyu menunjukkan besar penurunan yang hampir sama dan terjadi secara signifikan dengan HRT 4 hari. Umumnya sistem SSF digunakan untuk waktu yang kontinyu menggunakan aliran horizontal (HSSF CWs) dengan masalah yang dapat terjadi pada sistem ini adalah *clogging* (Suswati, 2013). Sistem HSSF juga terbukti sangat baik terhadap penurunan kandungan organik. Tingginya tingkat removal COD dengan sistem *batch*, disebabkan karena aliran tak jenuh didalam sistem ini yang memungkinkan oksigen untuk melewati matriks selama periode pengolahan yang kemudian

dapat digunakan oleh mikroorganisme dan meningkatkan hasil mineralisasi bahan organik (Kengne *et al.*, 2014).

3.4.3 Mekanisme Kombinasi antara Mikroorganisme dan Tumbuhan

Degradasi senyawa kimia oleh bakteri di lingkungan merupakan proses penting untuk mengurangi kadar bahan pencemar di lingkungan. Proses degradasi oleh bakteri melalui suatu seri reaksi kimia yang kompleks dalam berbagai proses oksidasi. Aktivitas bakteri rizosfir berlangsung secara dinamis di sekitar sistem perakaran tumbuhan. Ini disebabkan oleh adanya molekul organik yang dikeluarkan oleh tumbuhan seperti gula dan asam organik dimanfaatkan oleh bakteri rizosfir. Di sisi lain bakteri merupakan komponen penting dalam menjaga kesehatan tumbuhan (Munir, 2006).

Prinsip kerja sistem yang dilakukan adalah dengan memanfaatkan simbiosis antara tumbuhan dengan mikroorganisme dalam media di sekitar sistem perakaran (*Rhizosphere*) tumbuhan tersebut. Mikroorganisme perombak bahan organik merupakan *activator* biologis yang tumbuh alami. Bahan organik yang terdapat dalam air limbah akan dirombak oleh mikroorganisme menjadi senyawa lebih sederhana dan akan dimanfaatkan oleh tumbuhan sebagai nutrient, sedangkan sistem perakaran tumbuhan air akan menghasilkan oksigen yang dapat digunakan sebagai sumber energi/katalis untuk rangkaian proses metabolisme bagi kehidupan mikroorganisme.

Polutan yang diuraikan oleh mikroba dalam tanah, yang diperkuat/sinergis oleh ragi, fungi, dan zat-zat keluaran akar tumbuhan (eksudat) yaitu gula, alkohol, asam. Eksudat itu merupakan makanan mikroba yang menguraikan polutan maupun biota tanah lainnya. Proses ini tepat untuk dekontaminasi zat organik (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010).

Setiap jenis tumbuhan akan memiliki kemampuan yang berbeda-beda untuk menghasilkan oksigen, sehingga kondisi aerob pada daerah *rhizosphere* untuk tiap-tiap jenis tumbuhan akan menjadi faktor pembatas terhadap kehidupan mikroorganisme. Bagi jenis bakteri aerob, konsentrasi oksigen merupakan faktor pembatas, sehingga suasana aerob pada daerah *rhizosphere* tersebut yang menyebabkan mikroorganisme

yang dapat bersimbiosis dengan masing-masing jenis tumbuhan akan spesifik (Supradata, 2005).

3.5 Peysisihan Pencemar Organik oleh Tumbuhan Air

Beberapa jenis tanaman memiliki kemampuan untuk bertahan dari konsentrasi senyawa organik dan anorganik yang tinggi tanpa pengaruh sifat toksik, juga dapat mengubah dan mendegradasi senyawa organik atau senyawa anorganik yang bersifat toksik menjadi senyawa yang sifat toksiknya lebih rendah. Penyisihan pencemar yang akan di bahas lebih lanjut dalam penggunaan single plants maupun mixed plants. Dari analisa pembahasan tersebut, dapat direkomendasikan dan digunakan untuk memulihkan badan air yang telah tercemar.

BOD atau *Biochemical Oxygen Demand* adalah suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik (Metcalf & Eddy, 1991). BOD menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroba untuk memecah atau mengoksidasi bahan-bahan pencemar yang terdapat di dalam suatu perairan (Efendi, 2003).

Pengaruh tanaman terhadap nilai BOD adalah bahwa tanaman air mampu menurunkan nilai BOD, yang berarti mampu menurunkan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba untuk mengoksidasi zat organik di dalam air limbah. Terjadinya penurunan kebutuhan oksigen biologi ini dikarenakan tanaman air mampu meningkatkan oksigen terlarut dalam air dari pelepasan oksigen melalui akar dan daun tanaman yang dihasilkan dari proses fotosintesis tanaman tersebut. Moorhead & Reddy (1988) mengatakan bahwa pelepasan oksigen dari hasil fotosintesis tanaman melalui perakaran merupakan sumber utama oksigen dalam badan air.

Nilai BOD dipengaruhi juga oleh adanya tanaman yang menutupi permukaan air limbah. Keberadaan tanaman tersebut dapat menyerap zat organik yang terdapat dalam air limbah. Semakin banyak tanaman, maka semakin banyak bahan organik yang terserap dan bahan organik yang harus didegradasi oleh mikroorganisme semakin sedikit. Semakin sedikit bahan organik yang harus didegradasi oleh mikrobia, maka kandungan oksigen

dalam air limbah semakin tinggi. Oksigen terlarut dalam air limbah juga semakin banyak karena adanya suplai oksigen dari hasil fotosintesis tanaman. Jadi semakin banyak tanaman, maka nilai BOD semakin kecil yang berarti semakin baik kualitas air limbah tersebut (Suriawira; 1996).

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

Nitrogen (N) merupakan unsur yang terdiri dari beberapa bentuk terlarut dan terikat. Nitrogen terlarut berupa organik N terlarut, $\text{NH}_4\text{-N}$ (amonium), $\text{NO}_3\text{-N}$ (Nitrat), dan $\text{NO}_2\text{-N}$ (Nitrit). Sementara itu, nitrogen terikat dengan endapan sebagai $\text{NH}_4\text{-N}$ atau organik-N yang dapat mengalami pertukaran. Daur nitrogen sangat dinamis dan kompleks, terutama pada proses mikrobiologi untuk terjadinya mineralisasi, fiksasi, dan denitrifikasi nitrogen dalam tanah. Pada umumnya, di tanah yang tidak tergenang air, nitrogen tanah (sebagai protein pada tumbuhan) dan nitrogen dalam pupuk secara mikrobiologi bertransformasi menjadi NH_4 melalui proses amonifikasi. Ion amonium dioksidasi oleh dua jenis bakteri (*Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*) menjadi NO_3 dengan NO_2 yang tidak stabil sebagai *intermediate product*. Urea mudah terhidrolisis menjadi amonium. Daur nitrogen sebagian besar dikendalikan oleh bakteri sehingga daur nitrogen dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kelembaban tanah, temperatur, pH, dan sebagainya (FAO, 1996)

Amonia-nitrogen merupakan sejumlah nitrogen yang hadir dalam bentuk amonia (NH_3) atau ion amonia (NH_4^+). Amonia terbentuk dari proses amonifikasi atau mineralisasi, yaitu proses transformasi biologis dari nitrogen organik menjadi amonia ($\text{NH}_4\text{-N}$) yang menjadi proses pertama dari mineralisasi nitrogen organik. Protein dan senyawa organik nitrogen lain terdekomposisi menjadi molekul organik yang sederhana, seperti asam amino yang terdekomposisi menjadi amonia (Kurniadie, 2011). Dalam pH netral, 99% dari amonia menjadi NH_4^+ , dimana konsentrasi NH_3 naik pada $\text{pH} > 9$. $\text{NH}_4 + \text{OH}^- \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ Maka dari itu, toksisitas amonia biasanya menjadi penting dalam proses fotosintesis cepat alga, dimana menimbulkan pH yang tinggi.

Fosfat adalah sebuah ion poliatomik atau radikal yang terdiri dari satu atom fosforus (P) dan empat oksigen (O). Dalam bentuk ionik, fosfat membawa muatan -3 sehingga dinotasikan menjadi PO_4^{3-} . Fosfat terdapat dalam tiga bentuk, yaitu H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , dan PO_4^{3-} . Fosfat umumnya diserap oleh tanaman dalam bentuk ion ortofosfat primer H_2PO_4^- dan ortofosfat sekunder HPO_4^{2-} . Bentuk fosfat yang paling dominan dalam tanah tergantung pH tanah (Engelstad, 1997). Pada pH lebih rendah, tanaman lebih banyak menyerap ion ortofosfat primer dan pada pH yang lebih tinggi ion ortofosfat sekunder yang lebih banyak diserap oleh tanaman (Hanafiah, 2005). Unsur fosfor (P) dalam fosfat sangat berguna bagi tumbuhan. Unsur ini berfungsi untuk merangsang pertumbuhan akar terutama pada awal pertumbuhan, serta mempercepat pembungaan dan pemasakan biji dan buah (Ali, 2011). Fosfor juga memiliki peran penting dalam setiap proses tumbuhan yang melibatkan perpindahan energi. Fosfat berenergi tinggi, sebagai bagian dari struktur kimia adenosin difosfat (ADP) dan ATP yang merupakan sumber energi yang digunakan oleh berbagai reaksi kimia di dalam tumbuhan. Total konsentrasi fosfor pada tumbuhan memiliki variasi antara 0,1-0,5% (Sultenfuss dan Doyle, 1999). Dalam vegetasi tumbuhan, fosfat dapat tersimpan dalam jangka waktu pendek maupun panjang. Hal ini tergantung pada jenis vegetasi, laju dekomposisi pencemar, lepasnya fosfat dari jaringan yang rusak, dan translokasi fosfat. Fosfat yang telah diserap tumbuhan, dapat terlepas kembali ke alam ketika tumbuhan mengalami kematian melalui proses dekomposisi (USDA, 2010)

Pada penelitian Umi Kulsum, et al (2014), terjadi penurunan nilai BOD air limbah setelah diperlakukan dengan tanaman air. Penurunan nilai BOD terbesar terjadi pada perlakuan limbah yang ditanami oleh Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) nilai penurunan BOD di masing-masing perlakuan lebih besar dari dua agen fitoremediasi yang lain. Nilai BOD terkecil yaitu pada perlakuan limbah dengan konsentersasi 25% yaitu sebesar 9,15 mg/l, artinya terjadi penurunan sebesar 172,48 mg/l. Akan tetapi, hasil menunjukkan pada perlakuan limbah dengan konsentersasi 100% pun sudah dapat mem-perbaiki kualitas limbah dengan

adanya perubahan nilai BOD dari 224 mg/l menjadi 51,52 mg/l yang menunjukkan nilai BOD akhir telah dibawah baku mutu lingkungan.

Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) memiliki efektivitas terbaik dalam menurunkan nilai BOD, hal tersebut dikarenakan Eceng gondok adalah tumbuhan air mengapung yang memiliki kecepatan fotosintesis yang tinggi. Menurut Wolverton and McDonald (1976), Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) memiliki kemampuan menurunkan nilai BOD pada air yang tercemar.

Menurut Mahida (1981) nilai BOD akan semakin tinggi jika derajat pengotoran limbah semakin besar Penurunan nilai BOD pada perlakuan agen fito-remediasi yang efektif berikutnya adalah limbah yang diremediasi oleh tanaman Hydrilla (*Hydrilla verticillata*) pada konsentersasi 25% yaitu sebesar 164,25 mg/l, dimana terjadi perubahan nilai BOD dari 224 mg/l menjadi 11,59 mg/l . Hal serupa juga terjadi pada perlakuan limbah yang ditanami agen fitoremediasi berupa hydrilla ini, dimana pada konsentersasi limbah 100% terjadi penurunan BOD yang nilai nya telah dibawah baku mutu lingkungan, yaitu menjadi 60,48 mg/l. Untuk perlakuan dengan agen fitoremediasi Rumput payung (*Cyperus alternifolius*), penurunan nilai BOD juga terjadi pada konsentersasi limbah 25%, dimana nilai BOD setelah perlakuan adalah 14,03 mg/l yang berarti terjadi penurunan BOD sebesar 156,80 mg/l . Dan sama dengan dua perla-kuan agen fitoremediasi yang lain, pada konsentersasi 100% perlakuan dengan menggunakan rumput payung ini juga sudah efektif menurunkan nilai BOD, dimana terjadi penurunan nilai BOD dari 224 mg/l menjadi 67,20 mg/l yang menunjukkan sudah berada dibawah baku mutu.

tanaman air jenis *Cattail* memiliki efektivitas/kinerja yang tidak jauh berbeda dengan jenis tanaman yang telah umum digunakan dalam *SSF Wetlands*. Tetapi penurunan kadar BOD, COD dan TSS terhadap variasi waktu penanaman dapat menurunkan kadar BOD, COD dan TSS , akan tetapi hasil tersebut masih belum layak untuk dibuang keperairan sehingga masih dibutuhkan suatu perlakuan lebih lajut untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Menurut penelitian Azmi (2016) bahwa

semakin lama waktu kontak antara tanaman dengan limbah maka semakin tinggi efisiensi penyisihan parameter pencemar tersebut.

Scirpus grossus banyak ditemukan di rawa-rawa atau di lahan basah (Barnes dan Chan, 1990) namun dapat pula ditemukan di daerah tanah kering yang subur dengan sirkulasi yang baik. Kemampuan dalam menurunkan kadar BOD dan COD yang terdapat pada limbah cair mencapai lebih dari 90% (Yasril, 2009). *Typha angustifolia* merupakan tumbuhan yang banyak ditemukan di lahan basah alami di Indonesia. Tumbuhan ini memiliki daya tahan yang cukup kuat sehingga tidak mudah mati. Akarnya memungkinkan untuk menyerap beban pencemar dan unsur hara dengan jumlah yang relatif besar karena berupa serabut yang sangat lebat (Hidayah dan Aditya, 2011). Dalam penelitian yang dilakukan Abdulgani, Izzati, dan Sudarno (2014), dengan tumbuhan *Typha angustifolia* memiliki efisiensi penurunan amoniak nitrogen, yaitu 76,07-87,52%.

Tumbuhan *Iris pseudacorus* memiliki kapasitas serapan hara lebih tinggi (Suswati, 2012). Tumbuhan tersebut dapat hidup pada area-area yang memiliki kandungan zat organik terlarut yang sangat tinggi dan tumbuhan ini dapat menurunkan zat organik terlarut hingga 25% (Jacobs *et al.*, 2010).

Tumbuhan Iris dapat tumbuh di berbagai jenis tanah misalnya pada tanah berkerikil di pantai dimana akar-akar menembus ke dasar tanah, hingga pada tanah liat yang tergenang. Umumnya tumbuhan tersebut tumbuh di daerah-daerah yang memiliki kandungan air tanah yang cukup tinggi, tetapi tidak harus terendam, serta dapat tumbuh pada tanah berpasir yang kering. Tumbuhan ini sering ditemukan di rawa-rawa, dengan pH 3,6 – 7,7 (Jacobs *et al.*, 2010).

Pada penelitian Septiawan (2014), mampu menurunkan BOD, COD dan TSS dengan sistem *subsurface wetland* mampu menurunkan kadar dengan prosentase BOD 30,3%, COD 20%, dan TSS 17,9%. Ditinjau dari pola aliran air limbah terlihat bahwa aliran air limbah yang masuk secara horizontal kedalam lahan basah ternyata lebih efektif menurunkan kadar pencemaran (COD, BOD dan TSS) daripadayang mengalir secara vertikal kebawah. Sistem horizontal *subsurface wetland* (aliran dari bawah) lebih efektif untuk proses berlangsungnya degradasi secara simultancantara kondisi aerobik dan anaerobik. Dengan

demikian proses biodegradasi lebih besar daripada sistem aliran dari atas (*vertical surface wetland*) yang kontak awal berlangsungnya degradasi dalam kondisi aerobik, sehingga proses biodegradasi hanya terbatas pada senyawa organik sederhana saja (Supradata, 2005)

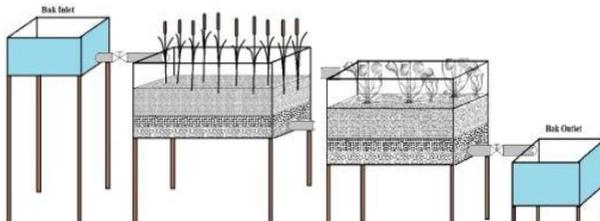
Tabel 3.7 Efisiensi Penyisihan Air Limbah

Sumber	Sumber Limbah	Spesies Tumbuhan	Efisiensi Pengolahan
Wirawan <i>et al.</i> (2014)	Domestik	Kayu Apu (<i>Pistia stratiotes L.</i>)	BOD= 45,35% COD= 65% TSS=19,99%
Sharma, et al (2014)	Domestik	<i>Canna indica</i>	COD= 40%
Fauzi (2016)	Domestik	Bintang Air (<i>Cyperus alternifolius</i>) dan Cattail (<i>Typha angustifolia</i>)	BOD= 3,66 mg/L 86,93% COD= 5,712 mg/L 94,28%
Kulsum, et al (2014)	Domestik	Enceng Gondok	BOD= 51,52 COD= 84,49
		<i>Hydrilla</i>	BOD= 60,48 COD=99,18
		Rumput Payung	BOD=67,2 COD=102,89
Septiawan (2004)	Limbah cair tahu	Cattail (<i>Typha angustifolia</i>)	BOD= 78 % COD= 77,3 % TSS= 78 % Penurunan terjadi pada hari ke 20 dengan SSF
Isyana (2013)	Limbah cair tahu	<i>Egeria densa</i>	BOD= 81% COD= 82%

Sumber	Sumber Limbah	Spesies Tumbuhan	Efisiensi Pengolahan
Sungkowo (2015)	Limbah cair tahu	<i>Eceng gondok</i> dan <i>Typha latifolia</i>	COD= 80,33 %
Azmi (2016)	Limbah cair tahu	<i>Typha latifolia</i>	COD = 200 mg/L TSS= 153 mg/L Waktu detensi hari ke-3
Jinadasa <i>et al.</i> , (2006)	Air limbah domestik	<i>Scirpus grossus</i>	BOD 69%
Prawira, (2015)	Air limbah domestik	<i>Iris pseudacor</i>	Penurunan BOD 86.2 % □ Penurunan COD 87.8 %
Keffala dan Ghrabi (2005)	Air limbah domestik	<i>Typha latifolia</i>	Amonium 19%
Jinadasa <i>et al.</i> (2008)	Air limbah domestik	<i>Scirpus grossus</i>	Fosfor 11,20%
		<i>Typha angustifolia</i>	Fosfor 9,10%
Arivoli dan Mohanraj (2013)	Air limbah domestik	<i>Typha angustifolia</i>	Fosfat 83,51%

3.5.1 *Typha latifolia* dan *Eceng Gondok*

Pada penelitian Sungkowo (2015), digunakan 2 jenis tumbuhan, *Typha latifolia* dan *Eceng gondok* untuk mengetahui efisiensi penyisihan parameter pencemar COD dengan penanaman secara single dan campuran. Reaktor yang digunakan berbeda untuk satu jenis tumbuhan dengan variasi jumlah tumbuhan dan dialirkan melalui reaktor tumbuhan *Typha latifolia*. Metode yang digunakan adalah menggunakan dua buah reaktor dengan masing-masing reaktor diberi jenis tumbuhan berbeda dengan satu aliran yang sama. Berikut instalasi reaktor yang digunakan.



Gambar 3.8 Instalasi Reaktor

Kualitas awal limbah cair Industri Tahu tersebut adalah 2640 mg/L untuk parameter COD, sedangkan untuk baku mutu yang layak untuk dibuang sekitar 300 mg/L.

Tabel 3.8 Efisiensi penyisihan COD dengan Perlakuan Berat Tanaman

I (0,5 kg)		II (1 kg)		III (1,5 kg)	
Konsentrasi Mg/L	Efisiensi (%)	Konsentrasi Mg/L	Efisiensi (%)	Konsentrasi Mg/L	Efisiensi (%)
360	82,69	240	88,89	200	92,42

Yang membedakan dari perlakuan diatas adalah dengan menggunakan berat eceng gondok yang berbeda. Dapat diketahui dari tabel 3.8 bahwa dari semua perlakuan, kombinasi tanaman dengan penggunaan eceng gondok yang lebih banyak merupakan kombinasi terbaik dengan tingkat penyerapan yang tinggi.

Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh efek kombinasi telah mampu meningkatkan penurunan konsentrasi COD pada air limbah tahu. dikarenakan proses fotosintesis tanaman yang menghasilkan suplai oksigen yang cukup bagi mikroorganisme, *rhizosphere* untuk mendegradasi limbah menjadi lebih efektif. Dengan semakin berat tanaman sehingga jumlah lebih banyak akan memberikan kontribusi terjadinya fotosintesis.

3.5.2 *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus*

Pada penelitian Ningsih (2017), menggunakan limbah cair batik dengan menggunakan tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus* untuk mengetahui efisiensi penyisihan parameter pencemar BOD COD dengan penanaman secara single dan campuran.

Tabel 3.9 Efisiensi Penyisihan Parameter COD

Jenis Tumbuhan	Efisiensi Penyisihan (%)
<i>Scirpus grossus</i>	82
<i>Iris pseudacorus</i>	83
<i>Scirpus grossus</i> dan <i>Iris pseudacorus</i>	89

Nilai removal tertinggi dimiliki oleh reaktor *mixed plant*. Hal ini disebabkan karena terjadinya hubungan sinergi antar spesies tumbuhan dalam menurunkan zat organik dalam reaktor *phytotreatment*, sehingga menyebabkan konsentrasi COD mengalami penurunan. Hubungan sinergi antar tumbuhan ini ditunjukkan pada kenaikan berat kering pada masing-masing tumbuhan. Kenaikan nilai removal COD semakin hari semakin meningkat. Hal ini terjadi karena proses degradasi akan mulai

efektif ketika mikroorganismenya di dalam zona akar sudah mulai tumbuh dalam jumlah yang banyak. Kenaikan removal pada reaktor tumbuhan terjadi karena penguraian bahan organik oleh mikroorganismenya pada akar tumbuhan kemudian dimanfaatkan tumbuhan untuk fotosintesis. Fotosintesis merupakan proses perubahan bahan-bahan anorganik seperti CO₂ dan H₂O oleh klorofil diubah menjadi karbohidrat atas bantuan sinar matahari. Prinsip kerja sistem yang dilakukan adalah dengan memanfaatkan simbiosis antara tumbuhan dengan mikroorganismenya dalam media di sekitar sistem perakaran (*Rhizosphere*) tumbuhan tersebut. Tumbuhan mempunyai peranan dalam proses pembersihan limbah karena akar tumbuhan merupakan tempat melekatnya bakteri (Khatuddin, 2003). Mikroorganismenya perombak bahan organik merupakan aktivator biologis yang tumbuh alami. Bahan organik yang terdapat dalam air limbah akan dirombak oleh mikroorganismenya menjadi senyawa lebih sederhana dan akan dimanfaatkan oleh tumbuhan sebagai nutrisi, sedangkan sistem perakaran tumbuhan akan menghasilkan oksigen yang dapat digunakan sebagai sumber energi/katalis untuk rangkaian proses metabolisme bagi kehidupan mikroorganismenya

Tabel 3.10 Efisiensi Penyisihan Parameter bOD

Jenis Tumbuhan	Efisiensi Penyisihan (%)
<i>Scirpus grossus</i>	90
<i>Iris pseudacorus</i>	95
<i>Scirpus grossus</i> dan <i>Iris pseudacorus</i>	97

Kenaikan removal terjadi pada hampir pada setiap reaktor. Hal ini menunjukkan tumbuhan uji mempunyai peran yang baik dalam mendukung laju penyerapan unsur hara yang ada. Sehingga semakin tinggi aktivitas fotosintesis akan berakibat semakin tinggi pula oksigen terlarut yang dihasilkan yang akan memicu kinerja mikroorganismenya dalam meremovasi senyawa organik yang ada. Beberapa hal yang dapat menjelaskan terjadinya penurunan berbagai parameter uji menurut Tangahu

dan Warmadewanthi (2001), adalah karena adanya mekanisme aktivitas mikroorganisme dan tumbuhan, proses oksidasi oleh bakteri aerob yang tumbuh disekitar *rhizosphere* tumbuhan maupun kehadiran bakteri heterotrof di dalam air limbah mampu menurunkan konsentrasi bahan organik dalam sistem tersebut

3.5.3 *Thalia geniculata* dan *Crassipes Eichhornia*

Pada penelitian Yovo *et al* (2017), menggunakan limbah domestik dengan menggunakan tumbuhan *Thalia geniculata* dan *Crassipes Eichhornia* untuk mengetahui efisiensi penyisihan parameter pencemar nitrogen dan fosfat dengan penanaman secara single dan campuran.

kombinasi *Thalia geniculata* dan enceng gondok memberikan total efisiensi, nitrat (97,64%), total nitrogen (82,38%) dan fosfat (22,92%). Jika tidak, hasilkan perbaikan penghilangan nitrat saat kedua spesies digabungkan dari pengolahan air limbah. Hal ini dengan jelas menunjukkan efek sinergis dalam menyisihkan nutrien pada air limbah. dari genetika *Thalia* dan *enceng gondok* yang dikombinasikan. Kombinasi dua makrofita tersebut juga memfasilitasi parameter fisik kimia air limbah rumah domestik.

3.5.4 *Scirpus grossus* dan *Typha angustifolia*

Pada penelitian Yusrina (2017), menggunakan tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Typha angustifolia* untuk mengetahui efisiensi penyisihan parameter pencemar nitrogen dan fosfat dengan penanaman secara single dan campuran. Tumbuhan *Typha angustifolia* dan *Scirpus grossus* mampu melakukan dekonsentrasi nutrien pada limpasan pertanian dengan konsentrasi amonium dan fosfat yang tinggi, yaitu 500 mg/L amonium dan 166,67 mg/L fosfat untuk *Typha angustifolia*, serta konsentrasi amonium sebesar 750 mg/L dan fosfat sebesar 250 mg/L untuk *Scirpus grossus*. Tumbuhan tidak memberikan pengaruh yang signifikan dalam dekonsentrasi nitrogen. tumbuhan memberikan pengaruh yang signifikan dalam dekonsentrasi fosfat pada HRT 1 hari. Efisiensi dekonsentrasi fosfat tertinggi yaitu sebesar 99,93%. Unsur fosfor (P) dalam fosfat sangat berguna bagi tumbuhan. Unsur ini berfungsi untuk

merangsang pertumbuhan akar terutama pada awal pertumbuhan, serta mempercepat pembungaan dan pemasakan biji dan buah (Ali, 2011). Fosfor juga memiliki peran penting dalam setiap proses tumbuhan yang melibatkan perpindahan energi. Fosfat berenergi tinggi, sebagai bagian dari struktur kimia adenosin difosfat (ADP) dan ATP yang merupakan sumber energi yang digunakan oleh berbagai reaksi kimia di dalam tumbuhan. Total konsentrasi fosfor pada tumbuhan memiliki variasi antara 0,1-0,5% (Sultenfuss dan Doyle, 1999).

3.5.5 *Typha Angustifolia* dan *Lepironia Articulata*

Pada penelitian Hamizah (2015), menggunakan tumbuhan *Typha Angustifolia* dan *Lepironia Articulata* untuk menyisihkan parameter BOD COD Untuk parameter BOD, mampu menurunkan kontaminan pada air limbah dari 482,48 mg/L menjadi 28,08 mg/L. Sedangkan untuk penyisihan COD dapat mencapai 88,35%

Tanaman yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan efisiensi hingga 95% berdasarkan pembuangan kontaminan dari air limbah. air bioremediasi dan fitoremediasi memiliki potensi lebih tinggi untuk mengolah limbah cair di dalam kolam oksidasi berdasarkan analisis yang ditunjukkan di atas. Selanjutnya, interaksi antara tanaman air dan kontaminan memiliki 33% penyerapan dan proses adsorpsi.

3.5.6 penggunaan *mixed plants* pada pengolahan badan air tercemar

Penggunaan tumbuhan campuran atau lebih dari satu jenis bisa menghasilkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan tumbuhan inividu atau satu jenis tumbuhan saja, terutama pada badan air yang terkontaminasi lebih dari satu kontaminan atau kontaminan yang beragam. Tumbuhan hiperakumulator misalnya hanya bisa mengakumulasi unsur spesifik, mengindikasikan keterbatasan aplikasi pada kondisi lapangan dengan berbagai macam kontaminan (McIntyre, 2003).

hal ini menunjukkan potensi dari penggunaan kondisi campuran untuk remediasi badan air yang tercemar dengan

beragam kontaminan. Penggunaan tumbuhan hiperakumulator dapat dikombinasikan dengan jenis tumbuhan yang lain untuk menyisihkan kontaminan lain yang terdapat pada badan air. Pemilihan jenis tumbuhan menentukan kontaminan yang terdapat pada air, tetapi terkadang tidak cukup efektif dan cukup untuk menghilangkan kontaminan secara efektif. Faktor lain seperti karakteristik limbah dan ketersediaan nutrisi mempunyai pengaruh besar terhadap pertumbuhan bakteri dan tumbuhan (Li, 2013).

Dari contoh penggunaan tumbuhan campuran seperti pada penelitian di atas, dapat diketahui tumbuhan campuran efektif dalam menurunkan kontaminan dengan efisiensi yang cukup tinggi untuk beragam kontaminan yang terdapat pada badan air dibandingkan dengan menggunakan satu jenis tumbuhan saja.

BAB 4

STUDI KASUS

4.1 Perbaikan kualitas Danau Ebony Jakarta Utara

Perairan Danau Ebony adalah bagian dari lanskap yang menambah keindahan lingkungan rumah hunian pada *Cluster* Ebony perumahan Bukit Golf Mediterania, memiliki luas 60 000 m² dan kedalaman sekitar 1,2 m (Setyaningrum 2014). Danau Ebony merupakan danau buatan yang memiliki fungsi utama sebagai pengatur kesetimbangan hidrologi dan penampung air limpasan hujan. Fungsi tersebut menyebabkan perairan Danau Ebony sangat berpotensi dalam menerima banyaknya masukan bahan organik.

Sistem tertutup pada perairan Danau Ebony juga membuat air limpasan hujan dan limbah yang tertampung tidak tersirkulasi dengan baik. Hal ini memungkinkan tingginya akumulasi bahan organik pada sedimen, seperti yang dinyatakan Mardiana (2007), proses pengendapan bahan organik yang terjadi secara terus menerus akan meningkatkan akumulasi bahan organik di perairan.

Bahan organik dapat mengakibatkan pengayaan unsur hara atau eutrofikasi di perairan dan menimbulkan terjadinya *blooming* alga. Menurut Setyaningrum (2014), Kota Jakarta memiliki intensitas hujan yang sangat rendah, hal tersebut membuat perairan Danau Ebony memiliki waktu tinggal yang sangat lama, sehingga menyebabkan daya tampung beban pencemar air rendah namun rawan mengakumulasi beban pencemaran serta meningkatkan proses eutrofikasi di perairan. Eutrofikasi menyebabkan penurunan konsentrasi oksigen dalam badan air dan berakibat pada kematian biota air (Rumhyati 2010). Hal tersebut terjadi akibat air limbah dengan kandungan material organik tinggi yang dibuang ke badan air akan mengambil oksigen terlarut dalam jumlah besar untuk proses dekomposisi (Suswati *et al.* 2012). Selain itu, masukan bahan organik yang cukup tinggi menjadikan Perairan Danau Ebony tampak keruh dan mengurangi nilai estetika danau (Herdianti 2014).

Tabel 4.9 Kualitas Perairan

Parameter	Konsentrasi (mg/L)
COD	120
Fosfat	1,07
Nitrogen	4833

Rekomendasi kombinasi tumbuhan, yaitu:

a. *Eceng Gondok*

eceng gondok dapat meningkatkan efisiensi penyisihan Berat eceng gondok yang tinggi memberikan kontribusi yang tinggi untuk menurunkan konsentrasi kontaminan, karena akar tanaman pada eceng gondok lebih banyak dan panjang pula dibandingkan dengan berat yang lain, disekitar akar eceng gondok akan terdapat mikroorganisme yang akan mendegradasi senyawa organik yang terkandung dalam limbah, senyawa organik tersebut dijadikan sebagai sumber nutrisi bagi mikroba dan selanjutnya diubah menjadi senyawa yang lebih sederhana. Menurut Hayati (1992) proses penurunan pencemar dalam limbah cair dengan menggunakan tumbuhan air merupakan kerjasama antara tumbuhan dan mikroba yang berada pada tumbuhan tersebut. Brahmana dan Hidayat (2008) menjelaskan bahwa bahan-bahan pencemar tersebut akan diserap oleh akar tanaman setelah didegradasi oleh mikroorganisme menjadi senyawa yang lebih sederhana

b. *Typha angustifolia*

c. *Scirpus grossus* karena tumbuhan ini bersifat tumbuhan hiperakumulator. Selain itu akar dan batang tumbuhan lebih kuat dibandingkan dengan kayu apu. Tumbuhan *Iris pseudacorus* memiliki kapasitas serapan hara lebih tinggi (Suswati, 2012). Tumbuhan tersebut dapat hidup pada area-area yang memiliki kandungan zat organik terlarut yang sangat tinggi dan tumbuhan ini dapat menurunkan zat organik terlarut hingga 25% (Jacobs *et al.*, 2010).

Dari rekomendasi tumbuhan tersebut diperlukan penelitian lebih lanjut jika akan diterapkan sesuai kemampuan tumbuhan dalam meremoval kontaminan yang ada serta penerapannya dalam *constructed wetland* sehingga dapat digunakan sebagai pengolahan tersier untuk memperbaiki kualitas danau Ebony.

“Halaman sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Mixed aquatic plants lebih baik diterapkan untuk mengolah air limbah dengan kontaminan lebih dari satu. Perbedaan jenis tumbuhan air memiliki efisiensi penyisihan beban kontaminan yang berbeda sehingga pemilihan kombinasi tumbuhan air didasarkan pada kemampuan tiap tumbuhan dalam mentolerir kontaminan.

5.2 Saran

Diperlukan studi lebih lanjut mengenai pengaruh terhadap media, pH, waktu tinggal, jenis wetland yang lebih efektif, murah dan cepat dalam menyisihan kontaminan.

“Halaman sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, Y. V., Sunoko, H. R. & Kismartini, 2013. Status Keberlanjutan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Komunal Berbasis Masyarakat di Kota Probolinggo. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 11(2), pp. 100-109.
- Ali, M. 2011. Rembesan Air Lindi (Leachatel Dampak Pada Tanaman Pangan dan Kesehatan. Surabaya: UPN Veteran Jawa Timur
- Azmi, Muhammad., HS, Edward., Andrio, David., 2016. Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Tanaman *Typha latifolia* dengan metode Constructed Wetlands. *Jurnal F.Teknik* Volume 3 No. 2, Pekanbaru.
- April, A.L., dan Mangkoedihardjo, S. 2010. *Efek Kompos Tidak Stabil dan Sistem Pengoperasian Secara Intermitten dan Kontinyu Terhadap Efisiensi Penyisihan Surfaktan pada Bed Evapotranspirasi*. Tugas Akhir untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Behrends, L., Houke, L., Bailey, E., Jansen, P., Brown, D. *Reciprocating Constructed Wetlands for Treating Industrial, Municipal, and Agricultural Wastewater*. *Water Sci. Technol.* 44(2000), hal. 399–405.
- Brix, H., 1994. Function of Macrophytes in Constructed wetlands. *Wat. Sci. Tech.*, 29(4), pp. 71-78.
- Brix, H. & Schierup, H.-H., 1989. "The Use of Aquatic Macrophytes in Water-Pollution Control". *AMBIO*, 18(2), pp. 100-107.
- Caroline, J., dan Moa, G, A. 2015. Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) Menggunakan Tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) Pada Limbah Industri Peleburan Tembaga Dan Kuningan. Seminar Nasioanal Sains dan Teknologi Terapan III. Surabaya
- Chan, N. W. (2012). Managing Urban Rivers and Water Quality In Malaysia For Sustainable Water Resources. *Wat. Res. Dev.*, 28(2), hal. 343-354.
- Chazarenc, F., Gagnon, V., dan Brisson, J. 2009. *Effect of Plant and Artificial Aeration on Solids Accumulation and*

- Biological Activities in Constructed Wetlands*. Ecol. Eng, 35, 1005-1010.
- Chen, S.H., Weng, S.H., Wu, M.J. 2008. *The Umbrella Sedge in Taiwan*. *Taiwania*, 53(3):311-315.
- Cooper, P., 2009. "What can we learn from old wetlands? Lessons that have been learned and some that may have been forgotten over the past 20 years". *Desalination*, Issue 246, pp. 11-26.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air*. Penerbit kanisius. Yogyakarta.
- Engelstad, O. P., dan Hellums, D. T. "Water Solubility of Phosphate Fertilizers Agronomic Aspect-A Literature Review". Paper 17.
- FAO. 1996. "Control of Water Pollution from Agriculture". FAO Irrigation and Drainage Paper 55. Canada.
- Frazer-Williams, R. A. D., 2010. A Review of The Influence of Design Parameters on The Performance of Constructed Wetlands. *Journal of Chemical Engineering IEB*, 25(1).
- Gubernur Jatim, 2013. *Peraturan Gubernur Jawa Timur No 72 Tentang baku Mutu Air Limbah*. Jawa timur: Gubernur Jawa Timur.
- Hayati N, 1992. *Kemampuan Eceng Gondok dalam Mengubah Sifat Fisik-Kimia Limbah Cair Pabrik Pupuk Urea dan Asam Formiat*. Bandung: Pascasarjana Biologi Institut Teknologi Bandung.
- Hariyadi, Sigid. 2004. *BOD dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah*. Pengantar Falsafah Sains, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Hidayah, E. N dan Aditia, W. 2010. Potensi Dan Pengaruh Tanaman Pada Pengolahan Air Limbah Domestik Dengan Sistem *Constructed Wetland*. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan* Vol.2 No. 2: 11-18
- INHS. 2017. *Typha angustifolia*. <http://www.inhs.illinois.edu/collections/plants/data/gallery/species/typha-angustifolia/>
- Isyana, M., 2013. Uji Penyisihan Kandungan BOD dan COD Limbah Cair Tahu dengan Fitoremediasi Sistem Batch Menggunakan Tumbuhan *Egeria Densa*.

- Jenie, B. 1995. *Penanganan Limbah Industri Pangan*. Yogyakarta: Kanisius
- Jia, W., Zhang, J., Wu, J., Xie, H., dan Zhang, B. 2010. *Effect of Intermittent Operation on Contaminant Removal and Plant Growth in Vertical Flow Constructed Wetlands: A Microcosm Experiment*. *Desalination*, 262 (1), hal. 202–208.
- Jinadasa, K. B. S. N., Tanaka, N., Mowjood, M. I. M. & Werellagama, D. R. I. B., 2006. Effectiveness of *Scirpus grossus* in Treatment of Domestic Wastes in a Constructed Wetland. *Journal of Freshwater Ecology*, 21(4), pp. 603-612.
- Kadlec, R.H., dan Wallace, S.D. 2009. *Treatment Wetland Second Edition*. CRC Press: United States of America.
- Kalsum, SY. Umu., Napoleon, A., Yudono, Bambang., 2014. Efektifitas Eceng Gondok, Hydrilla, dan Rumput Payung dalam Pengolahan Limbah Grey Water, Universitas Sriwijaya.
- Kaswinarni, F. 2007. “*Kajian Teknis Pengolahan Limbah Padat dan Cair Industri Tahu*”. Thesis. Semarang: Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro.
- Kementrian Lingkungan Hidup. 2016. *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 68 tentang Baku Mutu Limbah Cair Domestik* Menteri Negara Lingkungan Hidup.
- Khiatuddin, M. 2003. *Pelestarian Sumber Daya Air Dengan Teknologi Rawa*. Bandar Lampung.
- Kholidiyah N, 2010. Respon Biologis Tumbuhan Eceng Gondok sebagai Biomonitoring Pencemaran Logam Berat Cadmium (Cd) dan Plumbum (Pb) pada Sungai Pembuangan Lumpur Lapindo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim
- Kraemer, U., 2005. Phytoremediation: Novel approaches to cleaning polluted soils. *Current Opinion in Biotechnology*, Volume 16, pp. 133-141.
- Krisnawati, et al. 2015. Peran Biologi dan Pendidikan Biologi dalam Menyiapkan Generasi Unggul dan Berdaya Saing Global. Santoso Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi

- Kurniadie, D. 2011. *Teknologi Pengolahan Limbah Cair Secara Biologis*. Bandung: Widya Padjadjaran
- Kurniawan, M.W., Purwanto,P., dan Sudarso,S. 2013. *Strategi Pengelolaan Air Limbah Sentra UMKM Batik yang Berkelanjutan di Kabupaten Sukoharjo* . Jurnal Ilmu Lingkungan, 11(2), hal. 62-72.
- Li-hua, C. et al., 2006. "Performance of Hybrid Constructed Wetland Systems for Treating Septic Tank Effluent". *Journal of Environmental Science*, 18(4), pp. 665-669.
- Li, S., Lissner, J., Mendelssohn, L.A., Brix, H., Lorenzen, B., McKee, K.L., Miao, S. 2010. *Nutrient and Growth Responses of Cattail (Typha domingensis) to Redox Intensity and Phosphate Availability*. Annals of Botany, 105:175-184.
- Madkar dan Kurniadie, D. 2013. Identifikasi dan Pertumbuhan Bebragai Gulma Air Sebagai Bahan Biofilter Penyaring Air Limbah. *Bionatural Jurnal* Vol. 5 No. 2. Universitas Padjajaran. bandung.
- Mangkoedihardjo, S. dan Samudro, G. 2010. *Fitoteknologi Terapan*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Manurung, R., R. Irvan. 2004. *Perombakan Zat Warna Azo Reaktif Secara Anaerob – Aerob*. Jurnal pp, hal. 1-19.
- Materac, M., Wyrwicka, A. & Sobiecka, E., 2015. Phytoremediation Techniques in Wastewater Treatment. *Environmental Biotechnology*, 11(1), pp. 10-13.
- Metcalf & Eddy 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. MC. Graw- Hill. New York. America
- Mubin, F., Binilang, A. & Halim, F., 2016. Perencanaan Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik di Kelurahan Istiqlal Kota Manado. *Jurnal Sipil Statik*, 4(3), pp. 211-223.
- Munir, Erman. 2006. *Pemanfaatan Mikroba Dalam Bioremediasi: Suatu Teknologi Alternatif Untuk Lingkungan*. Universitas Sumatra Utara. Medan
- Mojiri, A., Ziyang, L., Tajuddin, R.M., Farraji, H., Alifar, N. 2016. Co-Treatment of Landfill Leachate and Municipal Wastewater using the ZELIAC/Zeolit Constructed Wetland System. *Journal of Environmental Management*, 166:124-130

- Ningsih, Dwi Agustiang. 2017. Uji Penurunan kandungan BOD, COD dan warna pada Limbah Cair pewarnaan Batik menggunakan *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus* dengan Sistem Pemaparan Intermittent. Tugas akhir untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Nur Hamzah, H., Syukor, Abdul., Sulaiman, S., 2015. Performance of *Typha angustifolia* and *Lepironia articulata* for Upgrading Domestic Wastewater in An Integrated Phytogreen System. *Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, Vol 2 Issue 12.
- Octarina, Elsita. 2015. Uji Penurunan kandungan BOD dan COD pada Limbah Cair Industri Batik menggunakan *Scirpus grossus* dan *Egeria densa*. Tugas akhir untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun. 2013. *Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Dan/Atau Kegiatan Usaha Lainnya*
- Permana, D. 2003. Keanekaragaman Makrobentos di Bendungan Bapang dan Bendungan Ngablabaan Sragen. [Skripsi]. Surakarta: Jurusan Biologi FMIPA Universitas Sebelas Maret.
- PFAF. 2017. *Polygonum hydropiper*. Plants for A Future. <http://www.pfaf.org/User/Plant.aspx?LatinName=Polygonum+hydropiper>
- Phewnil, O. et al., 2014. Choosing Aquatic Plant Species for High Wastewater Treatment Efficiency through Small Wetland. *Modern Applied Science* , 8(4).
- Poach M.E., dan Hunt P.G. 2007. Effect of Intermittent Drainage on Swine Wastewater Treatment by Marsh-Pond-Marsh Constructed Wetlands. *Ecological Engineering*, 30(1), hal. 43–50.
- Prihandrijanti, M. & Firdayati, M., 2011. "Current Situation and Considerations of Domestic Wastewater Treatment Systems for Big Cities in Indonesia (Case Study: Surabaya and Bandung)". *Journal of Water Sustainability*, pp. 97-104.

- Prochaska, C.A., Zouboulis, A.I., 2006. *Removal of Phosphates by Pilot Vertical-Flow Constructed Wetlands using a Mixture of Sand and Dolomite as Substrate*. *Ecol. Eng.* 26, hal. 293–303.
- Purwaningsih, I. 2008. *Pengolahan Limbah Cair Industri Batik CV Batik Indah Raradjonggrang Yogyakarta Dengan Metode Elektrokoagulasi Ditinjau Dari Parameter Chemical Oxygen Demand (COD) Dan Warna*. Tugas Akhir Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Lingkungan, UII, Yogyakarta
- Randerson, P. F., 2006. Constructed Wetlands and Vegetation Filters: an Ecological Approach to Wastewater Treatment. *Environmental Biotechnology*, 2(2), pp. 78-89.
- Ratnani Rita Dwi, 2010. Pemanfaatan Enceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Untuk Menurunkan Kandungan COD (Chemical Oxygen Demand), pH, Bau, dan Warna Pada Limbah Cair Tahu. Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- Reed, S. C. 1993. Subsurface Flow Constructed Wetland for Wastewater Treatment a Technology Assessment. U.S. Environmental Protection Agency: New Orleans.
- Rejmankova, E., 2011. The Role of Macrophytes in Wetland Ecosystems. *Journal of Ecology and Field Biology*, 34(4), pp. 333-345.
- Romli. 2009. Beban Pencemaran Limbah Cair Industri Tahu. *Jurnal Vol. 10 No.2*. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian IPB
- Saptiningsih, E. 2007. Peningkatan Produktivitas Tanah Pasir untuk Pertumbuhan Tanaman Kedelai dengan Inokulasi Mikorhiza dan Rhizobium. *Bioma*, 9(2): 58 – 61.
- Sawattayothin, V. dan Polprasert, C. 2007. Nitrogen Mass Balance and Microbial Analysis of Constructed Wetlands Treating Municipal Landfill Leachate. *Biosource Technology*, 98:565-570
- Sehar, S. et al., 2015. "A comparative study of macrophytes influence on wastewater treatment through subsurface". *Ecological Engineering*, pp. 62-69.
- Setiawati, R. T. & Purwati, I. F., 2016. Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik di Kecamatan

- Simokerto Kota Surabaya. *Simposium I Jaringan Perguruan Tinggi untuk Pembangunan Infrastruktur Indonesia*.
- Shelef, O., Gross, A., Rachmilevitch, S. 2013. Role of Plants in A Constructed Wetland: Current and New Perspectives. *Water Journal*, 5:405-419.
- Siregar, Sakti A, 2005, *Instalasi Pengolahan Air Limbah*. Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Somtrakoon., 2014. Phytoremediation of Endpsulfan Sulfate-Contaminated Soil by Single and Mixed Plant Cultivations. *Journal of Water, Air, & Soil Pollution Volume 225 (3):1-13*
- Suharjono, N.H dan T.H. Kurniati. 1994. Potensi komunitas bakteri pemecah detergen jenis alkil benzen sulfonat (ABS) dan linier alkil benzen sulfonat (LAS). *Jurnal Universitas Brawijaya* 6 (2): 100-108.
- Sugiharto. (2008). *Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah*. Jakarta: Universitas Indonesia Press. Halaman 13.
- Sultenfuss, J. H., dan Doyle W. J. 1999. "Phosphorus for Agriculture". *Better Crops with Plant Food* 83:1-40.
- Sungkowo, Toto Heri., Elystia, Shinta., Andesgur, Ivaini., 2015. Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Tanaman *Typha latifolia* dan *Eceng gondok* dengan metode fitoremediasi. *JOM FTEKNIK Volume 2 No. 2* , Pekanbaru.
- Supradata, 2005. Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Tanaman Hias *Cyperus Alternifolius L.* Dalam Sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (SSF-Wetlands). Tesis, Program Studi Magister Ilmu Lingkungan, Semarang.
- Suprpti, L. 2005. *Teknologi Pengolahan Pangan Tepung Tapioka dan Pemanfaatannya*. PT Gramedia Pustaka: Jakarta. 80 hlm.
- Suprihatin, H., 2014, Penurunan Konsentrasi BOD Limbah Domestik Menggunakan Sistem Wetland dengan Tanaman Hias Bintang Air (*Cyperus alternifolius*), *Dinamika Lingkungan Indonesia*,
- Suswati, A.C.S.P., Wibisono, G., Masrevaniah, A., Arfiati, D. 2012. Analisis Luasan Constructed Wetland

- menggunakan Tanaman Iris dalam Mengolah Air Limbah Domestik (Grey Water). *Indonesian Green Technology Journal*, 1:1-7.
- Sutherland, W.J. 1990. Biological Flora of the British Isles: *Iris pseudacorus* L. *Journal of Ecology* 78: 833-848.
- Syahputra, Rudy. 2006. Fitoremediasi Logam Cu dan Zn dengan Tanaman Eceng Gondok (*Etchornia Crassipes* Solms). *Jurnal Online Universitas Islam Indonesia Yogyakarta*
- Tanaka, N., NG, W.J., Jinadasa, K.B.S.N. 2011. *Wetlands for Tropical Applications; Waswater Treatment by Constructed Wetland*. London: Imperial Collage Press
- Tangahu, B. V. et al., 2013. Phytoremediation of Wastewater Containing Lead (Pb) in Pilot Reed Bed Using *Scirpus grossus*. *International Journal of Phytoremediation*, Volume 15, pp. 663-676.
- Tanner, C.C., D'Eugenio, J., McBridge, G.B., Sukias, J.P.S., Thompson, K. 1999. *Effect of Water Level Fluctuation on Nitrogen Removal from Constructed Wetland Mesocosms*. *Ecol. Eng*, 12, hal. 67-92.
- Taufik, M. 2013. *Komparasi Pemberian Air Irigasi Dengan Sistim Continous Flow dan Intermittent Flow*. *Surya Beton*, 1(1
- Tee, H.-C., Lim, P.-E., Seng, C.-E. & Nawi, M.-A. M., 2012. "Newly developed baffled subsurface-flow constructed wetland for the enhancement of nitrogen removal". *Bioresource Technology*, Issue 104, pp. 235-242.
- Trihadiningrum, Y. et al., 2007. *Phytotechnology, a Nature-Based Approach for Sustainable Water Sanitation and Conservation*
- USDA. 2010. "Keys to Soil Taxonomy, Soil Survey Staff". Natural Resource Conservation Service. Eleventh ed. US Agriculture Department.
- USEPA. 2000. *Wastewater Technology Fact Sheet Free Water Surface Wetlands*. EPA 832-F-00-024.
- Vangronveld, J., et al. 2009. "Phytoremediation of Contaminated Soils and Groundwater: Lessons from the Field. *Journal of Environmental Science Pollution Resources* Volume 16 (7): 765-794.

- Vymazal, J., 2005. "Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment". *Ecological Engineering*, Issue 25, pp. 478-490.
- Vymazal, J., 2010. :review: Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Water*, pp. 530-549.
- Vymazal, J., 2011. Plants Used in Constructed Wetlands with Horizontal Subsurface Flow: a review. *Hydrobiologia*, Volume 674, pp. 133-156.
- Wignyanto, S. Wijana, N. Hidayat, Sukardi, dan Suharjono. 1997. Teknik baru cara peningkatan efektivitas dan efisiensi kemampuan biodegradasi surfaktan detergen alkylbenzene sulfonate. *Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Teknik* 9 (2): 35-45.
- Wirawan, Wiweka Arif., Wirosoedarmo, Rusian., Susnawati, Liliya Dewi., 2014, Pengolahan Limbah Cair Domestik Menggunakan Tanaman Kayu Apu dengan Teknik Tanam Hidroponik Sistem DFT..
- Wolverton, B.C., Mckown, M.M, 1976, Water Hyacinth for Removal of Phenol from Polluted Waters, *Aquatic Botany* 30 : 29-37.
- Yovo, Franck., Dimon, Biaou., Suanon, Fidele., Eni, Coffi Azandebge., Agani, Ignace Chabi., Wotto, Valentin., 2017. Phytoremediation: Synergistic Effect of *Thalia geniculata* and *Crassipes Eichhornia* (Water Hyacinth) During Domestic Wastewater Treatment.
- Zhang, S. *et al.*, 2015. Effect of vegetation on nitrogen removal and ammonia volatilization from wetland microcosms. *Ecological Engineering*, Volume 97, pp. 363-369.
- Zhuang, X. 2017. *Lemna minor*. The IUCN Red List of Threatened Species 2017: e.T164057A67785148. <http://www.iucnredlist.org/details/164057/0>
- Wetland System. *Journal of Environmental Management*, 166:124-130
- Ningsih, Dwi Agustiang. 2017. Uji Penurunan kandungan BOD, COD dan warna pada Limbah Cair pewarnaan Batik menggunakan *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus* dengan Sistem Pemaparan Intermittent. Tugas akhir untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

- Octarina, Elsit. 2015. Uji Penurunan kandungan BOD dan COD pada Limbah Cair Industri Batik menggunakan *Scirpus grossus* dan *Egeria densa*. Tugas akhir untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Permana, D. 2003. Keanekaragaman Makroentosa di Bendungan Bapang dan Bendungan Ngablabaan Sragen. [Skripsi]. Surakarta: Jurusan Biologi FMIPA Universitas Sebelas Maret.
- Phewnil, O. et al., 2014. Choosing Aquatic Plant Species for High Wastewater Treatment Efficiency through Small Wetland. *Modern Applied Science*, 8(4).
- Prihandrijanti, M. & Firdayati, M., 2011. "Current Situation and Considerations of Domestic Wastewater Treatment Systems for Big Cities in Indonesia (Case Study: Surabaya and Bandung)". *Journal of Water Sustainability*, pp. 97-104.
- Ratnani Rita Dwi, 2010. Pemanfaatan Enceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Untuk Menurunkan Kandungan COD (Chemical Oxygen Demand), pH, Bau, dan Warna Pada Limbah Cair Tahu. Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- Reed, S. C. 1993. Subsurface Flow Constructed Wetland for Wastewater Treatment a Technology Assesment. U.S. Environmental Protection Agency: New Orleans.
- Rejmankova, E., 2011. The Role of Macrophytes in Wetland Ecosystems. *Journal of Ecology and Field Biology*, 34(4), pp. 333-345.
- Sawaitayothin, V. dan Polprasert, C.2007. Nitrogen Mass Balance and Microbial Analysis of Constructed Wetlands Treating Municipal Landfill Leachate. *Biosource Technology*, 98:565-570
- Sehar, S. et al., 2015. "A comparative study of macrophytes influence on wastewater treatment through subsurface". *Ecological Engineering*, pp. 62-69.
- Shelef, O., Gross, A., Rachmilevitch, S. 2013. Role of Plants in A Constructed Wetland: Current and New Perspectives. *Water Journal*, 5:405-419.

- Suharjono, N.H dan T.H. Kurniati. 1994. Potensi komunitas bakteri pemecah detergen jenis alkil benzen sulfonat (ABS) dan linier alkil benzen sulfonat (LAS). *Jurnal Universitas Brawijaya* 6 (2): 100-108.
- Sungkowo, Toto Heri., Elystia, Shinta., Andesgur, Ivaini., 2015. Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Tanaman *Typha latifolia* dan Eceng gondok dengan metode fitoremediasi. *JOM FTEKNIK Volume 2 No. 2* , Pekanbaru.
- Supradata, 2005. Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Tanaman Hias *Cyperus Alternifolius L.* Dalam Sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (SSF-Wetlands). Tesis, Program Studi Magister Ilmu Lingkungan, Semarang.
- Suprihatin, H. 2014. Kandungan Organik Limbah Cair Industri Batik Jetis Sidoarjo Dan Alternatif Pengolahannya. Tugas Akhir untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Pembangunan, Surabaya
- Suswati, A.C.S.P., Wibisono, G., Masrevanah, A., Arfiati, D. 2012. Analisis Luasan Constructed Wetland menggunakan Tanaman Iris dalam Mengolah Air Limbah Domestik (Grey Water). *Indonesian Green Technology Journal*, 1:1-7.
- Sutherland, W.J. 1990. Biological Flora of the British Isles: *Iris pseudacorus L.* *Journal of Ecology* 78: 833-848.
- Syahputra, Rudy. 2006. Fitoremediasi Logam Cu dan Zn dengan Tanaman Eceng Gondok (*Etchornia Crassipes Solms*). *Jurnal Online Universitas Islam Indonesia Yogyakarta*
- Tangahu, B. V. et al., 2013. Phytoremediation of Wastewater Containing Lead (Pb) in Pilot Reed Bed Using *Scirpus grossus*. *International Journal of Phytoremediation*, Volume 15, pp. 663-676.
- Tee, H.-C., Lim, P.-E., Seng, C.-E. & Nawi, M.-A. M., 2012. "Newly developed baffled subsurface-flow constructed wetland for the enhancement of nitrogen removal". *Bioresource Technology*, Issue 104, pp. 235-242.

- Trihadiningrum, Y. et al., 2007. Phytotechnology, a Nature-Based Approach for Sustainable Water Sanitation and Conservation
- USEPA. 2000. Wastewater Technology Fact Sheet Free Water Surface Wetlands. EPA 832-F-00-024.
- Vymazal, J., 2005. "Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment". Ecological Engineering, Issue 25, pp. 478-490.
- Vymazal, J., 2010. :review: Constructed Wetlands for Wastewater Treatment:. Water, pp. 530-549.
- Vymazal, J., 2011. Plants Used in Constructed Wetlands with Horizontal Subsurface Flow: a review. Hydrobiologia, Volume 674, pp. 133-156.
- Wignyanto, S. Wijana, N. Hidayat, Sukardi, dan Suharjono. 1997. Teknik baru cara peningkatan efektivitas dan efisiensi kemampuan biodegradasi surfaktan detergen alkylbenzene sulfonate. Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Teknik 9 (2): 35-45.
- Wolverton, B.C., Mckown, M.M, 1976, Water Hyacinth for Removal of Phenol from Polluted Waters, Aquatic Botany 30 : 29-37.
- Zhang, S. et al., 2016. Effect of vegetation on nitrogen removal and ammonia volatilization from wetland microcosms. Ecological Engineering, Volume 97, pp. 363-369.

BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya pada tanggal 25 Maret 1995. Penulis telah menempuh pendidikan formal pada tahun 2001-2007 di SDN Airlangga III, Kota Surabaya. Kemudian dilanjutkan di SMP Integral Luqman Al Hakim Kota Surabaya pada tahun 2008-2011. Pendidikan tingkat atas penulis dilalui di Madrasah Aliyah Negeri Surabaya pada tahun 2011-2013. Pada tahun 2013, penulis melanjutkan kuliah S-1 di Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS Surabaya dan terdaftar dengan NRP 3313100075.

Selama perkuliahan, penulis pernah aktif sebagai pengurus aktif Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) FTSP ITS dan Unit Kegiatan Mahasiswa Korps Sukarela Palang Merah Indonesia (KSR PMI) ITS. Pada periode 2014-2015 penulis menjabat sebagai staff Divisi Jaringan dan Media TIM Kerohanian Al-Kaun serta Staff Divisi Pengabdian Masyarakat UKM KSR PMI ITS. Penulis juga pernah menjabat sebagai Sekretaris Kabinet I di UKM KSR PMI ITS pada tahun kepengurusan 2015-2016. Penulis pernah mengikuti beberapa pelatihan serta seminar di bidang teknik lingkungan maupun kepalangmerahan dalam rangka pengembangan diri. Penulis dapat dihubungi via email yuri.dna46@gmail.com.