

**EFEKTIVITAS PENGGUNAAN TANAMAN AIR SEBAGAI
AGEN *PHYTO TREATMENT* PADA PENGOLAHAN
LANJUTAN AIR LIMBAH DARI PROSES PAINTING PADA
INDUSTRI OTOMOTIF
STUDI KASUS : PT. SUZUKI INDOMOBIL MOTOR PLANT
TAMBUN II**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

NOVYANA KURNIASIH

06 06 07 814 0



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
DEPOK
JUNI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Novyana Kurniasih

NPM : 0606078140

Tanda Tangan : 

Tanggal : Juni 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Novyana Kurniasih

NPM : 0606078140

Program Studi : Teknik Lingkungan

Judul Skripsi :

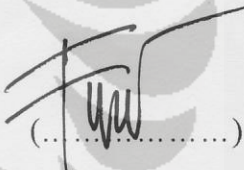
**Efektivitas Penggunaan Tanaman Air sebagai Agen *Phyto Treatment*
pada Pengolahan Lanjutan Air Limbah dari Proses *Painting*
pada Industri Otomotif**

Studi Kasus : PT. Suzuki Indomobil Motor Plant Tambun II

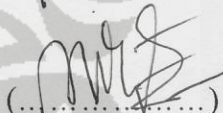
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

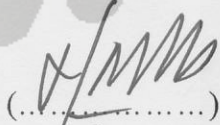
Pembimbing I : Ir. Firdaus Ali, MSc., Ph.D.

()

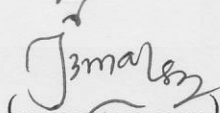
Pembimbing II : Evi Novita, ST, MSi.

()

Penguji : DR. Ir. Djoko M. Hartono, SE., MEng.

()

Penguji : Ir. Irma Gusniani, MSc.

()

Ditetapkan di : Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik,
Universitas Indonesia, Depok.

Tanggal : 23 Juni 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Lingkungan pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Maka dari itu, saya ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada :

- 1) Dr. Ir. Firdaus Ali, MSc dan Evi Novita, ST, MSc selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- 2) Orang tua, eyang, dan seluruh keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan doa, moral, dan material;
- 3) PT. Suzuki Indomobil Motor yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
- 4) Dosen-dosen yang telah membantu saya dalam pemberian ilmu dari masa perkuliahan sampai penyusunan skripsi;
- 5) Adik-adik saya yang sudah memberikan banyak bantuan dan mau direpotkan.
- 6) Sandy, sahabat, dan teman-teman terdekat yang telah membantu saya baik dalam pemberian ide dan masukan ataupun dukungan sampai diselesaikannya skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan segala pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Juni 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Novyana Kurniasih
NPM : 0606078140
Program Studi : Teknik Lingkungan
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Efektivitas Penggunaan Tanaman Air sebagai Agen *Phyto Treatment*
pada Pengolahan Lanjutan Air Limbah dari Proses *Painting*
pada Industri Otomotif
Studi Kasus : PT. Suzuki Indomobil Motor Plant Tambun II**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 23 Juni 2010
Yang menyatakan


(Novyana Kurniasih)

ABSTRAK

Nama : Novyana Kurniasih
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Efektivitas Penggunaan Tanaman Air sebagai Agen *Phyto Treatment* pada Pengolahan Lanjutan Air Limbah dari Proses *Painting* pada Industri Otomotif
Studi Kasus : PT. Suzuki Indomobil Motor Plant Tambun II

Meningkatkan efisiensi penggunaan air oleh industri dapat dijadikan salah satu alternatif untuk mengurangi penggunaan air tanah dan pencemaran badan air akibat air limbah industri dengan kualitas yang belum memenuhi baku mutu. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk meningkatkan efektifitas penggunaan air adalah dengan upaya daur ulang air. Dengan menambahkan pengolahan lanjutan dengan menggunakan sistem *phyto treatment* menggunakan eceng gondok setelah pengolahan air limbah primer dan sekunder, upaya meningkatkan kualitas air limbah dapat dilakukan.

Analisis yang dilakukan adalah melihat efektifitas tanaman air dalam mereduksi sisa polutan dalam air limbah yang telah diolah dengan menggunakan kedalaman air, konsentrasi pencemar, dan waktu retensi sebagai variabel dengan dan membandingkan penurunan konsentrasi dari 3 variasi perlakuan. Setelah itu, kualitas air sampel dibandingkan dengan kriteria mutu air kelas I sesuai dengan Peraturan Pemerintah No 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

Eksperimen memberikan hasil bahwa eceng gondok mampu menurunkan parameter BOD, COD, dan TSS serta menormalkan pH. Sistem pengolahan limbah menggunakan eceng gondok tidak mampu menurunkan konsentrasi TDS dan konduktivitas. Perbedaan kedalaman air dan konsentrasi pencemar sangat berpengaruh terhadap kinerja sistem. Kedalaman air dan konsentrasi pencemar yang lebih tinggi menghasilkan efektifitas yang lebih baik. Waktu panen merupakan kriteria penting untuk sistem ini agar efektifitas pengolahan tetap terjaga.

Kata kunci : air limbah industri, *phyto treatment*, eceng gondok, daur ulang air

ABSTRACT

Name : Novyana Kurniasih
Study Program : Environmental Engineering
Title : Effectiveness of Phyto Treatment Process using Aquatic Plant as Advance Treatment of Painting Wastewater in Automotive Industry
Case Studies : PT. Suzuki Indomobil Motor Plant Tambun II

Improving the efficiency of water use by industry can be an alternative to reduce the use of ground water and prevents pollution of water bodies due to industrial waste water quality failed to meet quality standards. The method that can be used to improve the effectiveness of the use of water is the water recycling efforts. By adding the advanced treatment called phyto treatment system using water hyacinth right after primary and secondary treatment, the efforts to improve the quality of waste water can be done.

The analysis conducted was to see the effectiveness of aquatic plants in reducing residual pollutants in wastewater that has been processed using the water depth, the concentration of pollutants, and the retention time as variables and compare the reduction of concentration that happened in three variations of treatment. After that, the water quality of the samples are compared to the first class water quality criteria in accordance with Government Regulation No. 82 year 2001 on Management of Water Quality and Water Pollution Control.

Experiments revealed that water hyacinth can reduce BOD, COD, and TSS and normalize pH. Wastewater treatment system using water hyacinth is not able to reduce concentrations of TDS and conductivity. Differences in water depth and concentration of pollutants influences the system performance. The higher depth of water and higher concentrations of pollutants gives better result. Harvest time is an important criteria for this system to maintain treatment effectiveness.

Keywords : industrial wastewater, phyto treatment, water hyacinth, water recycling

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR ISTILAH	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
1.1 LATAR BELAKANG	I-1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	I-3
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	I-3
1.4 MANFAAT PENELITIAN.....	I-4
1.5 BATASAN MASALAH.....	I-5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	II-1
2.1 UMUM.....	II-1
2.2 AIR LIMBAH INDUSTRI	II-1
2.2.1 Komposisi Air Limbah Industri	II-2
2.2.2 Karakteristik Kualitas Air Limbah Industri.....	II-5
2.3 PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI.....	II-10
2.3.1 Pengolahan Fisika-Kimia	II-11
2.3.2 Pengolahan Biologis.....	II-12
2.4 FITOREMIDIASI	II-13
2.5 SISTEM AKUAKULTUR TANAMAN AIR	II-16
2.6 ECENG GONDOK	II-20
2.7 MEKANISME PROSES PENGHILANGAN POLUTAN....	II-25

2.7.1	Penurunan BOD	II-27
2.7.2	Penurunan Padatan Tersuspensi	II-27
2.7.3	pH Air pada Kolam	II-28
2.8	PENGARUH ECENG GONDOK	II-29
2.8.1	Pengaruh Parameter yang Diujikan	II-30
2.9	KERANGKA PEMIKIRAN	II-31
BAB III	METODE PENELITIAN	III-1
3.1	PENDEKATAN PENELITIAN	III-1
3.2	VARIABEL PENELITIAN	III-2
3.2.1	Variabel Bebas	III-3
3.2.2	Variabel Terikat	III-3
3.3	POPULASI DAN SAMPEL	III-4
3.4	DATA DAN ANALISIS DATA	III-4
3.4.1	Pengumpulan Data	III-4
3.4.2	Analisis Data	III-9
3.5	LOKASI PENELITIAN	III-10
3.5.1	Lokasi Studi	III-10
3.5.2	Lokasi Pengujian Laboratorium	III-10
3.6	HIPOTESIS	III-10
3.7	WAKTU PENELITIAN	III-12
BAB IV	GAMBARAN UMUM LOKASI STUDI KASUS	IV-1
4.1	PROFIL PERUSAHAAN	IV-1
4.2	LOKASI INDUSTRI	IV-1
4.3	INDUSTRI OTOMOTIF PERAKITAN MOBIL	IV-2
4.4	SUMBER AIR LIMBAH PROSES PAINTING	IV-3
4.5	BAKU MUTU AIR INDUSTRI	IV-3
4.6	PROSES PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI YANG DILAKUKAN	IV-4
BAB V	HASIL DAN PEMBAHASAN	V-1
5.1	HASIL PERCOBAAN	V-1
5.1.1	Variasi 1 : Kedalaman Air 30 cm	V-1
5.1.2	Variasi 2 : Kedalaman Air 50 cm	V-4

5.1.3	Perbandingan Variasi 1 dan Variasi 2	V-6
5.1.4	Variasi 3 : Kedalaman Air 70 cm dan Konsentrasi Pencemar Lebih Tinggi	V-7
5.2	ANALISIS PERUBAHAN PARAMETER KUALITAS AIR.....	V-10
5.2.1	<i>BOD (Biological Oxygen Demand)</i>	V-10
5.2.2	<i>COD (Chemical Oxygen Demand)</i>	V-15
5.2.3	<i>TSS (Total Suspended Solids)</i>	V-18
5.2.4	<i>TDS (Total Dissolved Solids)</i>	V-22
5.2.5	Konduktivitas	V-24
5.2.6	pH	V-26
5.3	ANALISIS PERTUMBUHAN ECENG GONDOK	V-28
5.3.1	Pertumbuhan Daun	V-29
5.3.2	Pertumbuhan Batang	V-31
5.3.3	Pertumbuhan Akar.....	V-33
5.3.4	Frekuensi Panen Eceng Gondok	V-35
5.4	PERBANDINGAN HASIL PENELITIAN DENGAN BAKU MUTU AIR LIMBAH DAN BAKU MUTU AIR	V-36
5.5	ANALISIS EFEKTIFITAS PENGGUNAAN ECENG GONDOK SEBAGAI SISTEM PENGOLAHAN AIR LIMBAH TAMBAHAN	V-37
5.6	KELEMAHAN DAN GANGGUAN.....	V-38
5.7	USULAN PENERAPAN <i>PHYTO TREATMENT</i>	V-39
5.7.1	Perbandingan Usulan Pengolahan Lanjutan Dengan Pengolahan Eksisting.....	V-40
5.7.2	Perhitungan Usulan Unit Pengolahan Lanjutan	V-41
BAB VI	PENUTUP	VI-I
6.1	KESIMPULAN	VI-1
6.2	SARAN	VI-1
DAFTAR PUSTAKA	VII-1

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Paramter Penting pada Setiap Jenis Air Limbah Industri	II-3
Tabel 2.2 Definisi Padatan pada Air Limbah	II-7
Tabel 2.3. Komposisi Eceng Gondok yang Tumbuh di Air Limbah	II-23
Tabel 2.4. Kriteria Desain Pengolahan Sekunder	II-23
Tabel 2.5. Kriteria Desain Pengolahan Sekunder Lanjutan	II-24
Tabel 2.6. Kriteria Desain Pengolahan Tersier	II-25
Tabel 2.7. Gambaran Umum Proses Penghilangan Polutan	II-26
Tabel 2.8. Peran Tanaman pada Lahan Basah Buatan	II-30
Tabel 3.1. Variabel yang Digunakan	III-2
Tabel 3.2. Volume Sampel yang Digunakan	III-4
Tabel 3.3. Pengumpulan Data Sekunder	III-9
Tabel 3.4. Jadwal Kegiatan Penelitian	III-12
Tabel 4.1. Baku Mutu Air Industri.....	IV-3
Tabel 5.1. Perubahan Kualitas Parameter pada Kedalaman Air 30 cm	V-2
Tabel 5.2. Berat Kering Tanaman pada Kedalaman Air 30 cm	V-3
Tabel 5.3. Perubahan Kualitas Parameter pada Kedalaman Air 50 cm	V-4
Tabel 5.4. Berat Kering Tanaman pada Kedalaman Air 50 cm	V-5
Tabel 5.5. Perubahan Kualitas Parameter pada Kedalaman Air 70 cm	V-7
Tabel 5.6. Berat Kering Tanaman pada Kedalaman Air 70 cm	V-9
Tabel 5.7. Perbandingan Penurunan Konsentrasi BOD dengan Kriteria Desain	V-13
Tabel 5.8. Penurunan Konsentrasi BOD dan Persentase Penurunannya	V-14
Tabel 5.9. Penurunan Konsentrasi COD dan Persentase Penurunannya	V-17
Tabel 5.10. Penurunan Konsentrasi TSS dan Persentase Penurunannya.....	V-21
Tabel 5.11. Perubahan Konsentrasi TDS	V-22
Tabel 5.12. Perubahan Nilai Konduktivitas	V-24
Tabel 5.13. Perubahan pH.....	V-28
Tabel 5.14. Perbandingan Berat Kering Daun	V-30
Tabel 5.15. Perbandingan Berat Kering Batang	V-32
Tabel 5.16. Perbandingan Berat Kering Akar.....	V-33

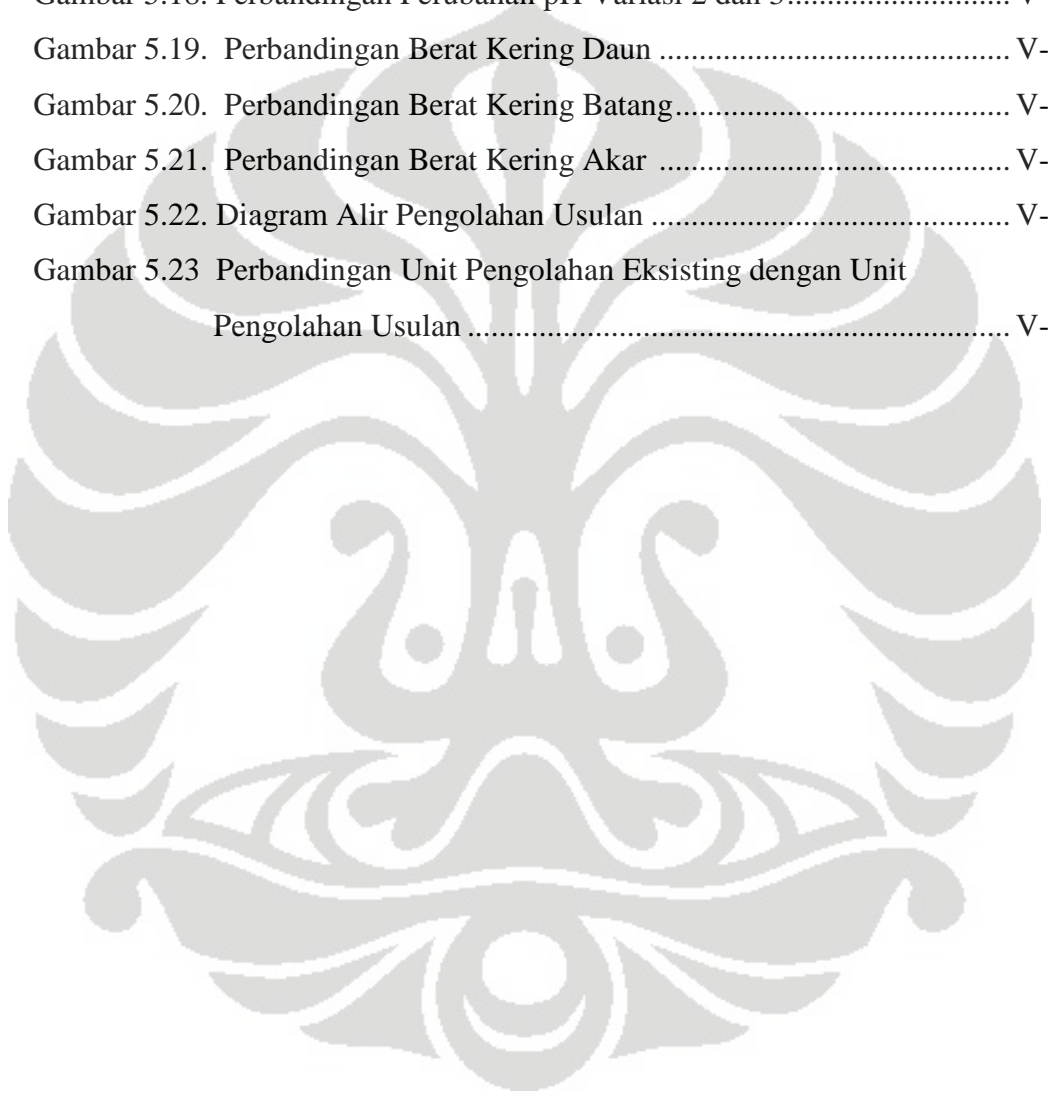
Tabel 5.17. Perbandingan Hasil Penelitian dengan Baku Mutu Air Limbah... V-36
Tabel 5.18. Perbandingan Hasil Penelitian dengan Mutu Air..... V-37
Tabel 5.19. Perbandingan Konsentrasi Paramter <i>Effluent</i> IPAL Eksisting (setelah filtrasi) dengan Hasil Penelitian Variasi 3 V-41
Tabel 5.20. Properties Perhitungan Usulan Pengolahan Lanjutan..... V-41
Tabel 5.21. Properties Perhitungan Usulan Pengolahan Lanjutan 2..... V-42



DAFTAR GAMBAR

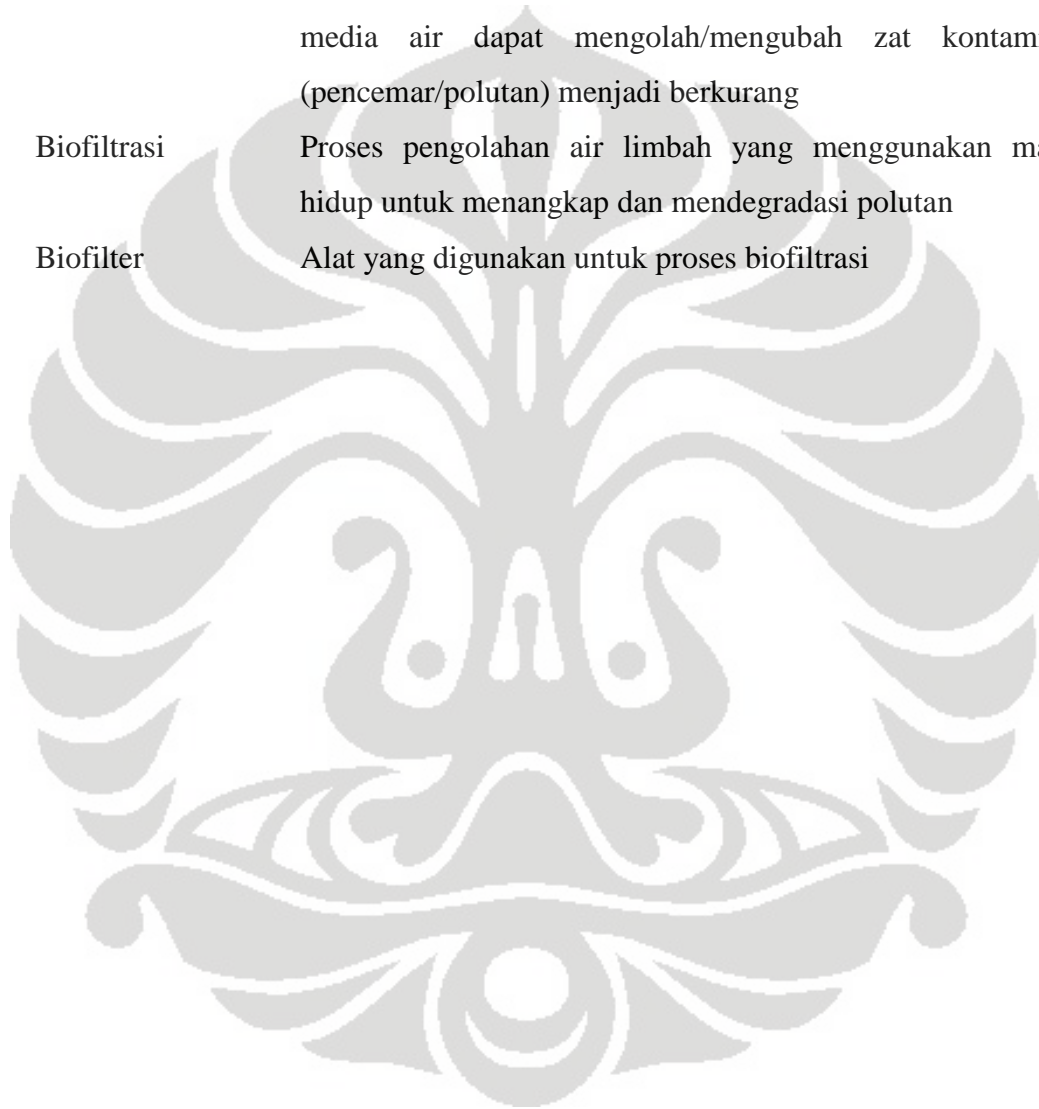
Gambar 2.1. Jenis Tanaman yang Digunakan Pada Lahan Basah	II-17
Gambar 2.2. Sistem dengan <i>Emergent Macrophytes</i>	II-18
Gambar 2.3. Sistem dengan <i>Free Floating Macrophytes</i>	II-18
Gambar 2.4. Sistem dengan <i>Submerged Macrophytes</i>	II-18
Gambar 2.5. Morfologi Eceng Gondok	II-21
Gambar 2.6. Eceng Gondok	II-22
Gambar 2.7. Diagram Alir Kerangka Konsep.....	II-33
Gambar 3.1. Alur Perlakuan.....	III-11
Gambar 4.1. Gambaran Umum Proses Produksi Perakitan Mobil	IV-2
Gambar 4.2. Pengatur pH	IV-4
Gambar 4.3. unit Koagulasi	IV-5
Gambar 4.4. Unit Flotasi.....	IV-6
Gambar 4.5. Unit Bakterial	IV-7
Gambar 4.6. <i>Clarifier Tank</i>	IV-8
Gambar 4.7. Unit Filtrasi (<i>sand filter</i>)	IV-8
Gambar 4.8. Layout IPAL Eksisting.....	IV-9
Gambar 5.1. Variasi 1 hari 0 dan hari 7.	V-3
Gambar 5.2. Variasi 1 hari 0 dan 7 (Eceng gondok).....	V-4
Gambar 5.3. Variasi 2 hari 0 dan hari 7.	V-5
Gambar 5.4. Variasi 2 hari 0 dan hari 7 (Eceng gondok)	V-6
Gambar 5.5. Variasi 3 hari 0 dan hari 7	V-8
Gambar 5.6. Variasi 3 hari 0 dan hari 7 (Eceng Gondok)	V-9
Gambar 5.7. Grafik Perbandingan Perubahan BOD Variasi 1 dan 2.....	V-10
Gambar 5.8. Grafik Perbandingan Perubahan BOD Variasi 2 dan 3.....	V-11
Gambar 5.9. Perbandingan Perubahan COD Variasi 1 dan 2	V-16
Gambar 5.10. Perbandingan Perubahan COD Variasi 2 dan 3	V-17
Gambar 5.11. Perbandingan Perubahan TSS Variasi 1 dan 2.....	V-19
Gambar 5.12. Perbandingan Perubahan TSS Variasi 2 dan 3.....	V-21

Gambar 5.13. Perbandingan Perubahan TDS Variasi 1 dan 2	V-23
Gambar 5.14. Perbandingan Perubahan TDS Variasi 2 dan 3	V-24
Gambar 5.15. Perbandingan Perubahan Konduktivitas Variasi 1 dan 2	V-25
Gambar 5.16. Perbandingan Perubahan Konduktivitas Variasi 2 dan 3	V-26
Gambar 5.17. Perbandingan Perubahan pH Variasi 1 dan 2.....	V-27
Gambar 5.18. Perbandingan Perubahan pH Variasi 2 dan 3.....	V-27
Gambar 5.19. Perbandingan Berat Kering Daun	V-31
Gambar 5.20. Perbandingan Berat Kering Batang.....	V-32
Gambar 5.21. Perbandingan Berat Kering Akar	V-35
Gambar 5.22. Diagram Alir Pengolahan Usulan	V-40
Gambar 5.23 Perbandingan Unit Pengolahan Eksisting dengan Unit Pengolahan Usulan	V-40



DAFTAR ISTILAH

<i>Phyto</i>	Tumbuhan/tanaman
<i>Treatment</i>	Perlakuan/pengolahan
<i>Phyto treatment</i>	Suatu sistem di mana tanaman/tumbuhan tertentu dalam media air dapat mengolah/mengubah zat kontaminan (pencemar/polutan) menjadi berkurang
Biofiltrasi	Proses pengolahan air limbah yang menggunakan materi hidup untuk menangkap dan mendegradasi polutan
Biofilter	Alat yang digunakan untuk proses biofiltrasi



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Seiring dengan kemajuan zaman, meningkat pula kegiatan manusia dan kebutuhan manusia setiap harinya. Salah satu kegiatan yang cukup banyak berkembang di Indonesia terutama di kota-kota besar adalah kegiatan industri, mulai dari industri kecil sampai industri besar yang bertaraf internasional. Kegiatan industri sendiri merupakan kegiatan yang banyak menggunakan air bersih dan juga menghasilkan cukup banyak air limbah.

Industri merupakan salah satu pengguna air bersih dan penghasil air limbah yang cukup besar. Pada umumnya, industri menggunakan air tanah sebagai sumber air baku mereka dan sebagian besar air limbahnya dibuang ke badan air setelah diolah dengan pengolahan air limbah yang mereka miliki. Pada umumnya, industri menggunakan air tanah sebagai air baku air industri. Air tanah yang diambil kemudian diolah terlebih dahulu menjadi air industri sebelum digunakan untuk keperluan proses produksi dan umumnya air tanah diambil dalam jumlah yang besar. Padahal penggunaan air tanah saat ini sedang dibatasi.

Menurut BPLHD Jawa Barat (2009), sampai dengan tahun 2007, pengambilan air tanah di Jawa Barat yang meningkat dari tahun ke tahun berimplikasi terhadap penurunan muka air tanah. Penurunan muka air tanah secara drastis terutama terjadi di Cekungan Bandung yang mencapai penurunan sekitar 2 – 5 m per tahun.

Di Jabar, dari 15 daerah cekungan, sebanyak tiga daerah di antaranya dinyatakan kritis air tanah. Ketiganya meliputi cekungan Kabupaten Bandung, Kabupaten Bogor, dan Kabupaten Bekasi. (Kompas, 2008)

Kebutuhan akan air bersih merupakan salah satu dari kebutuhan pokok yang masih banyak mengalami kekurangan, sedangkan sumber-sumber besar air bersih seperti badan air hampir sebagian besar telah tercemar oleh limbah, baik limbah padat maupun limbah cair. Industri merupakan salah satu sumber yang cukup besar berkontribusi dalam mencemari badan air di Indonesia.

Berdasarkan hasil pemantauan yang dilakukan oleh BPLHD Propinsi Jawa Barat melalui Program Kali Bersih, sungai-sungai di Jawa Barat banyak yang kualitasnya tidak sesuai lagi dengan golongan peruntukannya. Hal ini diakibatkan telah tercemar oleh berbagai polutan terutama oleh limbah cair industri.

Sampai dengan tahun 2007, kualitas air sungai di Jawa Barat masih memperlihatkan kondisi yang memprihatinkan. Pencemaran sumberdaya air oleh industri maupun domestik menyebabkan kualitas air tersebut menjadi semakin buruk. Hasil penelitian yang dilakukan terhadap 7 sungai utama yaitu Cimanuk, Citarum, Cisadane, Kali Bekasi, Ciliwung, Citanduy dan Cilamaya, kesemuanya menunjukkan status mutu D atau kondisi sangat buruk. (BPLHD Jawa Barat, 2009)

Penggunaan air tanah sebenarnya dapat dimanfaatkan lebih efektif lagi jika dilakukan proses daur ulang air. Namun, masih banyak industri yang belum melakukannya karena biaya yang cukup mahal. Padahal terdapat banyak cara dan kekayaan alam yang dapat dimanfaatkan untuk melakukan daur ulang air. Penggunaan tanaman air sebagai media yang dapat memperbaiki kualitas air dapat dijadikan salah satu solusi untuk proses daur ulang air.

Dewasa ini, tanaman air sudah banyak digunakan untuk memperbaiki kualitas air limbah dan dapat dijadikan salah satu alternatif yang dapat dimanfaatkan. Sudah cukup banyak penelitian yang dilakukan mengenai efektivitas tanaman air dalam mereduksi beberapa parameter dalam air limbah. Penggunaan tanaman air dalam mereduksi polutan dalam air limbah yang juga dapat disebut dengan *phyto treatment* yaitu pengolahan limbah dengan menggunakan tanaman.

Untuk mengurangi pemakaian air tanah, diperlukan air pengganti dengan kualitas yang sama untuk dimanfaatkan sebagai air baku untuk diolah menjadi air industri untuk proses produksi. Memperbaiki kualitas dan mengurangi pencemaran badan air oleh limbah industri pun perlu dilakukan. Maka, diperlukan suatu solusi untuk mengatasi keduanya. Efisiensi penggunaan air perlu dilakukan untuk mencapai kedua hal tersebut. Pemanfaatan air limbah yang telah diolah menjadi air baku air industri diharapkan dapat dijadikan sebagai suatu solusi. Dengan menggunakan tanaman air sebagai media untuk memperbaiki kualitas

effluent air limbah yang telah diolah IPAL sebelumnya, diharapkan air sisa tersebut dapat dimanfaatkan kembali untuk penggunaan air baku air industri yang kemudian diolah menjadi air industri.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Air bersih merupakan salah satu komponen penting dalam kehidupan manusia. Salah satu sumber yang banyak digunakan manusia sebagai sumber air baku adalah air tanah. Karena eksploitasi yang berlebihan, air tanah mengalami pengurangan jumlah yang cukup banyak, sehingga pemakaiannya harus diatur untuk menghindari kelangkaan air tanah ataupun penurunan muka tanah.

Industri merupakan salah satu pengguna air tanah yang cukup besar. Jika penggunaan air tanah secara besar-besaran terus dilakukan tanpa ada proses peresapan kembali untuk air tanah, maka semakin lama air tanah akan terus berkurang. Maka dari itu, pemanfaatan air tanah yang lebih efektif diperlukan untuk menekan penggunaan air tanah.

Pemanfaatan dan pengolahan *effluent* air limbah merupakan salah satu cara yang dapat dilakukan untuk usaha daur ulang air. Pada prosesnya, banyak cara dapat dilakukan untuk mengolah *effluent* air limbah, salah satu yang dapat digunakan adalah penggunaan tanaman air untuk memperbaiki kualitas air limbah. Oleh karena itu, maka dirumuskan pertanyaan penelitian sebagai berikut :

1. Bagaimana efektivitas proses *phyto treatment* dengan menggunakan tanaman air eceng gondok terhadap perubahan parameter kualitas air limbah yang diuji pada air limbah *effluent* dari pengolahan sekunder dengan variabel waktu retensi, kualitas air limbah, dan kedalaman air yang berbeda?
2. Bagaimana pengaruh proses *phyto treatment* terhadap pertumbuhan tanaman air terkait dengan waktu panen tanaman air paling efektif?
3. Apakah proses *phyto treatment* efektif sebagai suatu sistem pengolahan air limbah lanjutan untuk menekan penggunaan air tanah ?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk :

1. Mengetahui efektifitas proses *phyto treatment* dengan menggunakan tanaman air eceng gondok terhadap perubahan parameter dalam memperbaiki kualitas air limbah yang diuji pada air limbah effluent dari pengolahan sekunder dengan variabel waktu retensi, kualitas air limbah dan kedalaman air yang berbeda.
2. Mengetahui pengaruh proses *phyto treatment* terhadap pertumbuhan tanaman air terkait dengan waktu panen tanaman air paling efektif.
3. Mengetahui efektifitas proses *phyto treatment* sebagai suatu sistem pengolahan air limbah lanjutan untuk menekan penggunaan air tanah.

1.4 MANFAAT PENELITIAN

Manfaat penelitian ini antara lain sebagai berikut :

a. Bagi Industri

- 1). Dokumentasi referensi kajian ilmiah mengenai pengolahan air limbah hasil pengolahan untuk dimanfaatkan kembali sebagai air domestik bahkan air industri (tergantung pada hasil penelitian).
- 2). Referensi bagi pengambil kebijakan pada level teknis untuk mengelola air yang digunakan dengan lebih efektif.

b. Bagi Penulis

- 1). Sarana latihan berfikir ilmiah dan praktis guna meningkatkan pengetahuan, ketrampilan, dan wawasan, tentang teknologi menggunakan sumber daya alam sebagai pengolah air maupun air limbah.
- 2). Terwujudnya keterkaitan (*link and match*) antara pendidikan dengan dunia kerja. Hasil kajian dunia pendidikan dapat dimanfaatkan oleh dunia kerja, sebaliknya kondisi dunia kerja merupakan lahan studi dunia pendidikan.

c. Bagi Ilmu Pengetahuan Secara Umum

Informasi yang dapat digunakan sebagai referensi maupun data pembanding atau dasar pertimbangan bagi peneliti dan pemerhati masalah lingkungan, terutama tentang meminimalisasi dan efektifitas penggunaan sumber daya alam terutama air tanah.

1.5 BATASAN MASALAH

Penelitian ini hanya akan melingkupi :

1. Penggunaan satu jenis tanaman air yaitu eceng gondok sebagai agen *phyto treatment* dalam pengolahan air limbah lanjutan.
2. Air limbah yang akan diolah adalah air limbah industri otomotif bukan B3 yang berasal dari proses *painting* yang telah melalui proses pengolahan air limbah primer dan sekunder.
3. Variabel yang akan digunakan pada penelitian ini adalah kedalaman air, kualitas air limbah, dan waktu retensi.
4. Sistem pengolahan yang digunakan adalah *batch system*.
5. Analisa mengenai kualitas air limbah sebelum dan sesudah melalui proses *phyto treatment* dibandingkan dengan kriteria mutu air sesuai dengan Peraturan Pemerintah No 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air dan SK Gubernur Jawa Barat No 6 Tahun 1999 tentang BakuMutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri di Jawa Barat.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 UMUM

Perhatian terhadap lingkungan utama yang terkait dengan kegiatan industri adalah debit air limbah yang dihasilkan dan teknologi pengolahan air limbah saat ini terutama ditentukan oleh kebutuhan untuk mencegah dan mengendalikan masalah pembuangan air limbah ke lingkungan terutama ke badan air. Masalah kesehatan dan pencemaran lingkungan berhubungan dengan kurang memadainya instalasi pengolahan limbah yang ada. Pengumpulan, pengolahan dan pembuangan air limbah yang tepat yang diperlukan untuk mendapatkan lingkungan yang lebih baik dan kondisi yang sehat.

Penggunaan tanaman air dalam proses fitoremediasi cukup menjanjikan untuk dijadikan sebuah sistem pengolahan air limbah tambahan dalam industri. Oleh karena itu, dalam rangka untuk mengembangkan sistem pengolahan air limbah menggunakan bahan yang berasal dari alam seperti tanaman air, penting untuk memahami faktor-faktor yang mempengaruhi terbentuknya limbah, komposisi limbah, dan pengolahan serta masalah yang timbul dalam pengolahan air limbah. Sebuah diskusi singkat tentang sistem fitoremediasi dalam hal definisi, jenis, peran tanaman dan mekanisme yang terlibat dalam pengolahan air limbah juga termasuk dalam bab ini. Selain itu, karakteristik air limbah harus diketahui lebih jelas dan pemahaman yang lebih mendasar dari proses transportasi serta proses yang terjadi harus dikembangkan. Oleh karena itu, informasi mengenai efek fitoremediasi terhadap kualitas air limbah telah dikumpulkan dari banyak sumber untuk mengetahui sistem kerja dari fitoremediasi.

2.2 AIR LIMBAH INDUSTRI

Industri adalah kegiatan ekonomi yang mengolah bahan mentah, bahan baku, barang setengah jadi atau barang jadi menjadi barang dengan nilai yang lebih tinggi untuk penggunaannya, termasuk kegiatan rancang bangun dan perekayasaan industri (SK Gubernur Jawa Barat No 6 Tahun 1999). Air limbah

industri adalah limbah dalam wujud cair yang dihasilkan oleh kegiatan industri yang dibuang ke lingkungan dan diduga dapat menurunkan kualitas lingkungan.

Jumlah aliran air limbah yang berasal dari industri sangat bervariasi bergantung dari jenis dan besar-kecilnya industri, derajat penggunaan air, dan instalasi pengolahan air limbah yang ada. Debit puncak air limbah dapat dikurangi dengan penggunaan tangki penahan dan bak ekualisasi. Untuk memperkirakan jumlah air limbah yang dihasilkan oleh industri yang tidak menggunakan proses basah diperkirakan sekitar 7,5-14 m³/ha/hari untuk industri kecil berkembang dan 14-28 m³/ha/hari untuk industri menengah. Untuk industri tanpa upaya daur ulang air limbahnya, dapat diasumsikan bahwa sekitar 85-95% dari jumlah air yang dipergunakan dalam kegiatan dan proses produksi merupakan air limbah. Untuk industri besar dengan fasilitas daur ulang air limbah, estimasi terpisah antara penggunaan air dengan sumber air bersih dan air hasil daur ulang berdasarkan penggunaan air sebenarnya harus dibuat. Apabila industri tersebut memanfaatkan kembali air limbahnya, maka jumlahnya akan lebih kecil lagi. (Reynolds & Richards, 1996, hal 102).

2.2.1 Komposisi Air Limbah Industri

Air limbah dikarakterisasikan dalam bentuk komposisi fisika, kimia, dan biologi. Sesuai dengan sumber asalnya, maka air limbah memiliki komposisi yang sangat bervariasi dari setiap tempat dan waktu. Kandungan zat-zat yang berasal dari setiap industri sangat ditentukan oleh jenis industri itu sendiri. Untuk mengetahui kadar zat yang terkandung di dalam air limbah industri, maka berikut ini adalah parameter yang perlu mendapat perhatian dari setiap jenis limbah industri.

Tabel 2.1. Parameter Penting pada Setiap Jenis Air Limbah Industri

Parameter	Industri													
	Kendaraan	Minuman	Pengalengan	Pupuk	Kimia Anorganik	Kimia Organik	Dagang	Besi	Plastik	Kertas	Minyak	Baja	Tekstil	Harian
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
BOD	x	x	X		x	x	X		x	x	x		x	x
COD	x		X	x	x	x		x	x	x	x		x	x
TOC			X			x				x	x			x
TOD						x								
pH		x	X	x	x	x	X		x	x	x	X	x	x
Total Solids	x				x									
Suspended solids	x	x	X	x	x	x	X	x	x	x	x	X	x	x
settleable solids		x					X							
TDS		x	X	x	x	x	X		x	x	x		x	
VSS											x			
Minyak dan Lemak	x	x		x		x	X	x	x	x	x	X	x	
Logam Berat						x		x		x			x	
Krom	x			x	x					x	x	X	x	
Timbal (<i>copper</i>)											x			
Nikel	x													

Sumber : Sugiharto, 1987. "Dasar-dasar pengelolaan air limbah"

Tabel 2.1. Parameter Penting pada Setiap Jenis Air Limbah Industri (lanjutan)

Parameter	Industri													
	Kendaraan	Minuman	Pengalengan	Pupuk	Kimia Anorganik	Kimia Organik	Dagang	Besi	Plastik	Kertas	Minyak	Baja	Tekstil	Harian
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Besi	x			x	x						x	x		
seng	x			x					x		x	x		
arsen					x									
air raksa				x	x									
timbal	x				x						x			
tin	x											x		
kadmium	x													
kalsium				x										
flourida				x	x									
sianida					x	x		x	x		x	x		
klorida	x			x	x	x					x	x		x
sulfat	x			x	x				x		x	x		
amoniak	x			x		x	x		x	x	x	x		
sodium				x										
silikat					x									
sulfit										x				
nitrat	x			x		x			x	x	x			x
fosfor			x	x	x	x	x		x	x	x			x
urea anorganik				x										
warna		x	x				x			x	x		x	x
jumlah coli		x					x			x				
coli feses			x							x				
bahan beracun		x					x		x	x	x		x	x
temperatur		x	x	x	x						x	x	x	x
kekeruhan		x					x			x	x			x
buih		x												
bau										x	x			
fenol	x				x	x			x		x	x	x	
klorinated benzoids dan polinuklear aromatics					x				x					
mercaptant/ sulfida									x		x		x	

Sumber : Sugiharto, 1987, "Dasar-dasar pengelolaan air limbah"

2.2.2 Karakteristik Kualitas Air Limbah Industri

Untuk mengetahui lebih luas mengenai air limbah, maka perlu kiranya diketahui juga secara detail mengenai kandungan yang ada di dalam air limbah juga karakteristiknya. Tingkat pengolahan air limbah tergantung pada karakteristik kualitas dan kualitas *effluent* yang diperlukan. Karakteristik air limbah dapat diklasifikasikan dalam karakteristik fisik, biologi, dan kimia, berdasarkan keadaan alaminya. Terdapat banyak pengujian yang dapat dilakukan pada instalasi pengolahan air limbah, tapi biasanya hanya pengujian yang dibutuhkan untuk mencapai baku mutu dan pengujian dibutuhkan untuk menjamin pengolahan yang tepat dilakukan. Selain pencemar dalam air, air limbah akan mengandung zat pencemar atau polutan sebagai akibat dari penggunaannya. Pada air limbah perkotaan, zat pencemar tambahan pada badan air adalah akibat dari kegiatan domestik, komersial, dan industri.

(Reynolds & Richards, 1996, hal 102).

1. Karakteristik Fisik

Penentuan derajat kekotoran air limbah sangat dipengaruhi oleh adanya sifat fisik yang mudah terlihat. Adapun sifat fisik yang penting adalah kandungan total zat padat yang terdiri dari material mengapung, material yang dapat mengendap, koloid, dan material terlarut. Karakteristik fisika penting lainnya termasuk distribusi partikel, kekeruhan, transmittan, temperatur, konduktivitas, densitas, dan berat jenis. Bau terkadang juga dijadikan faktor yang perlu diperhatikan (Metcalf & Eddy, 2004, hal. 42). Namun, karakteristik fisik utama dari air limbah, seperti air limbah perkotaan, adalah kekeruhan, warna, bau, padatan total (padatan tersuspensi dan terlarut), dan suhu.

Kekeruhan air limbah terutama disebabkan oleh kandungan zat padat organik tersuspensi, yang memiliki berbagai ukuran dari koloid sampai suspensi kasar. Air limbah perkotaan memiliki kandungan air

sebesar 99,95%, tetapi padatan organik yang terkandung di dalamnya memberikan efek gambaran bahwa mereka menyebabkan kebutuhan oksigen secara biologis (Reynolds & Richards, 1996, hal: 102).

Kekeruhan, pengukuran properties air dengan menggunakan media cahaya, yang juga merupakan tes yang digunakan untuk mengindikasikan kualitas air buangan dan air alami yang menunjukkan koloid dan residu material tersuspensi. Pengukuran kekeruhan didasarkan pada perbandingan intensitas cahaya yang tersebar oleh referensi suspense pada kondisi yang sama. Hasil pengukuran kekeruhan disajikan dalam bentuk nephelometric turbidity units (NTU) (Metcalf & Eddy, 2004, hal. 51).

Warna dari air limbah perkotaan tergantung dari sumber yang menghasilkan air limbah dan debit yang dihasilkannya. Selain itu, warna air limbah juga dipengaruhi oleh umur air limbah itu sendiri, semakin lama umur air limbah, maka airnya akan memiliki warna yang semakin gelap. Warna yang menjadi semakin gelap diakibatkan oleh produksi sejumlah sulfida, dalam bentuk sulfida besi tertentu. Sulfida hidrogen, yang diproduksi pada kondisi anaerob, bereaksi dengan sejumlah ion besi, memproduksi sulfida besi yang berwarna hitam. (Reynolds & Richards, 1996, hal 102).

Bau dari air limbah perkotaan adalah bau sabun atau berminyak yang tidak mengganggu. Air limbah perkotaan yang sudah lama telah mengalami pembusukan oleh bakteri anaerobik ekstensif, yang menghasilkan senyawa ofensif, seperti hidrogen sulfida, mercaptans, indol, dan skatol. Sulfida hidrogen menghasilkan bau seperti bau telur busuk. (Reynolds & Richards, 1996, hal 102)

Total padatan pada air limbah terdiri dari padatan tersuspensi dan padatan terlarut (Reynolds & Richards, 1996, hal 103). Air limbah mengandung berbagai material padatan yang bervariasi dari material bekas sampai koloid. Pada karakterisasi air limbah, material kasar biasanya dihilangkan sebelum sampel dianalisis kandungan padatannya. Klasifikasi padatan akan dijelaskan pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.2 Definisi Padatan pada Air Limbah

Tes (mg/L)	Deskripsi
<i>Total Solid (TS)</i>	Sisa padatan yang tetap ada setelah sampel air limbah dievaporasi dan dikeringkan pada suhu spesifik (103-105°C)
<i>Total Volatile Solids (TVS)</i>	Padatan yang dapat menguap dan terbakar habis ketika padatan total (TS) dipanaskan pada suhu 500 ± 50°C.
<i>Total Fixed Solids (TFS)</i>	Sisa yang tetap ada setelah TS dipanaskan (500 ± 50°C)
<i>Total Suspended Solids (TSS)</i>	Porsi TS yang tertahan pada filter dengan ukuran pori yang spesifik, diukur setelah dikeringkan pada temperatur 105°C.
<i>Volatile Suspended Solids (VSS)</i>	Padatan yang dapat menguap dan terbakar habis ketika TSS dipanaskan pada suhu 500 ± 50°C.
<i>Fixed Suspended Solids (FSS)</i>	Sisa yang tetap ada setelah TSS dipanaskan (500 ± 50°C)
<i>Total Dissolved Solids (TDS)</i>	Padatan yang dapat melewati filter dan dievaporasi dan dikeringkan pada temperatur spesifik. Harus diperhatikan bahwa yang dihitung sebagai TDS adalah terdiri dari koloid dan padatan terlarut. Koloid memiliki ukuran tipikal antara 0,001 sampai 1 µm.
<i>Total Volatile Dissolved Solids (VDS)</i>	Padatan yang dapat menguap dan terbakar habis ketika TDS dipanaskan pada suhu 500 ± 50°C.
<i>Fixed Dissolved Solids (FDS)</i>	Sisa yang tetap ada setelah TDS dipanaskan (500 ± 50°C)
<i>Settleable Solids</i>	Padatan tersuspensi, dengan satuan mililiter per liter, yang akan mengendapkan suspensi dalam periode waktu tertentu.

Sumber : Metcalf & Eddy, 2004. "Wastewater Engineering Treatment and Reuse".

Konduktivitas elektrik (*Electrical Conductivity*) air merupakan pengukuran kemampuan larutan untuk mengalirkan muatan listrik. Karena muatan listrik dialirkan oleh ion pada larutan, konduktivitas meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi ion. Pengukuran nilai EC juga digunakan mewakili pengukuran konsentrasi total padatan terlarut (TDS). Konduktivitas elektrik dalam unit SI diekspresikan sebagai milisiemens per meter (mS/m).

Temperatur atau suhu air limbah biasanya lebih tinggi dibandingkan dengan air bersih pada pasokan kota karena adanya tambahan air hangat dari kegiatan industri. Karena panas spesifik air lebih tinggi dibandingkan dengan udara, maka temperatur air limbah yang diamati lebih tinggi daripada temperatur udara setempat. (Reynolds & Richards, 1996, hal 104)

Kekeruhan, warna, bau, total padatan, padatan tersuspensi dan terlarut, dan suhu air limbah industri (organik dan anorganik) akan beragam sesuai dengan sumber air limbah (Reynolds & Richards, 1996, hal 102).

2. Karakteristik Kimia

Kandungan bahan kimia yang ada di dalam air limbah dapat merugikan lingkungan. Bahan organik terlarut dapat menghabiskan oksigen dalam limbah serta akan menimbulkan rasa dan bau yang tidak sedap pada penyediaan air bersih. Adapun bahan kimia yang penting yang ada di dalam air limbah pada umumnya dapat berupa bahan organik, protein, karbohidrat, lemak, minyak, detergen atau surfaktan, fenol, bahan anorganik, pH, klorida, sulfur, logam berat, nitrogen, dan bahan kimia lainnya, kandungan zat-zat tersebut bergantung pada jenis kegiatan industri yang berlangsung dan bahan yang digunakan.

Karakteristik kimia air limbah terdiri dari *chemical oxygen demand* (COD), *total organic carbon* (TOC), berbagai bentuk nitrogen, berbagai bentuk fosfor, ion klorida, ion sulfat, alkalinitas, pH, logam berat, *trace elements*, dan polutan lain.

Chemical oxygen demand (COD) merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses mikrobiologis, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air.

Chemical Oxygen Demand (COD) atau Kebutuhan Oksigen Kimia (KOK) yaitu jumlah oksigen (mg O_2) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam sampel air dimana peoksidasi $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ digunakan sebagai sumber oksigen (*oxidizing agent*) (Alaerts & Santika, 1984, hal 149).

Total organic carbon (TOC) merupakan ukuran dari pencemaran oleh material organik yaitu jumlah karbon pada material organik. TOC diukur dengan menghilangkan karbon dioksida yang ada, membakar

sample, dan mengukur jumlah karbon pada karbon dioksida yang berevolusi (Reynolds & Richards, 1996, hal 104).

Nitrogen organik merupakan jumlah nitrogen yang terdapat pada kandungan organik, seperti protein dan urea dan hasil degradasinya. Selain nitrogen organik, kandungan nitrogen lain yang mungkin terkandung dalam air limbah adalah ammonia nitrogen, nitrit nitrogen, dan nitrat nitrogen. (Reynolds & Richards, 1996).

Fosfor pada air limbah dibagi menjadi dua, yaitu fosfor organik dan anorganik. Fosfor organik merupakan jumlah fosfor yang terdapat pada kandungan zat organik seperti protein dan produk hasil degradasinya. Fosfor anorganik merupakan jumlah fosfor yang terkandung pada zat anorganik seperti ion fosfat. Kebanyakan dari fosfor anorganik berasal dari dekomposisi fosfor organik oleh bakteri. (Reynolds & Richards, 1996).

Nilai pH digunakan untuk memperkirakan kemampuan untuk menggunakan kembali air limbah yang telah diolah. Mengetahui nilai alkalinitas dan pH berguna untuk mengontrol beberapa proses pengolahan. Nilai pH dari air limbah yang belum diolah adalah antara 6,5 sampai 9 untuk dapat diolah secara biokimia karena nilai pH yang dibutuhkan terbatas. (Reynolds & Richards, 1996, hal 105)

Kandungan ion logam berat seperti merkuri, arsenic, timbale, chromium, dan lainnya sangat penting untuk memperkirakan kemampuan mengolah air limbah karena kandungan logam berat dalam konsentrasi tertentu dapat menghambat proses biologi. (Reynolds & Richards, 1996).

Air limbah industri organik umumnya memiliki konsentrasi COD dan TOC yang lebih tinggi dibandingkan dengan air limbah perkotaan. Jumlah nitrogen organik, ammonia nitrogen, nitrit nitrogen, nitrat nitrogen, fosfor organik, fosfor inorganik, dan ion logam berat, juga alkalinitas, kandungan lemak, dan pH, beragam tergantung pada sumber air limbah. Secara berkala, pH memerlukan pengaturan, dan nitrogen dan fosfor harus ditambahkan untuk air limbah agar dapat diolah menggunakan proses biologi. Biasanya, kandungan *trace elements* yang terbawa air limbah memadai untuk proses biologis. (Reynolds & Richards, 1996, hal: 105)

3. Karakteristik Biologis

Karakteristik biologis utama dari air limbah adalah *biochemical oxygen demand* (BOD) yang merupakan ukuran material organik. BOD menggambarkan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk nitrifikasi zat organik dan ammonia nitrogen, dan populasi mikroba di dalam air limbah.

BOD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba, khususnya bakteri, pada proses stabilisasi material organik pada kondisi aerob. Karena jumlah oksigen bervariasi sesuai dengan lamanya waktu dan suhu, uji standar selama 5 hari pada suhu 20°C, dan nilai yang dihasilkannya menunjukkan nilai lima hari BOD (BOD₅). (Reynolds & Richards, 1996, hal: 106).

Air limbah organik dari industri umumnya memiliki konsentrasi BOD₅ yang lebih tinggi daripada air limbah perkotaan. Kebutuhan nitrogen bervariasi berdasarkan sumbernya. Umumnya, air limbah organik dari industri memiliki sedikit populasi mikroba. (Reynolds & Richards, 1996).

2.3 PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI

Air limbah industri umumnya memiliki karakteristik yang cukup kompleks, sehingga membutuhkan pengolahan yang mampu mengolah kesekuruhan karakteristik yang ada. Karakteristik limbah industri akan tergantung pada sumbernya, industri-industri yang proses produksinya tidak menggunakan bahan berbahaya akan memiliki karakteristik air limbah yang tidak jauh berbeda dengan karakteristik air limbah perkotaan, hanya saja akan berbeda di beberapa parameter tertentu tergantung pada industrinya. Dengan karakteristik yang hampir sama dengan air limbah perkotaan, pengolahan air limbah yang digunakan umumnya juga tidak jauh berbeda dengan yang biasa digunakan dengan air limbah perkotaan, hanya saja umumnya lebih mengkombinasikan unit dan jenis pengolahan yang ada.

2.3.1 Pengolahan Fisika-Kimia

Berbagai proses fisika-kimia pada pengolahan air limbah telah banyak dilakukan. Namun, pengolahan secara fisika-kimia yang umumnya dapat terdiri dari unit koagulasi, flokulasi, flotasi, dan sedimentasi.

Koagulasi merupakan proses penambahan dan pengadukan cepat koagulan pada air limbah, destabilisasi terjadi akibat banyaknya koloid padatan tersuspensi dan padatan halus, dan agregasi awal dari destabilisasi partikel (Reynolds & Richards, 1996, hal 166).

Flokulasi adalah proses pengadukan lambat pada partikel atau agregat yang telah mengalami destabilisasi dan membentuk flok lalu dapat diendapkan (Reynolds & Richards, 1996, hal 166). Proses flokulasi berbanding terbalik dengan proses flotasi.

Flotasi dapat diartikan sebagai suatu pemisahan suatu zat dari zat lainnya pada suatu cairan/larutan berdasarkan perbedaan sifat permukaan dari zat yang akan dipisahkan, dimana zat yang bersifat hidrofilik tetap berada fasa air sedangkan zat yang bersifat hidrofobik akan terikat pada gelembung udara dan akan terbawa ke permukaan larutan dan membentuk buih yang kemudian dapat dipisahkan dari cairan tersebut. Secara umum flotation melibatkan 3 fase yaitu cair (sebagai media), padat (partikel yang terkandung dalam cairan) dan gas (gelembung udara) (Metalsalash. 2010).

Faktor- faktor yang mempengaruhi pemilihan penggunaan flokulasi atau flotasi adalah ukuran partikel, pH larutan, surfaktan, dan bahan kimia yang lain, misalnya koagulan. Ukuran partikel yang besar membuat partikel tersebut cenderung untuk mengendap sehingga susah untuk terflotasi. Sedangkan pH yang tinggi mengakibatkan partikel cenderung mengendap. Fungsi surfaktan adalah kolektor yang merupakan reagen yang memiliki gugus polar dan gugus non polar sekaligus. Kolektor akan mengubah sifat partikel dari hidrofil menjadi hidrofob. Sedangkan penambahan koagulan dapat mengakibatkan ukuran partikel-partikel menjadi lebih besar. Faktor yang mempengaruhi flotasi adalah laju udara yang berfungsi sebagai pengikat partikel yang memiliki sifat permukaan hidrofobik, persen padatan, untuk flotasi pada partikel kasar dapat dilakukan dengan persen padatan yang besar demikian sebaliknya, besar laju pengumpanan yang

berpengaruh terhadap kapasitas dan waktu tinggal. Laju udara pembilasan yang berfungsi untuk mengalirkan konsentrat ke dalam launder. Ketebalan lapisan buih dan ukuran gelembung udara juga mempengaruhi flotasi. (Metalsalash, 2010). Flotasi biasanya digunakan pada jenis padatan atau flok yang terbentuk dengan berat yang ringan.

Sedimentasi merupakan proses pemisahan padatan dari air limbah dengan memanfaatkan gaya gravitasi untuk mengendapkan zat padat tersuspensi (Reynolds & Richards, 1996, hal 219).

2.3.2 Pengolahan Biologis

Pengolahan biologis melibatkan pertumbuhan mikroba yang aktif untuk kontak dengan air limbah sehingga mereka dapat mengkonsumsi polutan sebagai makanan. Terdapat beberapa jenis pengolahan air limbah secara biologis, diantaranya adalah *activated sludge* (lumpur aktif), *Stabilization Pond*, *Aerated Lagoon*, dan *Anaerobic Treatment Processes*

Air limbah industri memiliki karakteristik yang berbeda dari karakteristik air limbah perkotaan. Karakteristik air limbah akan tergantung pada sumber dan proses produksi yang terjadi pada industri. Umumnya air limbah industri memiliki karakteristik yang lebih kompleks, sehingga pengolahan biologis yang umum digunakan adalah lumpur aktif.

Activated Sludge (lumpur aktif) menggunakan pertumbuhan campuran mikroorganisme dalam kondisi aerobik untuk menggunakan bahan organik dalam air limbah sebagai substrat, maka bahan organik dihilangkan melalui proses respirasi mikroba dan sintesis (Reynolds & Richards, 1996, hal 411).

Pada proses lumpur aktif, mikroorganisme dicampurkan dengan zat organik sehingga mereka dapat tumbuh dan menstabilkan zat organik. Ketika mikroorganisme tumbuh dan tercampur melalui agitasi udara, masing-masing organism berikatan (membentuk flok) untuk membentuk massa flok dari mikroba yang aktif yang disebut lumpur aktif (Syed R. Qasim, 1985, hal 305).

2.4 FITOREMEDIASI

Fitoremediasi merupakan penggunaan langsung tanaman hidup untuk *in situ* remediasi untuk tanah yang terkontaminasi, lumpur, sedimen, dan air tanah melalui penghilangan kontaminan, degradasi, dan penahanan. Menanam dan di beberapa kasus memanen tanaman pada lahan yang terkontaminasi sebagai metode remediasi secara estetis menyenangkan, menggunakan solar energi, teknik pasif yang dapat digunakan untuk membersihkan lahan dengan level kontaminan yang sangat rendah, rendah, sampai sedang. Teknik ini dapat digunakan bersama dengan pengolahan mekanik atau di beberapa kasus di tempat pengolahan mekanik. Fitoremediasi dapat digunakan untuk membersihkan logam, pestisida, pelarut, bahan peledak, minyak mentah, polycyclic hidrokarbon aromatik, dan air lindi dari TPA.

Fitoremediasi telah dipelajari secara ekstensif pada penelitian dan demonstrasi skala kecil, tetapi aplikasi dengan skala sebenarnya masih terbatas jumlahnya. Penelitian dan pengembangan lebih lanjut dari mekanisme yang diuraikan di bawah ini mungkin akan menyebabkan penerimaan dan penggunaan yang lebih luas dari fitoremediasi.

Fitoremediasi adalah istilah umum untuk beberapa cara dengan menggunakan tanaman untuk meremediasi lahan dengan menghilangkan polutan dari tanah dan air. Tanaman dapat menurunkan polutan organik dan menstabilkan kontaminan logam dengan bertindak sebagai penyaring atau jebakan. Beberapa metode yang sedang diuji dijelaskan di bawah ini. (US EPA, 1999, hal vii).

a. *Phytoextraction*

Phytoextraction, juga disebut dengan *phytoaccumulation*, yang merupakan penyerapan dan translokasi kontaminan logam dalam tanah oleh akar tanaman ke bagian-bagian dari tanaman yang berada di permukaan tanah. Beberapa tanaman yang disebut *hyperaccumulators* menyerap logam dalam jumlah besar dibandingkan dengan tanaman lain. Satu atau kombinasi dari tanaman-tanaman ini dipilih dan ditanam di sebuah lahan berdasarkan jenis logam yang terkandung di dalamnya dan kondisi lahan lainnya. Setelah tanaman dibiarkan tumbuh selama beberapa minggu atau bulan, mereka dipanen

ataupun dibakar atau kompos untuk mendaur ulang logamnya. Prosedur ini dapat diulang jika diperlukan untuk mencapai tingkat kontaminan pada tanah ke batas yang diijinkan. Jika tanaman dibakar, abu harus dibuang di *landfill* limbah berbahaya (B3), tetapi volume abu akan kurang dari 10% dari volume yang akan dibuat jika tanah yang tercemar digali untuk pemulihan. (US EPA, 1999, hal vii).

b. ***Rhizofiltration***

Rhizofiltration merupakan proses adsorpsi atau pengendapan (presipitasi) kontaminan ke akar tanaman atau penyerapan kontaminan ke akar yang terlarut dan berada disekeliling zona akar. Tanaman yang akan digunakan untuk pengolahan dipelihara di rumah kaca dengan akar-akarnya di dalam air bukan di tanah. Untuk mengaklimasi tanaman ketika sistem akar telah dikembangkan, air limbah yang dikumpulkan dari lokasi pembuangan dan dibawa ke tanaman dan menggantikan sumber air bagi tanaman. Tanaman ini kemudian ditanam di area yang terkontaminasi di mana akar mengambil air dan kontaminan bersamaan. Setelah akar menjadi jenuh dengan limbah, mereka dipanen dan dibakar atau kompos untuk mendaur ulang limbah. (US EPA, 1999, hal vii).

c. ***Phytostabilization***

Phytostabilization merupakan penggunaan jenis tanaman tertentu untuk melumpuhkan kontaminan di dalam tanah dan air tanah melalui penyerapan dan akumulasi oleh akar, adsorpsi ke akar, atau presipitasi ke zona akar. Proses ini mengurangi mobilitas kontaminan dan mencegah perpindahan ke air tanah atau udara, dan mengurangi kemampuan biologis untuk masuk ke rantai makanan. Teknik ini dapat digunakan untuk membangun kembali sebuah vegetasi pada lahan-lahan yang vegetasi alamnya telah berkurang karena tingginya konsentrasi logam di permukaan tanah atau gangguan fisik material surficial. Spesies tanaman yang toleran terhadap logam dapat digunakan untuk memulihkan vegetasi pada lahan, sehingga mengurangi potensi pergerakan kontaminan melalui erosi angin, transportasi permukaan

tanah, dan perembesan kontaminasi ke dalam air tanah. (US EPA, 1999, hal vii).

d. ***Phytodegradation***

Phytodegradation, juga disebut *phytotransformation*, merupakan penguraian kontaminan yang diambil oleh tanaman melalui proses metabolisme di dalam tanaman, atau penguraian kontaminan eksternal kepada tanaman melalui efek dari senyawa (seperti enzim) yang dihasilkan oleh tanaman. Polutan mengalami degradasi, dimasukkan ke dalam jaringan tanaman, dan digunakan sebagai nutrisi. (US EPA, 1999, hal viii).

e. ***Rhizodegradation***

Rhizodegradation, juga disebut biodegradasi rhizosphere yang ditingkatkan, *phytostimulation*, atau *plant-assisted bioremediation/degradation*, adalah penguraian kontaminan dalam tanah melalui aktivitas mikroba yang diperkuat oleh kehadiran rhizosphere dan proses yang jauh lebih lambat dibandingkan *phytodegradation*. Mikroorganisme (ragi, jamur, atau bakteri) mengkonsumsi dan mencerna zat organik untuk kebutuhan nutrisi dan energi. Beberapa mikroorganisme dapat mencerna bahan organik seperti bahan bakar atau pelarut yang berbahaya bagi manusia dan menguraikannya menjadi produk-produk yang tidak berbahaya melalui biodegradasi. Bahan alami yang dilepaskan oleh akar tanaman (gula, alkohol, dan asam) mengandung karbon organik yang menyediakan makanan bagi mikroorganisme tanah, dan nutrisi tambahan yang meningkatkan aktivitas mereka. Biodegradasi juga dibantu oleh cara tanaman melonggarkan struktur tanah dan transportasi air ke daerah tersebut. (US EPA, 1999, hal viii).

f. ***Phytovolatilization***

Phytovolatilization merupakan pengambilan dan transpirasi dari kontaminan oleh tanaman, dengan pelepasan kontaminan atau bentuk modifikasi dari kontaminan dari tanaman ke atmosfer. *Phytovolatilization* terjadi ketika pohon-pohon dan tanaman lainnya yang tumbuh mengambil air dan

kontaminan organik. Beberapa dari kontaminan dapat melewati tanaman menuju daun dan menguap ke atmosfer pada konsentrasi yang relatif rendah. (US EPA, 1999, hal viii).

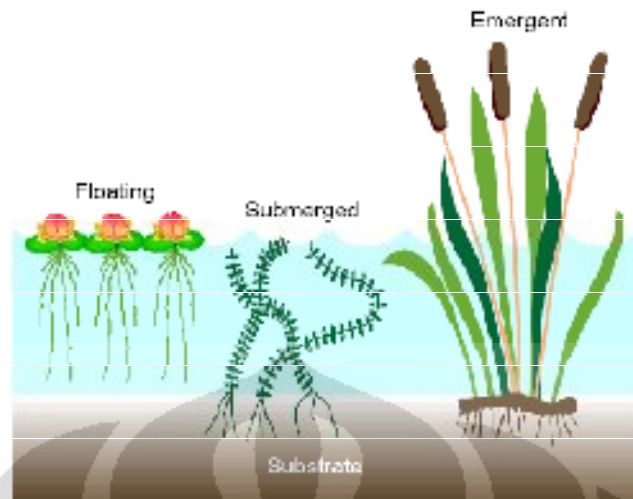
2.5 SISTEM AKUAKULTUR TANAMAN AIR

Aquakultur didefinisikan sebagai penggunaan tanaman atau hewan air sebagai komponen di dalam sistem pengolahan limbah cair (Reed, Middlebrooks, and Crites, 1988, hal 127). Sistem pengolahan ini dapat menggunakan satu tipe utama tanaman atau hewan air dalam suatu operasi *monoculture*, atau menggunakan variasi tanaman dan hewan air dalam suatu operasi *polyculture*. Komponen biologi utama pada proses ini mencakup tanaman air (*floating plants*, *submerge plants*), ikan dan hewan air lainnya, serta organisme plankton. (Reed, Middlebrooks, and Crites, 1988, hal 127).

Tanaman air merupakan bagian dari vegetasi penghuni bumi ini, yang media tumbuhnya adalah perairan. Penyebarannya meliputi perairan air tawar, payau sampai ke lautan dengan beraneka ragam jenis, bentuk dan sifatnya. Jika memperhatikan sifat dan posisi hidupnya di perairan, tanaman air dapat dibedakan dalam 4 jenis, yaitu :

- tanaman air yang hidup pada bagian tepian perairan, disebut *marginal aquatic plant* ;
- tanaman air yang hidup pada bagian permukaan perairan, disebut *floating aquatic plant* ;
- tanaman air yang hidup melayang di dalam perairan, disebut *submerge aquatic plant* ; dan
- tanaman air yang tumbuh pada dasar perairan, disebut *the deep aquatic plant*.

(Guntur Yusuf, 2008, hal 136)



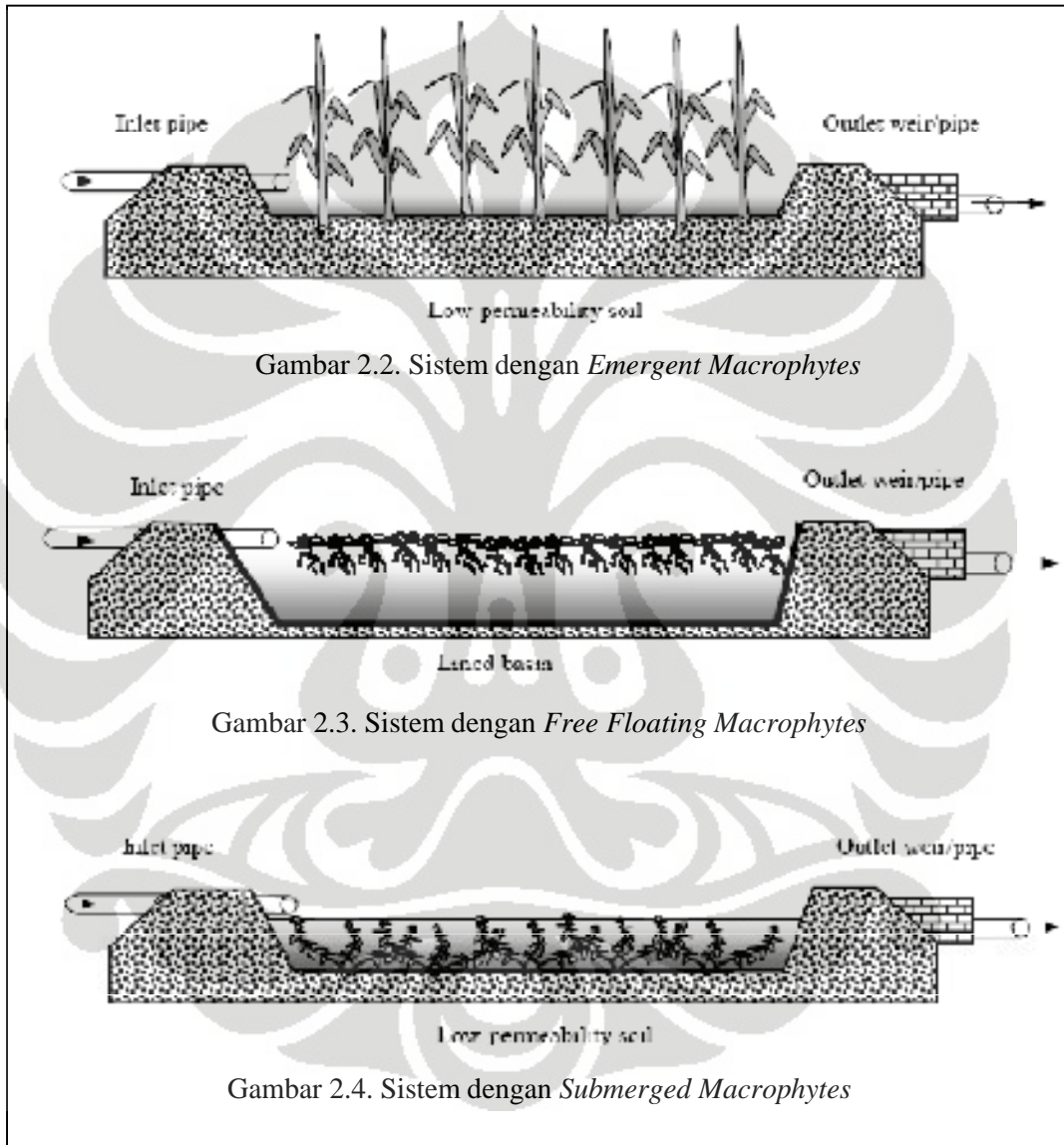
Gambar 2.1. Jenis Tanaman yang Digunakan Pada Lahan Basah

Sumber : (Mashhor *et al.*, 2002) Ain Nihla, 2006, hal 46.

Sistem akuakultur dengan menggunakan tanaman air sama seperti *free water surface wetlands* yang menggunakan tanaman air baik tanaman yang mengambang bebas (*Free Floating Macrophyte based*), tanaman terendam (*Submerged Macrophyte based*), ataupun tanaman yang muncul bagian atasnya (*Emergent Macrophyte based*).

Kemampuan tanaman air menjernihkan limbah cair akhir-akhir ini banyak mendapat perhatian. Berbagai penemuan tentang hal tersebut telah dikemukakan oleh para peneliti, baik yang menyangkut proses terjadinya penjernihan limbah, maupun tingkat kemampuan beberapa jenis tanaman air. Hal tersebut antara lain dikemukakan oleh Stowell (2000) yang menyatakan bahwa tanaman air memiliki kemampuan secara umum untuk menetralkan komponen-komponen tertentu di dalam perairan, dan hal tersebut sangat bermanfaat dalam proses pengolahan limbah cair. Selanjutnya Suriawiria (2003) mengemukakan bahwa penataan tanaman air di dalam suatu bedengan-bedengan kecil dalam kolam pengolahan dapat berfungsi sebagai saringan hidup bagi limbah cair yang dilewatkan pada bedengan. Hal tersebut menunjukkan bahwa kemampuan tanaman air untuk menyaring bahan-bahan yang larut di dalam limbah cair potensial untuk dijadikan bagian dari usaha pengolahan limbah cair. Demikian pula yang dikemukakan oleh Reed (2005) bahwa proses pengolahan limbah cair dalam kolam yang

menggunakan tanaman air terjadi proses penyaringan dan penyerapan oleh akar dan batang tanaman air, proses pertukaran dan penyerapan ion, dan tanaman air juga berperan dalam menstabilkan pengaruh iklim, angin, cahaya matahari dan suhu. (Guntur Yusuf, 2008, hal 137).



Sumber : (Brix, 1993) Ain Nihla, 2006, hal 33

Berdasarkan berbagai fakta dan penemuan tersebut, maka peluang untuk memanfaatkan tanaman air pada proses bioremediasi limbah sangat memungkinkan, sehingga diperlukan suatu penelitian untuk memperoleh fakta-fakta ilmiah yang lebih detail. Untuk itu maka berbagai penelitian dalam bentuk simulasi tanaman air telah dilaksanakan dengan tujuan untuk mengetahui, sejauhmana pengaruh bioremediasi yang menggunakan tanaman air, terhadap peningkatan kualitas limbah, bagaimana peranan komposisi tanaman air dan pengenceran limbah terhadap efektivitas pengolahan limbah. Beberapa jenis tanaman air yang telah diujikan yakni Mendong (*Iris sibirica*), Teratai (*Nymphaea firecrest*), Kiambang (*Spirodella polyrrhiza*) dan Hidrilla (*Hydrilla ferticillata*), untuk meningkatkan kualitas limbah, serta mengetahui perbandingan kualitas limbah yang telah melalui proses bioremediasi dengan baku mutu yang telah ditetapkan.

Respon dari pengolahan dalam suatu sistem aquakultur bergantung baik pada pengambilan material langsung oleh tumbuhan atau hewan dan oleh karena kehadiran biota ini mengubah lingkungan fisik di dalam sistem atau, seperti dalam kasus bakung air (eceng gondok), akar tanaman yang bertindak sebagai tuan rumah mikroba substrat sebagai tempat menempelnya mikroorganisme yang memberikan tingkat perlakuan/pengolahan yang sangat signifikan. Semua tanaman dan hewan air ini memiliki kebutuhan lingkungan yang spesifik yang harus dijaga untuk penggunaan yang sukses, dan di banyak kasus proses panen regular dibutuhkan untuk memastikan pencapaian yang maksimum (Reed, Middlebrooks, and Crites, 1988, hal 127).

Sistem tanaman air dapat didesain untuk pengolahan air limbah atau untuk level pengolahan lainnya, sampai dengan pengolahan tersier dari effluent pengolahan sekunder. Seperti sistem pengolahan dengan kolam lainnya, parameter desain yang paling penting adalah beban organik. Derajat penghilangan nutrient yang diraih oleh sistem tanaman air secara langsung berhubungan dengan frekuensi panen. Sistem dengan tanaman air hanya digunakan pada lokasi di mana tanaman dapat hidup secara natural.

2.6 ECENG GONDOK

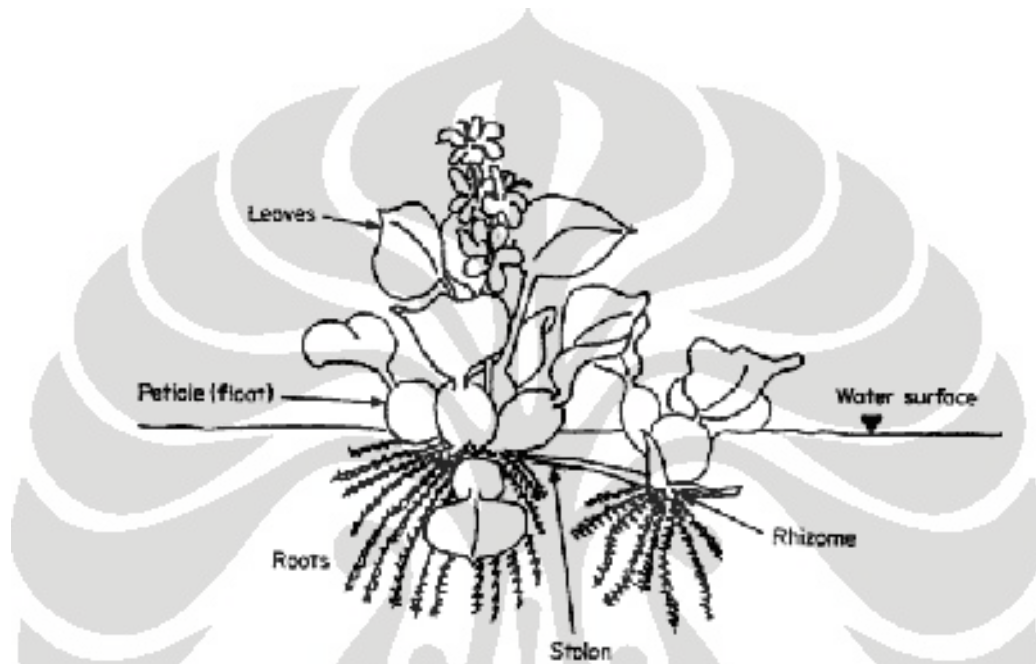
Bakung air/eceng gondok (*eichhornia crassipes*) merupakan tumbuhan hijau, *macrophyte* air tawar (tanaman vaskular yang toleran terhadap air) dengan daun yang berbentuk bulat, tinggi, berwarna hijau terang dan berbunga lavender (Reed, Middlebrooks, and Crites, 1988, hal 128).

Tanaman air memiliki kebutuhan nutrisi dasar yang sama dengan tanaman yang tumbuh di tanah dan dipengaruhi oleh banyak faktor lingkungan yang sama. Sistem menggunakan tanaman dalam mengolah limbah juga dikenal sebagai biofilter karena menggunakan material hidup yang mengolah dan mendegradasi kandungan pencemar. Tanaman air mengapung yang banyak dikenal berpotensi sebagai media pengolahan limbah cair adalah bakung air (eceng gondok), *duckweeds*, *pennywort*, dan *water ferns*.

Di Indonesia, tanaman air ini terkenal dengan nama eceng gondok. Termasuk salah satu tanaman air yang populer di Indonesia. Awalnya didatangkan dari Brasil oleh orang-orang Belanda sebagai tanaman hias. Tanaman yang mampu berkembang pesat ini kemudian dianggap sebagai gulma air. Di Indonesia eceng gondok banyak ditemukan di Rawa Pening, Jawa Tengah dan Waduk Saguling di Jawa Barat. Namun, dewasa ini banyak dimanfaatkan sebagai bahan kerajinan dan pakan ternak. Bunga tanaman ini tampil eksotis dengan warna ungu muda yang tersusun dalam malai dan hanya mekar untuk sehari saja. Biasanya terdiri dari 4-6 kuntum tiap tangkainya. Daunnya berbentuk bundar dengan ujung agak meruncing, warnanya hijau cerah dengan permukaannya diselubungi lapisan lilin. Bentuk tangkai eceng gondok menggebu karena berisi rongga udara yang berfungsi sekaligus sebagai alat penampung di air. Akarnya menggantung dan berambut, tumbuh memanjang ke dalam air. Perbanyakannya seperti apu-apu, yakni menggunakan runner.

Tangkai dari tanaman ini kenyal seperti busa dengan banyak ruang udara dan berkontribusi pada daya apung tanaman ini. Ukuran tanaman ini bervariasi tergantung dari habitatnya. Panjang akarnya akan beragam tergantung dari keberadaan nutrisi pada air dan frekuensi proses panen. Pada air limbah yang kaya akan nutrisi, dengan waktu panen regular, akar tanaman dapat melebihi 10 cm di bawah rizome. Mikroorganisme yang biasa terdapat di akar adalah *Zoogela*

ramigera, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, *Corynebacter*, *Comomonas*, *Acinetobacter*, dan *Brevibacterium* (Widowati, 2000). Jika proses panen tidak dilakukan, akar tanaman dapat tumbuh dan menembus substrat yang ada di bak. Tanaman juga akan tumbuh di lumpurnya. Tanaman ini berukuran 50 sampai 120 cm dari atas tanaman (bunga) sampai ujung akar.



Gambar 2.5. Morfologi Eceng Gondok

Sumber : Reed, Middlebrooks, and Crites, 1988, hal 130

Bunga eceng gondok menghasilkan biji tetapi sarana utama reproduksi adalah melalui offshots (stolons) dari rizhomes bawah air, yang menghasilkan sebuah hubungan antar tanaman, bagian padat tanaman ada pada permukaan air.



Gambar 2.6. Eceng Gondok

Sumber : *Picture by google*

Tanaman ini tumbuh menyebar secara lateral sampai permukaan air tertutup lalu pertumbuhan secara vertical akan meningkat. Bakung air merupakan salah satu tanaman fotosintetik yang paling produktif di dunia. Dapat diestimasikan bahwa 10 tanaman dapat memproduksi 600.000 lagi selama 8 bulan musim tumbuh dan menutupi 0,4 ha permukaan air tawar natural. Pertumbuhan ini dapat menjadi lebih tinggi pada kolam air limbah. Komposisi berat kering eceng gondok yang berasal dari kolam air limbah disajikan pada tabel 2.5. unsure utama dari sejumlah besar tanaman adalah air, hingga 95% dari massa total. (Reed, Middlebrooks, and Crites, 1988, hal 128).

Sistem dengan eceng gondok dapat didesain untuk pengolahan limbah baik effluent primer, untuk meningkatkan sistem pengolahan sekunder, atau untuk pengolahan limbah lanjutan baik sekunder atau bahkan tersier. Seperti sistem menggunakan kolam lainnya, parameter desain yang paling kritis adalah beban organik pada sistem.

Kegunaan utama dari eceng gondok dalam proses ini adalah untuk menutupi permukaan air. Hal ini akan mencegah pertumbuhan alga dan berkontribusi menghilangkan BOD dan SS. Pencapaian sistem dengan eceng gondok secara signifikan lebih baik daripada kolam fakultatif dengan ukuran yang sama dengan permukaan air terbuka.

Tabel 2.3. Komposisi Eceng Gondok yang Tumbuh di Air Limbah

Unsur	Persen Berat Kering	
	Cakupan	Rata-rata
Protein	9,7 - 23,4	18,1
Lemak	1,6 - 2,2	1,9
Serat	17,1 - 19,5	18,6
Debu	11,1 - 20,4	16,6
Karbohidrat	36,9 - 51,6	44,8
Nitrogen (sebagai N)	1,6 - 3,7	2,9
Fosfor (sebagai P)	0,3 - 0,9	0,6

Sumber : Reed, Middlebrooks, and Crites, 1988, hal 131

a. Kolam tanaman air sekunder

Kolam tanaman air untuk pengolahan sekunder didesain untuk limbah awal, dengan waktu tinggal 50 hari, kedalaman 1,5 m atau kurang, beban organik 30 kg/ha.hari, dan suhu air dibawah 10°C. kualitas effluent yang diharapkan adalah BOD < 30 mg/lt, SS < 30 mg/lt. Fungsi utama tanaman air terutama eceng gondok adalah untuk menekan pertumbuhan alga.

Tabel 2.4. Kriteria Desain Pengolahan Sekunder

Faktor	Kriteria
Kualitas Effluent	BOD <30 mg/L, SS <30 mg/L
Kualitas Influent	Belum Diolah
Beban Organik	
Permukaan Keseluruhan Sistem	50 kg/(ha.hari)
Sistem Awal	100 kg/(ha.hari)
Kedalaman Air	<1,5 m
Luas Maksimum, bak tunggal	0,4 ha
Waktu retensi total	>40 hari
Beban hidraulik	200 m ³ /(ha.hari)
Suhu Air	>10°C
Bentuk bak	Persegi panjang, P:L > 3:1
Diffusers	Disarankan
Kontrol nyamuk	Diperlukan
Jadwal panen	Musiman atau tahunan

Sumber : Reed, Middlebrooks, and Crites, 1988, hal 137

b. Kolam tanaman air sekunder lanjutan

Kolam tanaman air sekunder lanjutan didesain untuk menghasilkan effluent yang lebih baik dari pengolahan sekunder, termasuk beberapa penghilangan nutrien, dengan input dari unit primer atau unit ekualisasi. Dengan waktu tinggal lebih dari 6 hari, kedalaman kurang dari 1 m, beban organik 1000 kg/ha.hari, dan aerasi diperlukan. Kualitas effluent yang diharapkan adalah BOD < 10 mg/lt, SS < 10 mg/lt. Dengan penghilangan nitrogen tergantung dari frekuensi panen.

Tabel 2.5. Kriteria Desain Pengolahan Sekunder Lanjutan

Faktor	Kriteria
Kualitas Effluent	BOD <10 mg/L, SS <10 mg/L, penurunan nitrogen
Kualitas Influent	Sama dengan pengolahan primer
Beban Organik	
Permukaan Keseluruhan Sistem	100 kg/(ha.hari)
Sistem Awal	300 kg/(ha.hari)
Waktu retensi total	>6 hari
Kebutuhan aerasi	desain dengan kolam dengan aerasi parsial untuk mendapatkan O ₂ yang dibutuhkan, gunakan aerasi difusi pada dua sel pertama tiap set
Suhu Air	>20°C
Kedalaman Air	<0,9 m
Beban hidraulik	<800 m ³ /(ha.hari)
Bentuk bak	Persegi panjang, P:L > 3:1
Diffusers	Penting
Pengumpul effluent	Penting
Luas bak pertama	<0,4 ha
Kontrol nyamuk	Diperlukan
Jadwal panen	>bulanan

Sumber : Reed, Middlebrooks, and Crites, 1988, hal 138

c. Kolam tanaman air tersier

Kolam tanaman air tersier didesain sebagai pengolahan lanjutan dengan input berupa hasil olahan dari unit sekunder, dengan waktu tinggal lebih dari 6 hari, kedalaman kurang dari 1 m, beban organik 50 kg/ha.hari, dan suhu air dibawah 20°C, tanpa aerasi. Kualitas effluent yang diharapkan adalah BOD < 10 mg/lt, SS < 10 mg/lt, total nitrogen < 5 mg/lt, total fosfor > 5 mg/lt.

Tabel 2.6. Kriteria Desain Pengolahan Tersier

Faktor	Kriteria
Kualitas Effluent	BOD <10 mg/L, SS <10 mg/L, TN dan TP <5 mg/L
Kualitas Influent	Effluent sekunder
Beban Organik	
Permukaan Keseluruhan Sistem	<50 kg/(ha.hari)
Sistem Awal	<150 kg/(ha.hari)
Kedalaman Air	<<0,9 m
Luas Maksimum, bak tunggal	<0,4 ha
Waktu retensi total	≤6 hari, tergantung kedalaman air
Suhu Air	>20°C
Beban hidraulik	<800 m ³ /(ha.hari)
Bentuk bak	Persegi panjang, P:L > 3:1
Diffusers	Penting
Pengumpul effluent	Penting
Luas bak pertama	<0,4 ha
Kontrol nyamuk	Diperlukan
Diffusers	Penting
Pengumpul effluent	Penting
Jadwal panen	Tanaman dewasa, beberapa minggu sekali

Sumber : Reed, Middlebrooks, and Crites, 1988, hal 139

2.7 MEKANISME PROSES PENGHILANGAN POLUTAN

Sistem dengan penggunaan eceng gondok dapat menurunkan konsentrasi BOD, suspended solids (SS), logam, dan nitrogen yang cukup tinggi, dan level yang cukup signifikan *trace organics*. Eceng gondok dapat digunakan untuk meningkatkan sistem eksisting atau untuk memproduksi effluent sekunder,

sekunder lanjut, atau tersier tergantung pada beban yang digunakan dan praktis manajemen yang digunakan.

Eceng gondok pada permukaan air pada kolam menghasilkan kondisi lingkungan yang sangat berbeda pada air jika dibandingkan dengan permukaan air yang permukaannya terbuka. Daun dari tanaman ini yang berguna sebagai kanopi yang menciptakan keteduhan pada permukaan air dan mencegah terbentuknya pertumbuhan alga. Hal ini mempertahankan pH normal pada cairan. Massa tanaman pada permukaan air juga meminimalkan pengaruh angin yang dapat menciptakan turbulensi pada air dan terjadinya pencampuran, seperti aerasi permukaan, dan membuat suhu air fluktuatif. Hasilnya, dekat permukaan air memiliki kadar oksigen yang cenderung rendah di dan zona bentik biasanya anaerob bahkan di kolam dangkal.

Tanaman ini dapat tumbuh dan bertahan pada air anaerob karena oksigen ditransfer dari daun ke akar. Pertumbuhan biologis yang melekat pada massa akar mirip dengan *trickling filter* dan RBC, namun dalam kasus ini sumber oksigen (dari akar) adalah di dekat pusat massa daripada di luar. Bakteri, jamur, predator, *filter feeders*, dan *detritivores* telah dilaporkan dalam jumlah besar di akar dan di antara akar tanaman. Kinerja yang paling baik adalah pada sistem di Coral Springs, Florida yang diyakini karena penggunaan beberapa sel dan kedalaman 38 cm yang dangkal, yang memungkinkan sebagian besar dari air limbah yang terkandung untuk berinteraksi dengan zona akar tanaman.

Tabel 2.7. Gambaran Umum Proses Penghilangan Polutan

Polutan	Proses Penghilangan
Material (BOD)	Degradasi secara biologis, pengendapan, pengambilan oleh mikroba
Kontaminan Organik (contoh : pestisida)	adsorpsi, penguapan, fotolisis, degradasi biotik atau abiotik
Padatan Tersuspensi	pengendapan, filtrasi
Nitrogen	pengendapan, nitrifikasi/denitrifikasi, pengambilan oleh mikroba, pengambilan oleh tanaman, penguapan
Fosfor	pengendapan, filtrasi, adsorpsi, pengambilan oleh tanaman dan mikroba
Logam Berat	pengendapan, adsorpsi, pengambilan oleh tanaman

Sumber : (Watson et al, 1989) Ain Nihla, 2006

2.7.1 Penurunan BOD

Degradasi mikroba memainkan peran yang dominan dalam penghapusan larut atau koloid bahan organik *biodegradable* (BOD) dalam air limbah (Lim et al., 2001). Sisa bahan organik terlarut yang tersisa setelah proses sedimentasi, terdegradasi secara aerob oleh lapisan biofilm bakteri yang menempel pada tanaman. Di lahan basah tanaman air mensuplai oksigen ke dasar lahan basah melalui akar mereka, sehingga meningkatkan pencernaan secara aerob bahan organik (Lim, 2002). Beberapa degradasi anaerob bahan organik juga terjadi di sedimen bawah. (Ain Nihla, 2006, hal 42)

Berbagai proses yang terjadi dalam kolom air, pada tanaman, di substrat dan di daerah-daerah lahan basah terkonsentrasi aktivitas mikroba dikenal sebagai biofilm. Biofilm terbentuk sebagai bakteri dan mikroorganisme menempelkan diri pada batang, akar tanaman dan matriks substrat untuk membentuk filter biologis dari permukaan air sampai ke bagian bawah lahan basah. Saat air melewati pertumbuhan tanaman tebal, air terkena biofilm hidup ini, yang menyediakan proses perlakuan yang sama dengan yang ditemukan pada unit pengolahan konvensional (Watson et al, 1989). (Ain Nihla, 2006, hal 42)

Lebih jauh lagi, kontribusi dari perlakuan ini yang sangat signifikan berasal dari pertumbuhan yang terdapat pada akar tanaman. Efisiensi penurunan BOD berhubungan langsung dengan kepadatan tanaman yang menutupi dan kedalaman air dalam sistem. Diasumsikan 100 persen daun tanaman menutupi permukaan air dapat menanggung beban BOD sekitar 225 kg/(ha.hari) dan 80 persen menutupi permukaan air dapat menanggung beban BOD 140 kg/(ha.hari) (Reed, Middlebrooks, and Crites, 1988, hal 133)

2.7.2 Penurunan Padatan Tersuspensi

Penghilangan padatan tersuspensi terjadi melalui jeratan di zona akar tanaman dan sedimentasi gravitasi dalam air yang tenang di bawah permukaan tanaman eceng gondok. Karena kondisi air hampir diam, sedimentasi akan lebih efektif dalam kolam eceng gondok dari dalam kolam konvensional dengan permukaan air terbuka. Kontribusi besar lainnya untuk mengontrol padatan adalah

penekanan pertumbuhan alga sejak tanaman eceng gondok menutupi/meneduhkan permukaan air dan mencegah lewatnya cahaya matahari ke kolom air.

Sebagian besar padatan dibuang melalui sedimentasi dan filtrasi, dimana vegetasi berperan dalam menghalangi dan mengurangi kecepatan aliran. Padatan yang dapat mengendap dapat hilang dengan mudah oleh sedimentasi karena sistem lahan basah umumnya memiliki panjang waktu retensi hidrolis (Lim, 2002). Padatan yang tidak dapat mengendap atau koloid dihilangkan oleh proses-proses yang meliputi; *straining* (media pasir), adsorpsi pada media tanaman dan lahan basah dan biodegradasi. Jenis mekanisme penghilangan padatan di lokasi sangat tergantung pada ukuran dan sifat padatan yang terkandung dalam air limbah dan jenis media filter yang digunakan (Lim, 2002). (Ain Nihla, 2006, hal 42)

2.7.3 pH Air pada Kolam

Hubungan antara pH air dengan tanaman air sangat penting tetapi tidak dimengerti sepenuhnya, karena pH sangat berhubungan dengan kadar kalsium, magnesium, karbonat, dan unsure lainnya di air. Pada umumnya, karena karbon dioksida bebas dipindahkan dari air selama proses fotosintesis, asam karbon akan berkurang dari air, yang akan menaikkan pH. Ketika respirasi melebihi fotosintesis, karbon dioksida dilepaskan ke air dan pH menjadi lebih rendah. Nilai pH dari kolam yang tipikal, maka dari itu, lebih rendah di malam hari daripada di siang hari. Fluktuasi bisa berkisar hingga tiga unit penuh antara matahari terbit dan terbenam. Ini tipikal hanya pada kolam dengan buffer yang buruk dengan rendahnya tingkat karbonat, bicarbonat, dan fosfat (Campbell & Ogden.1999. hal 174).

Air hujan normal memiliki nilai pH 5-6, kolam cenderung menghasilkan pH yang lebih tinggi, yang idealnya berada antara 6,5-7,5; dengan kata lain, mendekati normal yaitu 7. Nilai pH dipengaruhi oleh karbon dioksida, yang dapat diambil langsung dari udara bebas. (Campbell & Ogden.1999. hal 174).

2.8 PENGARUH ECENG GONDOK

Tanaman merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari proses penanganan limbah dibangun di lahan basah (Brix, 1997). Transfer oksigen melalui akar tanaman dan sistem rimpang ke dasar kolam pengolahan dan menyediakan media di bawah permukaan air untuk lapisan mikroorganisme yang melakukan sebagian besar pengolahan biologis (Mashhor et al., 2002). Beberapa proses dilihat efektif dalam mengurangi polutan; *phytoextraction*, *phytostabilization*, pengupasan transpirasi, dan *rhizofiltration* (Kadlec, 1999). (Ain Nihla, 2006, hal 47)

Enceng gondok sebagai biofilter diduga dapat mempercepat penguapan air melalui proses evapotranspirasi. Proses evapotranspirasi yang terjadi akan mendukung laju pengambilan unsur hara yang dibutuhkan dalam proses fotosintesis melalui mekanisme penyerapan air melalui bulu-bulu akarnya. Aktivitas fotosintesis yang tinggi, akan menghasilkan oksigen yang tinggi pula sehingga oksigen terlarut dalam limbah cair akan meningkat. Enceng gondok mensuplai oksigen ke dalam air limbah melalui akar dan menambah jumlah oksigen terlarut dalam air limbah sehingga akan memacu kerja mikroorganisme dalam menguraikan senyawa-senyawa pencemar (Fardiaz, 1992).

The tumbuhan yang tumbuh di lahan basah memiliki beberapa properti sehubungan dengan proses pengolahan yang membuat mereka merupakan komponen penting dari desain. Dampak paling penting dari tumbuhan dalam kaitannya dengan proses pengolahan air limbah adalah efek fisik bahwa jaringan tanaman menghasilkan (seperti pengendalian erosi, efek filtrasi dan penyediaan luas permukaan untuk mikro organisme menempel). Metabolisme dari tumbuhan (seperti serapan tanaman dan pelepasan oksigen) mempengaruhi proses pengolahan untuk luasan yang berbeda tergantung pada desain. Para tumbuhan memiliki fungsi berguna lainnya secara spesifik, seperti menyediakan habitat yang pantas untuk kehidupan liar dan memberikan sistem dengan sebuah tampilan yang indah. Peran utama dari tumbuhan di lahan basah dibangun dirangkum dalam Tabel 2.8 (Ain Nihl, 2006, hal 48.).

Tabel 2.8. Peran Tanaman pada Lahan Basah Buatan

Bagian Tanaman	Peran dalam Proses Pengolahan
Jaringan Tanaman di Atas Permukaan Air (aerial plant tissue)	redaman cahaya: mengurangi pertumbuhan fitoplankton
	mengurangi kecepatan udara: mengurangi resiko resuspensi
	Sistem Terlihat Indah dan Estetik
	Penyimpanan Nutrisi
Jaringan Tanaman di Bawah Permukaan Air (plant tissue in water)	efek penyaringan: menyaring keluar padatan besar
	Mengurangi Kecepatan Aliran: meningkatkan proses pengendapan
	Mengurangi resiko resuspensi
	Menyediakan area untuk tempat biofilm
	Pemberian oksigen hasil fotosintesis: meningkatkan penguraian aerob
	Pengambilan nutrisi
Akar dan Rizome pada Endapan	Menyediakan permukaan untuk bakteri dan mikroorganisme
	Menstabilkan permukaan sedimen: mengurangi erosi
	Mencegah terjadinya penyumbatan
	Pelepasan oksigen meningkatkan degradasi dan nitrifikasi
	Pengambilan nutrisi
	Pelepasan antibiotik

Sumber : (Mashhor et al, 2002) (Ain Nihla, 2006, hal 48)

2.8.1 Pengaruh Parameter yang Diujikan

a. Waktu Tinggal (retensi)

Waktu tinggal (retensi) merupakan parameter lamanya air limbah diberi perlakuan dengan tanaman air. Lamanya waktu tinggal mempengaruhi berapa lama terjadi kontak dan pengolahan air limbah oleh tanaman air. setiap selang waktu yang berbeda akan memberikan hasil yang berbeda pula karena lamanya waktu yang dibutuhkan oleh tanaman air menyerap kandungan kontaminan yang ada pada air limbah bergantung pada kualitas air limbah yang diolah. Penentuan waktu tinggal (retensi) akan mempengaruhi ketinggian air dan volume kolam air limbah yang dibutuhkan tetapi juga ditentukan oleh ukuran tanaman.

b. Kedalaman Air

Kedalaman air mengindikasikan seberapa dalam air yang tersentuh oleh tanaman. Salah satu tanaman air yang biasa digunakan untuk sistem akuakultur adalah duckweed yang merupakan tanaman kecil dengan panjang akar yang pendek, maka diperlukan kedalaman air yang sesuai dengan ukuran tanaman agar proses pengolahan limbah lebih efektif.

2.9 KERANGKA PEMIKIRAN

Penelitian ini didasari oleh meningkatnya penggunaan air tanah seiring dengan meningkatnya kegiatan dan kebutuhan masyarakat akan air bersih terutama di sektor industri. Penggunaan air tanah ini tidak disertai dengan peresapan kembali air ke dalam tanah dikarenakan semakin sedikitnya lahan hijau dan resapan air.

Pada dasarnya terdapat banyak sumber air tawar dan sumber air tawar terbesar adalah air permukaan. Namun, kualitas air permukaan atau badan air pun sudah sangat memprihatinkan karena banyaknya sampah ataupun air limbah yang dibuang ke badan air. Industri yang merupakan salah satu pengguna air bersih yang berasal dari air tanah juga sebagai penghasil air limbah yang cukup besar dengan sebagian besar air limbahnya dibuang ke badan air setelah diolah dengan pengolahan air limbah yang mereka miliki.

Menurut BPLHD Jawa Barat pada 23 Januari 2009, sampai dengan tahun 2007, pengambilan air tanah di Jawa Barat yang meningkat dari tahun ke tahun berimplikasi terhadap penurunan muka air tanah. Dari 15 daerah cekungan, sebanyak tiga daerah di antaranya dinyatakan kritis air tanah. Ketiganya meliputi cekungan Kabupaten Bandung, Kabupaten Bogor, dan Kabupaten Bekasi.

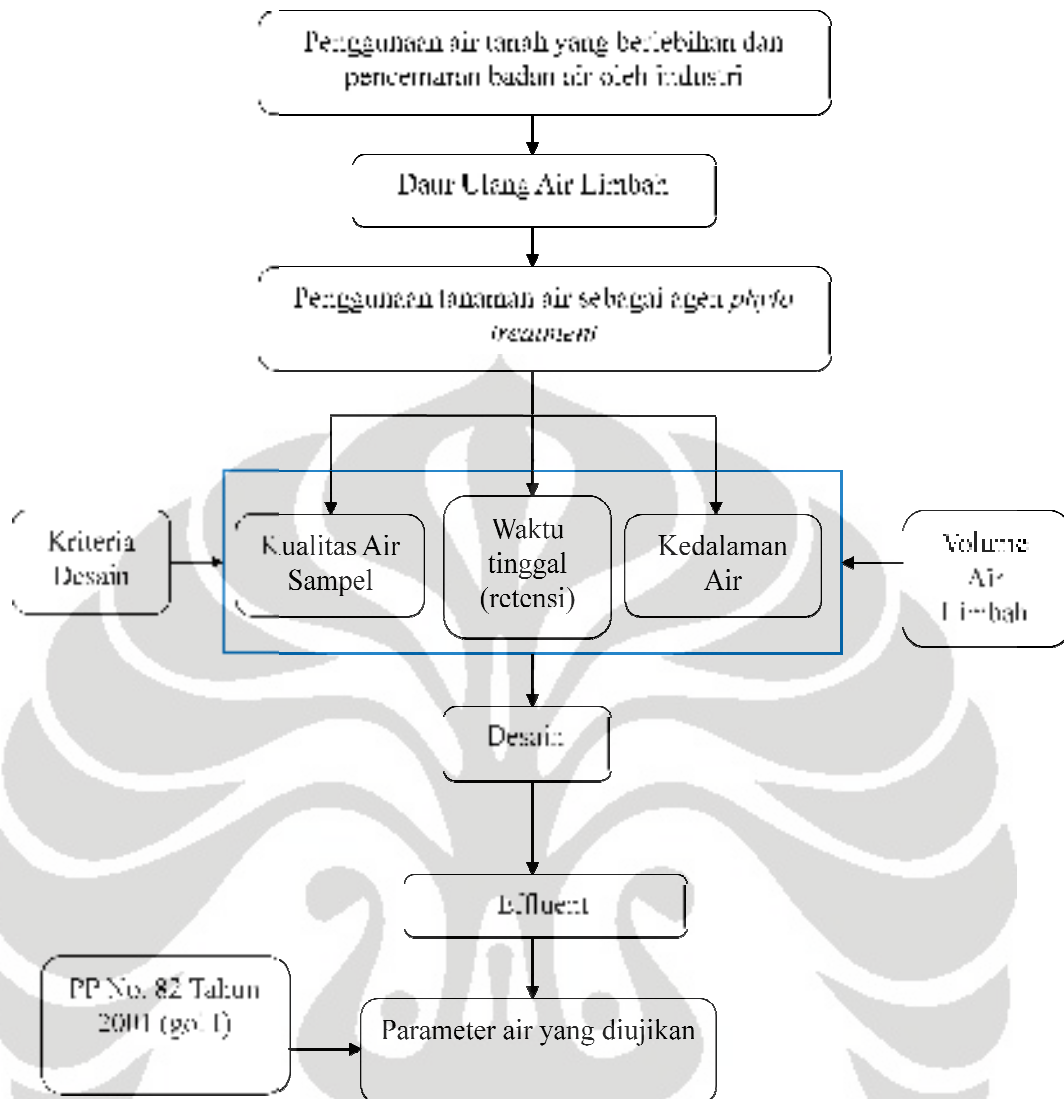
Penggunaan air tanah yang terus-menerus dan potensi pencemaran badan air oleh air limbah yang disebabkan oleh kegiatan industri inilah yang ingin dikurangi dengan upaya daur ulang air limbah industri bukan B3 hasil kegiatan industri.

Banyak cara yang dapat dilakukan untuk mengolah dan mendaur ulang air limbah. Namun, setiap proses pasti memiliki kekurangan dan kelebihan terutama pada biaya. Maka, penelitian ini akan menggunakan teknik remediasi dengan proses *phyto treatment* dengan menggunakan tanaman air sebagai media pengolah kandungan polutan di dalam air limbah pada air limbah industri otomotif bukan B3 yang sebelumnya telah melalui proses pengolahan limbah primer, sekunder, dan tersier dengan harapan air limbah yang telah melalui proses remediasi ini dapat digunakan kembali untuk kegiatan industri otomotif berikutnya.

Untuk mencapai tujuan penelitian yaitu mengetahui efektifitas proses *phyto treatment* terhadap perubahan parameter dalam memperbaiki kualitas air dengan menggunakan tanaman air dan mengetahui pertumbuhan tanaman air setelah diberi air limbah sebagai sumber nutrisi serta mencoba memberikan alternatif dan solusi untuk menekan penggunaan air tanah oleh industri dengan upaya daur ulang air limbah dengan proses *phyto treatment*, maka diberikan beberapa perbedaan variabel perbedaan waktu tinggal (retensi) dan kerapatan tanaman yang bervariasi untuk mengetahui variasi variabel yang paling efektif, dan mendapatkan waktu tinggal (retensi) dan waktu panen paling efektif untuk proses pengolahan dengan tanaman air.

Dari perbedaan waktu tinggal (retensi) akan didapat ukuran bak yang sesuai dengan debit air limbah yang akan diteliti dan disesuaikan dengan kriteria desain yang didapat. Parameter yang akan diukur dalam penelitian ini adalah beberapa parameter penting air bersih yang disesuaikan dengan kriteria mutu air kelas I sesuai dengan Peraturan Pemerintah No 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

Parameter yang terukur ini akan menghasilkan data penelitian yang kemudian akan dianalisis untuk mendapatkan kekurangan dan kelebihan dari pemakaian tanaman air dengan variasi waktu tinggal dan kerapatan tanaman. Untuk lebih jelasnya, kerangka konsep penelitian digambarkan dalam bagan berikut ini:



Gambar 2.7. Diagram Alir Kerangka Konsep

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 PENDEKATAN PENELITIAN

Pendekatan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah penelitian kuantitatif. Penelitian kuantitatif adalah penelitian ilmiah yang sistematis terhadap bagian-bagian dan fenomena serta hubungan-hubungannya (John W. Creswell, 2003). Tujuan penelitian kuantitatif adalah mengembangkan dan menggunakan model-model matematis, teori-teori dan/atau hipotesis yang berkaitan dengan fenomena alam. Proses pengukuran adalah bagian yang penting dalam penelitian kuantitatif karena hal ini memberikan hubungan yang fundamental antara pengamatan empiris dan ekspresi matematis dari hubungan-hubungan kuantitatif. Penelitian kuantitatif adalah definisi, pengukuran data kuantitatif dan statistik objektif melalui perhitungan ilmiah berasal dari sampel yang diujikan sebagai populasi yang diteliti.

Penelitian yang akan dilakukan merupakan penelitian mengenai penggunaan tanaman air dalam proses pengolahan lanjutan untuk perbaikan kualitas air limbah setelah diolah dari suatu instalasi pengolahan air limbah di sebuah industri otomotif. Metode penelitian yang akan digunakan adalah metode eksperimental.

Penelitian dengan pendekatan percobaan atau eksperimental (*experimental research*) atau penelitian eksperimentak sungguhan (*true-experimental research*) dimaksudkan untuk menyelidiki kemungkinan hubungan sebab-akibat (*cause and effect relationship*) dengan cara mengekspos satu atau lebih kelompok eksperimen dan satu atau lebih kondisi eksperimen dan membandingkan hasilnya dengan satu atau lebih kelompok kontrol yang tidak dikenai perlakuan atau *treatment* (Sudarwan Danim. 2003:60).

Berdasarkan hal tersebut, maka tujuan umum penelitian eksperimental adalah untuk meneliti pengaruh dari suatu perlakuan tertentu terhadap gejala suatu hal tertentu dibanding dengan pemberian perlakuan yang berbeda. Dalam penelitian ini eksperimen yang dilakukan dimaksudkan untuk menilai/membuktikan pengaruh perlakuan tanaman air terhadap kualitas air

limbah dan untuk menguji pengaruh atau efektivitas yang diberikan oleh tanaman air pada air limbah hasil olahan.

Tindakan di dalam eksperimen disebut *treatment*, dan diartikan sebagai semua tindakan, semua variasi atau pemberian kondisi yang akan dinilai/diketahui pengaruhnya. Sedangkan yang dimaksud dengan menilai tidak terbatas adalah mengukur atau melakukan deskripsi atas pengaruh *treatment* yang dicobakan sekaligus ingin menguji sampai seberapa besar tingkat signifikansinya (kebermaknaan atau berarti tidaknya) pengaruh tersebut bila dibandingkan dengan hal yang sama tetapi diberi perlakuan yang berbeda.

Untuk melaksanakan eksperimen ini dengan baik, perlu dipahami terlebih dahulu segala sesuatu yang berkaitan dengan komponen-komponen eksperimen. Baik yang berkaitan dengan pola-pola eksperimen (*experimental design*), maupun penentuan kelompok eksperimen dan kontrol, bagaimana kondisi kedua kelompok sebelum eksperimen dilaksanakan, cara pelaksanaannya, hal-hal yang dapat mempengaruhi hasil eksperimen, cara pengumpulan data, dan teknik analisis statistik yang tepat digunakan.

3.2 VARIABEL PENELITIAN

Variabel adalah perilaku atau karakteristik yang memberikan nilai beda terhadap sesuatu (benda, manusia, dan lain-lain) (Soeparto, dkk.2000:54). Ciri yang dimiliki oleh anggota suatu kelompok (orang, benda, situasi) berbeda dengan yang dimiliki oleh kelompok tersebut (Rafii, 1985). Dalam riset, variabel dikarakteristikan sebagai derajat, jumlah, dan perbedaan (Nursalam.2008:97). Variabel yang akan digunakan pada penelitian ini adalah kedalaman air, kualitas air, dan waktu retensi.

Tabel 3.1. Variabel yang Digunakan

Variabel	Variasi 1			Variasi 2			Variasi 3		
Kedalaman Air (cm)	30 cm			50 cm			70 cm		
Kualitas Air	A			A			B		
Waktu Retensi (hari)	3	5	7	3	5	7	3	5	7

Keterangan :

A = konsentrasi parameter yang diuji

B = konsentrasi parameter yang diuji

B > A

3.2.1 Variabel Bebas

Variabel independen (bebas) adalah variabel yang nilainya menentukan variabel lain (Nursalam.2008:97). Variabel bebas dipilih/ditentukan untuk mengetahui hubungannya atau pengaruhnya terhadap variabel lain. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah kedalaman air, kualitas air sampel, dan waktu retensi.

Waktu retensi merupakan variabel lamanya air limbah diberi perlakuan menggunakan tanaman air. Lamanya waktu retensi mempengaruhi lamanya terjadi kontak dan pengolahan air limbah oleh tanaman air. Setiap selang waktu yang ditentukan, air limbah akan diambil sampel untuk dilakukan pemeriksaan parameter kualitas air yang telah ditentukan untuk melihat jika terdapat perubahan kualitas air limbah yang ditentukan.

Kedalaman air mengindikasikan seberapa dalam air yang tersentuh oleh tanaman. Bagian tanaman yang akan melakukan kontak dengan air limbah adalah bagian akar eceng gondok yang serabut. Kedalaman air yang mengalami kontak dengan akar tanaman ini dipengaruhi oleh seberapa panjang akar tanaman yang digunakan.

Pertimbangan pemilihan kedalaman air dan waktu retensi disesuaikan dengan kriteria desain untuk pengolahan sekunder dan sekunder lanjutan pada sistem dengan eceng gondok. Kedalaman pada pengolahan sekunder yaitu $<0,9$ m dan sekunder lanjutan yaitu $\ll 0,9$ m, sedangkan waktu retensi pada pengolahan sekunder adalah >6 hari dan pada pengolahan sekunder lanjutan ≤ 6 hari. Selain itu, kedalaman air yang digunakan juga dipilih berdasarkan pertimbangan kedalaman air yang akan kontak dengan akar tanaman serta perbedaan jarak pengendapan.

3.2.2 Variabel Terikat

Variabel dependen (terikat) adalah variabel yang nilainya ditentukan oleh variabel lain (Nursalam.2008:98). Variabel terikat dalam penelitian ini adalah parameter air limbah yang diujikan dan berat kering tanaman air. Parameter air yang diujikan dipilih berdasarkan pertimbangan parameter air limbah yang konsentrasinya lebih tinggi dari baku mutu air baku air bersih yaitu BOD, COD, dan TSS serta parameter air yang dijadikan parameter penting air industri yang

digunakan pada lokasi studi yaitu konduktivitas dan pH. Parameter TDS digunakan untuk melihat apakah terdapat hubungan antara parameter TDS dan konduktivitas.

3.3 POPULASI DAN SAMPEL

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah air limbah industri otomotif bukan B3 yang telah melalui proses pengolahan air limbah primer dan sekunder. Sampel air limbah yang digunakan merupakan *effluent* dari bak *clarifier* pada pengolahan biologis. Jumlah sampel yang digunakan disesuaikan dengan variabel penelitian yang dipakai dan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.2. Volume Sampel yang Digunakan

Kedalaman Air	Volume Air
30 cm	108 liter
50 cm	180 liter
70 cm	252 liter

3.4 DATA DAN ANALISIS DATA

3.4.1 Pengumpulan Data

Tahap ini merupakan tahap pengumpulan data baik berupa data primer melalui observasi lapangan maupun data sekunder melalui pengumpulan data berupa literatur dan penelitian-penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan.

a. Data Primer

Data primer merupakan data yang didapat dari hasil eksperimen yang dilakukan langsung oleh penulis. Data primer yang digunakan adalah berupa hasil pemeriksaan terhadap kualitas air limbah dan pertumbuhan tanaman dengan rincian sebagai berikut :

1. Perubahan parameter air limbah yang telah ditentukan, yaitu BOD, COD, TSS, TDS, konduktivitas, dan pH.

2. Pertumbuhan tanaman dilihat dengan cara melakukan pengukuran terhadap berat kering tanaman dari masing-masing perlakuan.

Eksperimen untuk mendapatkan data primer, dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu :

- 1) Persiapan Eksperimen

Untuk melakukan suatu penelitian skala kecil dari suatu pengolahan, peralatan dan bahan harus disesuaikan dengan pengolahan yang sebenarnya. Maka, persiapan dan pengadaan alat dan bahan penting untuk dilakukan. Dalam penelitian ini alat dan bahan yang paling penting untuk dipersiapkan dari awal adalah pengadaan tanaman air yang akan digunakan sebagai media pengolahan serta memperkirakan wadah yang paling cocok untuk pengolahan. Berikut alat dan bahan yang akan digunakan :

- 1) Tanaman air
- 2) Kolam perlakuan
- 3) Sampel air limbah dan air bersih

- 2) Proses Pembuatan Reaktor

Pada tahap ini, semua hal yang diperlukan untuk pembuatan pengolahan skala kecil telah tersedia dan eksperimen pun dapat dimulai. Pembuatan reaktor dilakukan pada lokasi yang telah ditentukan dan disesuaikan dengan kebutuhan dari pengolahan yang akan dilakukan. Kolam reaktor dibuat dari kaca dengan ketebalan 10 mm dan dimensi 60 cm x 60 cm x 100 cm. Ukuran ini disesuaikan dengan variabel penelitian kedalaman air.

- 3) Tahap Aklimatisasi Tanaman Air

Tahap aklimatisasi merupakan tahap adaptasi tanaman air dan untuk memastikan bahwa tanaman air akan berada pada kondisi yang sama pada saat menjadi media perlakuan.

a) Alat dan Bahan :

- Tanaman air
- Air limbah yang akan dijadikan sebagai sampel
- Ember atau wadah penampungan sementara

b) Prosedur :

1. Ember atau wadah sementara dibersihkan.
2. Air sampel dimasukkan ke dalam wadah sebanyak yang dibutuhkan.
3. Tanaman air dipilih yang kondisi fisiknya kurang lebih sama sebelum dimasukkan ke dalam air untuk proses aklimatisasi.
4. Tanaman air diaklimasi selama 5 hari pada air limbah yang akan dijadikan sampel.
5. Setelah 5 hari, tanaman air siap untuk digunakan sebagai reaktor dan siap dimasukkan ke dalam kolam perlakuan.

4) Tahap Eksperimen

Tahap ini merupakan tahap pemberian perlakuan pada air limbah sampel dengan menggunakan eceng gondok. Pada tahap ini, semua perlengkapan dan tahapan sebelum eksperimen harus telah selesai dan siap digunakan.

Setelah semua siap, pengambilan sampel air limbah yang merupakan *effluent* dari *clarifier tank* IPAL pada lokasi studi yang berada pada kolam penampungan sementara dapat dilakukan dan dipindahkan ke reaktor sesuai dengan volume yang telah ditentukan.

Untuk mengetahui apakah perlakuan memberikan pengaruh terhadap air limbah, maka dibuat juga sebuah *control system* dengan menggunakan air bersih sebagai media tanam untuk tanaman air eceng gondok. *Control system* ini berfungsi untuk melihat apakah konsentrasi pencemar diserap oleh tanaman dengan membandingkan pertumbuhan tanaman dari kedua media (air limbah dan air bersih).

5) Masa Perlakuan

Masa perlakuan merupakan waktu yang digunakan untuk memberikan kontak air dengan tanaman eceng gondok. Masa perlakuan ini sesuai dengan waktu retensi yang sudah ditentukan sebelumnya.

- **Penelitian dan Pengawasan Selama Masa Perlakuan**

Setelah eksperimen selesai dibuat, maka proses pengawasan terhadap perlakuan yang diberikan pada air limbah hasil pengolahan IPAL dapat dilakukan. Pengawasan dilakukan sesuai dengan kriteria desain yang digunakan. Masa pengawasan dan pengambilan sampel setelah mengalami perlakuan disesuaikan dengan waktu retensi/waktu kontak (*detention time*) 3, 5, dan 7 hari. Setiap selang waktu sesuai waktu tinggal/waktu kontak (*detention time*), sampel diambil untuk dilakukan uji kualitas di laboratorium.

- **Pengawasan untuk Menghindari Kesalahan**

Selama pelaksanaan eksperimen diupayakan semaksimal mungkin agar kesalahan tidak timbul terutama kesalahan yang disebabkan oleh faktor manusia dalam proses pelaksanaan ataupun kesalahan pada pelaksanaan prosedur penelitian yang telah dibuat dan ditentukan. Selama eksperimen perlu diamati semua perubahan yang terjadi berdasarkan pedoman observasi yang telah dipersiapkan. Faktor-faktor yang perlu diperhatikan antara lain sebagai berikut:

- (1) Sumber air limbah. Air limbah yang berasal dari sumber yang berbeda akan memiliki karakteristik yang berbeda pula.
- (2) Kondisi awal tanaman air yang sama. Untuk memastikannya, sebelum perlakuan diberikan, tanaman air telah diaklimasi terlebih dahulu untuk menyesuaikan diri dan memiliki titik awal yang sama.
- (3) Kolam perlakuan. Kolam perlakuan harus dibuat sedemikian rupa sehingga tidak ada perbedaan sedikitpun baik dalam luas area kontak, dan pencahayaan oleh matahari.
- (4) Waktu kontak/waktu retensi. Waktu kontak/waktu tinggal untuk masing-masing kedalaman air harus sama agar dapat dibandingkan.

- (5) Cara perlakuan. Cara perlakuan mulai dari tahap awal penelitian seperti perletakan tanaman air sampai jenis reaktor air limbah harus dirancang sebaik dan sematang mungkin dan harus sama pada setiap variabel uji.
- (6) Tanaman air sebagai media harus memiliki latar belakang yang sama sebagai tanaman air yang memiliki kemampuan menghilangkan polutan air limbah.
- (7) Lain-lain : walaupun sudah ada upaya mengendalikan variabel non eksperimen agar tidak memengaruhi hasil eksperimen, namun sering dijumpai adanya kejadian yang sulit dikontrol dan diprediksi, misalnya: terjadi hujan deras ataupun ada faktor angin yang menyebabkan terganggunya kerapatan tanaman di dalam kolam. Untuk menghindari kejadian seperti ini, maka harus dipersiapkan antisipasi seperti pemberian atap pada lokasi penelitian tanpa menutupi datangnya cahaya matahari.

6) Tahap Pemeriksaan Hasil Eksperimen di Laboratorium

Pada setiap waktu retensi yang telah ditetapkan, sampel air yang telah mengalami perlakuan diambil untuk dilakukan pengujian di laboratorium dengan parameter yang diujikan adalah BOD, COD, TSS, TDS, konduktivitas, dan pH.

Standar dan peraturan yang dimaksud adalah standar dan peraturan yang berlaku yang digunakan sebagai acuan untuk melakukan penelitian dan pengujian di laboratorium. Selain itu, standar dan peraturan juga digunakan sebagai acuan untuk menganalisa dan mengambil kesimpulan dari hasil penelitian ini.

Standar yang digunakan dalam pengujian laboratorium adalah :

- BOD : SNI-06-2503-1991
- COD : SNI-19-1423-1989
- TSS : SNI 06.6989.3.2004
- pH : SNI-06-1140-1989

Hasil pemeriksaan laboratorium ini lalu dibandingkan dengan baku mutu air bersih. Baku mutu yang digunakan adalah baku mutu kualitas air minum dan kualitas air bersih. Peraturan Pemerintah Nomor 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

b. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh bukan dari hasil eksperimen, melainkan dengan mencari data dari beberapa sumber pada lokasi studi dan pustaka-pustaka yang telah tersedia seperti data perusahaan, buku, jurnal, dan lain-lain.

Tabel 3.3. Pengumpulan Data Sekunder

Data Sekunder	Data yang Dibutuhkan
1. Data Sekunder Industri	Debit penggunaan air tanah per hari
	Gambar dan diagram alir proses produksi
	Kualitas Air Limbah
	Data Kualitas <i>effluent</i> IPAL
	Gambar dan diagram alir IPAL
	Data lain yang relevan dengan penelitian
2. Literatur	Buku teks yang relevan dengan penelitian
3. Jurnal	Jurnal yang relevan dengan penelitian
4. Penelitian Terdahulu	Penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya yang relevan dengan penelitian

3.4.2 Analisis Data

Analisis data dilakukan setelah pengumpulan data, masa perlakuan selesai dan telah dilakukan uji laboratorium untuk parameter air yang diujikan dan berat kering tanaman eceng gondok. Data primer dan sekunder akan diolah dengan metode pengolahan data deskriptif dan metode komparatif.

Metode deskriptif adalah suatu prosedur pengolahan data dengan menggambarkan dan meringkas data secara ilmiah dalam bentuk tabel atau grafik (Nursalam.2008:120).

Metode ini digunakan untuk menggambarkan hubungan dari variabel waktu retensi dan kedalaman air yang diterapkan terhadap sampel air limbah dengan parameter yang diukur dalam penelitian yaitu parameter air yang diujikan (BOD, COD, TSS, TDS, konduktivitas, dan pH) dan hubungannya dengan pertumbuhan tanaman air.

Sedangkan metode komparatif adalah metode yang menggambarkan perbedaan dari hasil penelitian dan membandingkan perbedaan yang terdapat di dalamnya. Metode komparatif digunakan untuk membandingkan pengaruh yang ditimbulkan dari variasi variabel yang diberikan kepada air limbah pada saat penelitian dalam bentuk perbandingan pengaruh perbedaan variasi variabel kedalaman air dan waktu retensi terhadap parameter air yang diujikan dan pengaruh terhadap pertumbuhan tanaman.

3.5 LOKASI PENELITIAN

3.5.1 Lokasi Studi

Industri yang akan dijadikan sebagai lokasi studi kasus adalah PT. Suzuki Indomobil Motor Plant Tambun II yang merupakan proyek baru khusus untuk kendaraan roda empat Suzuki.

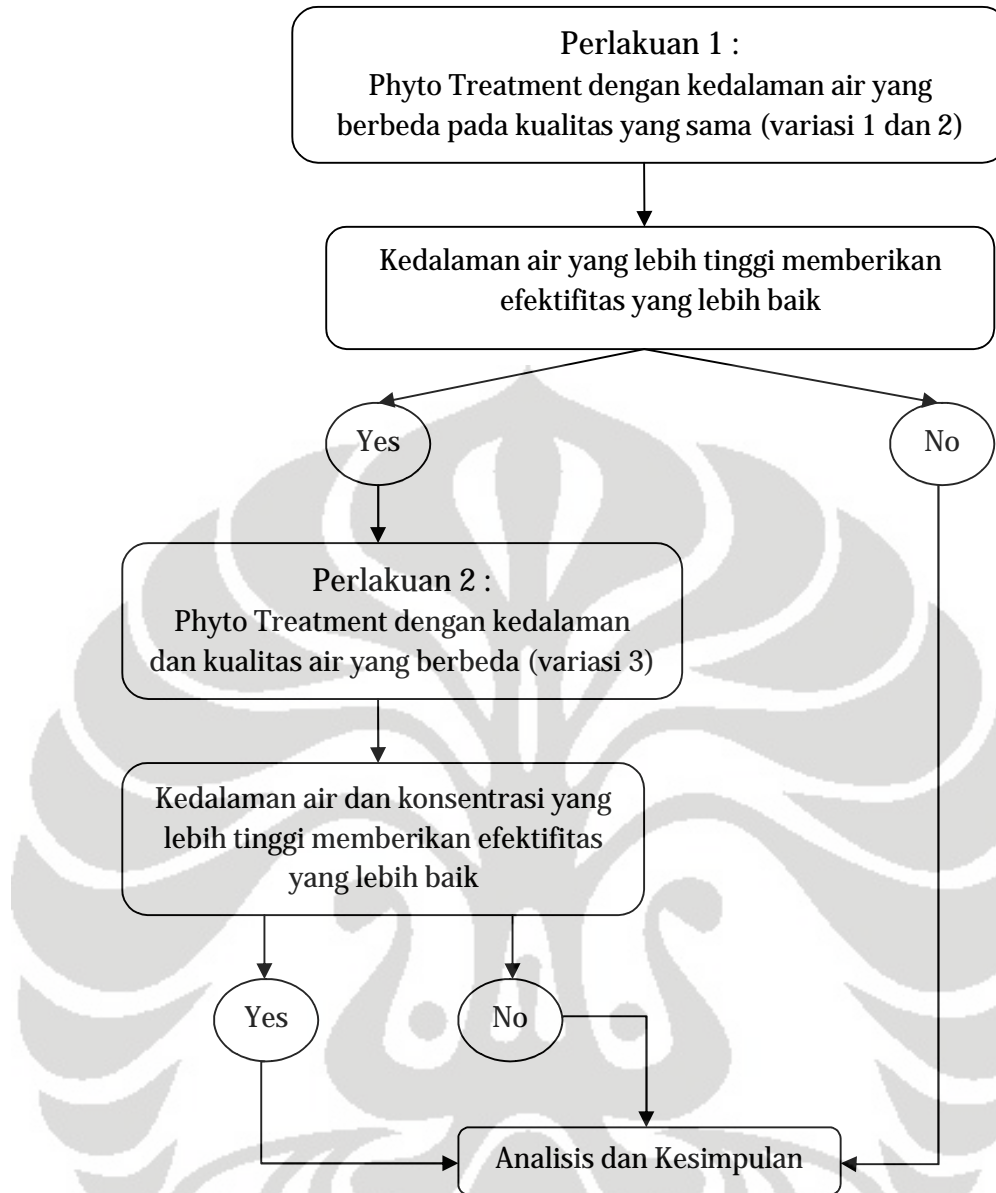
3.5.2 Lokasi Pengujian Laboratorium

Pengujian laboratorium pada sample dan hasil perlakuan akan dilaksanakan di Laboratorium Teknik Penyehatan Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

3.6 HIPOTESIS

Hipotesis :

1. Kedalaman air yang lebih tinggi memberikan efektifitas yang lebih baik.
2. Kedalaman air dan konsentrasi yang lebih tinggi memberikan efektifitas yang lebih baik.



Gambar 3.1. Alur Perlakuan

Keterangan :

Perlakuan 1 : dilakukan perbandingan terhadap perlakuan dengan dua kedalaman yang berbeda dengan konsentrasi air limbah yang sama. (perlakuan variasi 1 (kedalaman 30 cm) dibandingkan dengan variasi 2 (kedalaman 50 cm))

Perlakuan 2 : jika hipotesis 1 benar , dilakukan perbandingan terhadap perlakuan dengan dua kedalaman dan konsentrasi yang berbeda (perbandingan perlakuan variasi 2 (kedalaman 50 cm) dengan variasi 3 (kedalaman 70 cm))

3.7 WAKTU PENELITIAN

Tabel 3.4. Jadwal Kegiatan Penelitian

Bulan	April				Mei				Juni			
Minggu	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pengumpulan Data												
Data Primer												
Data Sekunder												
Persiapan Alat dan Bahan												
Pengambilan Sample												
Pembuatan pilot plant												
Massa perlakuan												
Pemeriksaan Laboratorium												
Pengolahan data												

BAB 4

GAMBARAN UMUM LOKASI STUDI

4.1 PROFIL PERUSAHAAN

PT Indomobil Suzuki Motor merupakan sebuah perusahaan penanaman modal asing (PMA) yang merupakan patungan lima buah perusahaan. Kelima perusahaan tersebut adalah sebagai berikut:

1. PT Indohero Steel & Engineering Co
2. PT Indomobil Utama
3. PT Suzuki Indonesia Manufacturing
4. PT Suzuki Engine Industry
5. PT First Chemical Industry

Lima perusahaan tersebut bergabung (Merger) dengan persetujuan dari Presiden Republik Indonesia melalui surat pemberitahuan tentang persetujuan Presiden dari Ketua Badan Koordinasi Penanaman Modal (BKPN) NO.05/1/PMA/90 tanggal 1 Januari 1990, dan diperingati sebagai tanggal berdirinya PT Indomobil Suzuki International, yang bergerak dalam bidang usaha Industri Komponen dan Perakitan kendaraan bermotor Merk SUZUKI roda dua (Sepeda Motor) dan roda empat (Mobil). Lokasi kantor pusat PT. Indomobil Suzuki Internasional berada di Wisma Indomobil di Jalan. MT Haryono, Kav. 8, Jakarta Timur Kantor Pusat ini didukung oleh 314 karyawan, sedangkan untuk lokasi pabrik tersebar di beberapa tempat, antara lain Pulogadung, Cakung, dan Tambun.

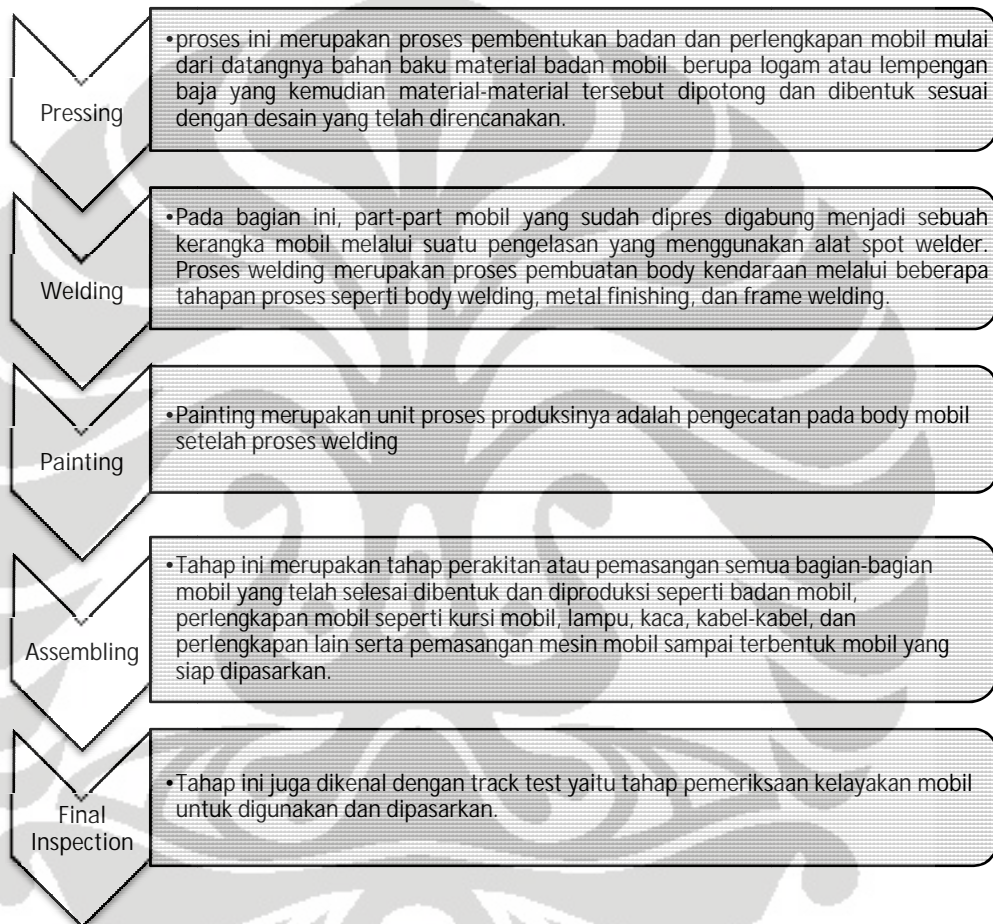
4.2 LOKASI STUDI

Lokasi studi kasus yang juga merupakan lokasi pengambilan sample adalah Plant Tambun II yang merupakan proyek baru khusus untuk kendaraan roda empat Suzuki. Disini dilakukan proses pengepresan, pengelasan, pengecatan, serta perakitan kendaraan roda empat dalam jajaran Suzuki, dengan menggunakan berbagai peralatan teknologi tinggi, dan yang terbesar di Asia Tenggara untuk saat ini. Plant Tambun II berdiri di area tanah seluas 130.000 m², dengan luas bangunan seluas 35.585 m², dan mampu menyerap tenaga kerja

sebanyak ± 1424 orang. Plant Tambun II diresmikan pada tanggal 14 Mei 1991 oleh Menteri Perindustrian RI (pada saat itu) Bpk. Ir. Hartarto.

4.3 INDUSTRI OTOMOTIF PERAKITAN MOBIL

Industri otomotif perakitan mobil merupakan industri yang memproduksi mobil dengan proses-proses produksi yang terlibat adalah sebagai berikut :



Gambar 4.1. Gambaran Umum Proses Produksi Perakitan Mobil

4.4 SUMBER AIR LIMBAH PROSES PAINTING

Proses *painting body* merupakan proses pengecatan badan kendaraan. Proses pengecatan yang menghasilkan air limbah yang akan diolah menggunakan IPAL dengan proses biologis adalah proses sebagai *degreasing*, *BWC T/C*, *I/C (Paint)*, *BWC (Plastic paint)*, dan *E/D (Paint)*. Proses *degreasing* berfungsi sebagai *cleaner* (pembersih) pada permukaan logam di unit *body* yang berfungsi sebagai pembersih oli, *grease* sehingga permukaan metal/logam tersebut bebas dari kotoran-kotoran. *Degreasing* ini sangat berpengaruh terhadap hasil *phosphating* pada permukaan metal/logam. Adapun bahan kimia yang digunakan adalah FC-4357 A dan B yang mempunyai sifat sebagai *alkali cleaner*. Untuk mendapatkan hasil pada permukaan bebas dari sisa oli, *grease* ataupun minyak, maka perlu diperhatikan kondisi operasi selama proses, yaitu :

- *Dipping time* (waktu pencelupan)
- Konsentrasi larutan (*pointage*)
- Temperatur/suhu larutan

4.5 BAKU MUTU AIR INDUSTRI

Air industri merupakan air yang digunakan oleh sebuah industri sebagai air yang digunakan pada proses produksi. Pada industri otomotif ini, air untuk keperluan proses produksi terdiri dari dua jenis air, yaitu *industrial water* dan *DI water*. Berikut merupakan baku mutu parameter air yang digunakan sebagai air industri :

Tabel 4.1. Baku Mutu Air Industri

Parameter	<i>Industrial Water</i>	<i>DI Water</i>
Konduktivitas	≤ 200	≤ 5
pH	8-9,2	5,9-7

Sumber : hasil wawancara

Industrial water merupakan air yang digunakan sebagai air pada proses produksi yang tidak dipengaruhi oleh konduktivitas yang cukup besar seperti *cooling water*. Sedangkan *DI water* merupakan air yang digunakan sebagai air

baku proses *painting*. Konduktivitas yang sangat kecil memberikan hasil pengecatan yang lebih rapi dan mengkilat pada badan mobil dan motor.

4.6 PROSES PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI YANG DILAKUKAN

Proses pengolahan air limbah yang dilakukan dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Reaksi 1 dan Pengaturan pH

Limbah yang dihasilkan dari *painting shop* diaerasi dan ditampung dalam bak-bak berdasarkan sumbernya selanjutnya, air limbah dialirkan menuju bak reaksi untuk direaksikan dengan PAC dan H_2SO_4 . Setelah direaksikan, air olahan dialirkan menuju bak pengaturan pH di mana air ditambahkan dengan NaOH sehingga memiliki kisaran pH 6-7. Setelah pH sesuai, lalu air dialirkan menuju unit proses selanjutnya.



Gambar 4.2. Pengatur pH

2. Koagulasi

Pada unit ini, air yang telah direaksikan dan diatur pH-nya menjadi 6-7, direaksikan dengan polimer untuk mengikat padatan yang terdapat di dalam air olahan. Proses koagulasi ini berbeda dengan koagulasi pada umumnya

berdasarkan polimer yang digunakan yang berguna untuk mengikat padatan sekaligus memperkecil densitas partikel atau flok yang terbentuk, sehingga akan memudahkan pada proses pengolahan selanjutnya.



Gambar 4.3. Unit Koagulasi

3. Flotasi

Flotasi merupakan proses untuk memisahkan padatan dari air. Unit flotasi digunakan karena densitas partikel padatan pada air limbah yang diolah dibuat lebih kecil jika dibandingkan dengan densitas air. Proses ini melakukan injeksi udara yang berasal dari *pressure tank* pada tekanan udara 5 kg/cm^2 . Unit ini digunakan untuk memisahkan padatan atau flok hasil dari unit koagulasi dengan air. Flok akan dipompa lalu dibuang ke *slurry tank*,

sedangkan air akan dialirkan menuju unit selanjutnya yaitu unit pengolahan biologis.



Gambar 4.4. Unit Flotasi

4. *Cushion Tank*

Bak ini merupakan bak yang dilewati air untuk memeriksa pH air sebelum masuk ke proses biologis dan untuk mengatur debit air yang masuk ke dalam proses biologis.

5. *Measuring Tank*

Bak ini merupakan bak penampung sementara dan sebagai bak tempat dicampurkannya air dengan kultur bakteri sebelum masuk ke pengolahan biologis dan diberi injeksi oksigen.

6. Proses Pengolahan Biologis

Proses biologis yang digunakan adalah proses lumpur aktif sebagai media kultur bakteri. Proses ini dilengkapi dengan injeksi udara dari dasar bak untuk memenuhi kebutuhan oksigen. Proses biologis ini digunakan untuk menurunkan konsentrasi parameter organik seperti BOD.

Proses biologis ini dilengkapi dengan 4 buah bak yang terpasang secara paralel dan dilanjutkan dengan bak sedimentasi untuk mengendapkan padatan yang terbentuk dari proses biologis.

Air hasil proses sedimentasi lalu dilanjutkan ke proses filtrasi dengan menggunakan *filter press*, sedangkan sebagian lumpur yang diendapkan dipompa untuk dialirkan kembali di proses biologis dan sebagian lagi dipompa dan ditampung di bak penampungan lumpur.

Air yang telah melalui pengolahan sampai dengan sedimentasi inilah yang dijadikan sebagai sampel untuk diberikan perlakuan dengan menggunakan tanaman air.



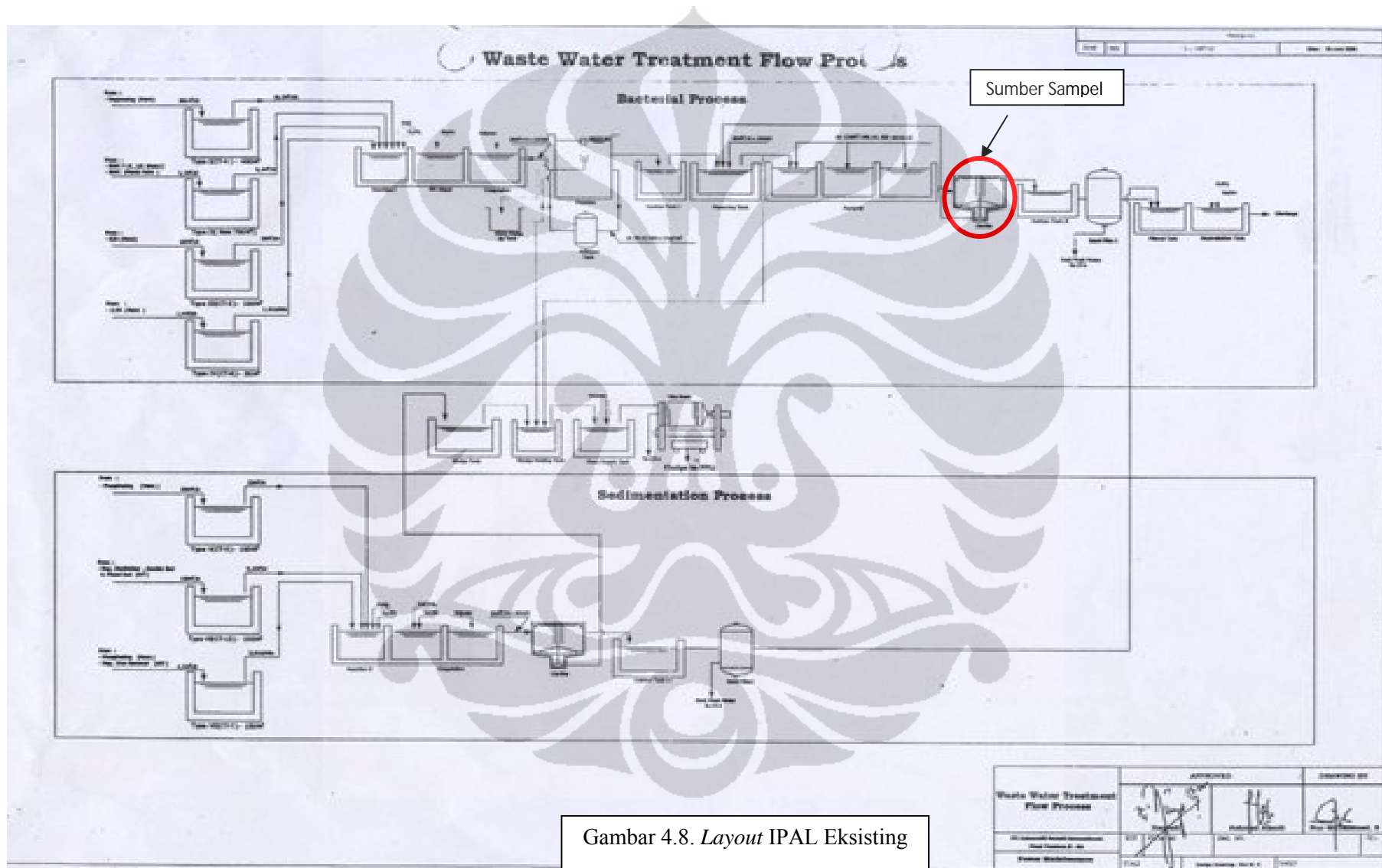
Gambar 4.5. Unit Bakterial



Gambar 4.6. Clarifier Tank



Gambar 4.7. Unit Filtrasi (*sand filter*)



Gambar 4.8. *Layout* IPAL Eksisting

BAB 5

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 HASIL PERCOBAAN

Percobaan dilakukan dengan menggunakan variabel kedalaman air pada reaktor, kualitas air, dan waktu retensi. Variasi kedalaman air yang digunakan adalah 30, 50, dan 70 cm berdasarkan pertimbangan kedalaman air yang kontak dengan akar tanaman dan jarak pengendapan untuk parameter padatan tersuspensi, sedangkan variasi waktu retensi yang dilakukan adalah 3, 5, dan 7 hari untuk setiap kedalaman air berdasarkan pertimbangan waktu kontak yang dibutuhkan disesuaikan dengan kualitas air limbah yang tidak terlalu buruk. Pertimbangan pemilihan kedalaman air dan waktu retensi juga disesuaikan dengan kriteria desain untuk pengolahan sekunder dan sekunder lanjutan pada sistem dengan eceng gondok. Variabel kualitas air yang digunakan disesuaikan dengan kualitas air limbah pada sumber. Perbedaan kualitas air pada sumber untuk variasi 1 dan 2 dengan variasi 3 dilakukan dengan menggunakan kualitas air dengan konsentrasi pencemar lebih tinggi pada variasi 3 dengan pertimbangan kualitas air limbah yang bersifat fluktuatif. Pada percobaan ini, tanaman eceng gondok yang digunakan memiliki panjang akar antara 10-15 cm, sedangkan kerapatan tanaman pada reaktor adalah 75-85% permukaan air. Untuk mengetahui efektivitas tanaman eceng gondok dalam proses *phyto treatment*, pemeriksaan air limbah dilakukan dengan parameter BOD, COD, TSS, TDS, konduktivitas, dan pH. Selain pemeriksaan terhadap parameter air limbah, pertumbuhan tanaman juga diperhitungkan dengan cara melakukan penimbangan berat kering tanaman pada hari ke-0 dan hari ke-7 untuk mengetahui pengaruh air limbah terhadap pertumbuhan tanaman. Hasil pengukuran masing-masing variasi kedalaman dan waktu retensi akan diuraikan sebagai berikut :

5.1.1 Variasi 1 : Kedalaman Air 30 cm.

Variasi 1 dilakukan dengan menggunakan kedalaman air 30 cm dengan waktu retensi 3, 5, dan 7 hari. Pemeriksaan dilakukan untuk setiap parameter pada waktu retensi yang telah ditentukan dan pengukuran berat kering tanaman hanya

dilakukan sebelum dan setelah 7 hari air limbah kontak dengan tanaman. Hasil pemeriksaan terhadap kualitas air limbah dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 5.1. Perubahan Kualitas Parameter pada Kedalaman Air 30 cm

Hari	BOD	COD	TSS	TDS	Konduktivitas	pH
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	($\mu\text{s/cm}$)	
0	3,672	123,24	12	384	890	8,13
3	1,102	82,16	8	391	888	7,73
5	1,1	41,08	4	391	875	6,7
7	3,004	51,2	2	397	912	7,02

Tabel 5.1 memberikan data kualitas air limbah sebelum dan sesudah mengalami kontak dengan tanaman. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa parameter BOD dan COD mengalami penurunan konsentrasi sampai dengan hari ke-5, namun, pada hari ke-7, konsentrasi BOD dan COD kembali naik. Dari hasil pemeriksaan laboratorium, parameter TSS mengalami penurunan konsentrasi yang cukup berarti. Namun, parameter TDS dan konduktivitas nilainya tidak stabil dan terus mengalami perubahan setiap harinya, sedangkan pH mengalami perubahan ke arah pH normal, yaitu 7 setelah melalui kontak dengan tanaman.

Selain data yang tersaji pada tabel, Gambar 5.1 juga memberikan gambaran secara visual mengenai parameter padatan tersuspensi yang jauh berkurang setelah waktu retensi 7 hari. Pengurangan parameter padatan tersuspensi ini merupakan salah satu parameter yang paling mudah diamati karena parameter ini biasanya berhubungan dengan kekeruhan yang terjadi pada air. Pada gambar tersebut dapat terlihat bahwa air limbah pada hari ke-7 lebih jernih dibandingkan dengan air limbah pada hari ke-0 sebelum diberikan perlakuan.



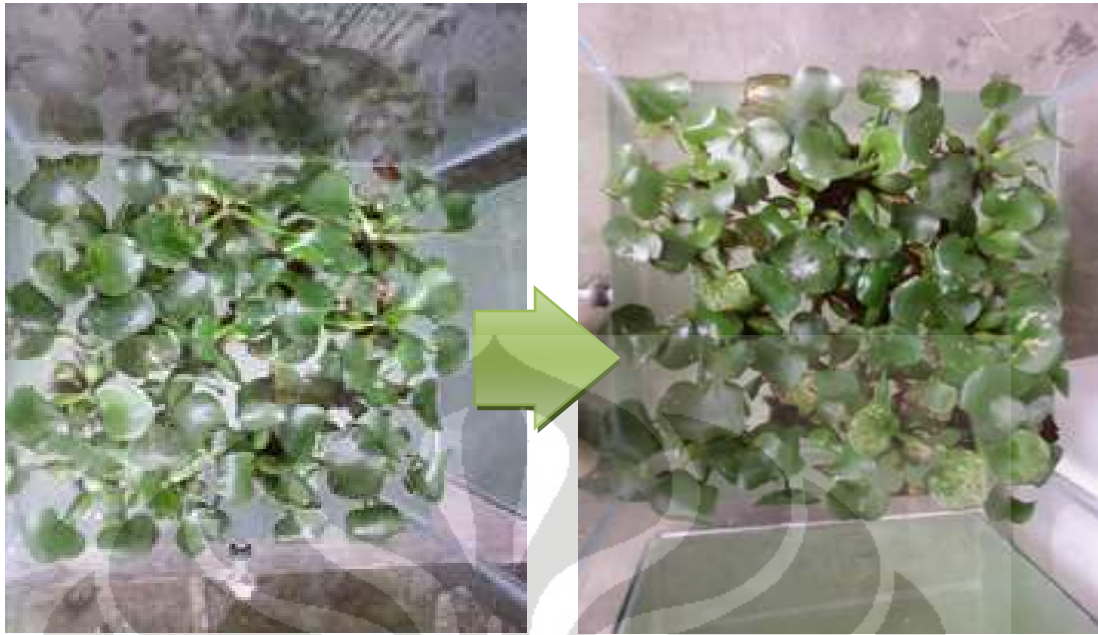
Gambar 5.1. Variasi 1 hari 0 dan hari 7.

Berbeda dengan pengaruh perlakuan terhadap parameter air, pengaruh diberikannya air limbah sebagai sumber nutrisi bagi tanaman eceng gondok, memberikan hasil seperti tersaji pada Tabel 5.2. Dari tabel tersebut, berat kering tanaman mengalami kenaikan terutama pada bagian akar.

Tabel 5.2. Berat Kering Tanaman pada Kedalaman Air 30 cm

Perlakuan	Berat Kering (mg)					
	Daun		Batang		Akar	
Hari ke-0	176,4	169,8	117,8	108,2	5768,4	5654,8
Hari ke-7	188,8	238,2	147,8	124,8	6008,2	5876,4

Walaupun bagian akar yang mengalami kenaikan berat kering paling besar, bagian daun dan batangnya pun mengalami kenaikan berat kering yang cukup besar. Pertumbuhan tanaman dapat terlihat pada Gambar 5.2 yang memberikan gambaran pertumbuhan pada daun yang berakibat pada berkurangnya permukaan air yang tidak tertutup oleh tanaman. Pada gambar tersebut terlihat jelas, bahwa setelah 7 hari, luas permukaan air yang tertutup tanaman berkurang dari yang sebelumnya hanya 75%-85% permukaan air tertutup tanaman menjadi hampir 90%-95% yang tertutup oleh tanaman. Hal ini menggambarkan pertumbuhan yang sangat pesat.



Gambar 5.2. Variasi 1 hari 0 dan 7 (eceng gondok)

5.1.2 Variasi 2 : Kedalaman Air 50 cm.

Variasi 2 dilakukan dengan menggunakan kedalaman air 50 cm dengan waktu retensi 3, 5, dan 7 hari. Pemeriksaan dilakukan untuk setiap parameter pada waktu retensi yang telah ditentukan dan pengukuran berat kering tanaman hanya dilakukan sebelum dan setelah 7 hari air limbah kontak dengan tanaman. Hasil pemeriksaan terhadap kualitas sampel air dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 5.3. Perubahan Kualitas Parameter pada Kedalaman Air 50 cm

Hari	BOD	COD	TSS	TDS	Konduktivitas	pH
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	($\mu\text{s/cm}$)	
0	3,672	123,24	12	384	890	8,13
3	1,836	94,848	10	389	888	7,57
5	1,47	65,728	8	393	879	7,14
7	1,01	52,8	4	395	907	7,36

Tabel 5.3 menunjukkan perubahan kualitas air limbah sebelum dan sesudah mengalami kontak dengan tanaman. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa parameter BOD, COD, dan TSS mengalami penurunan konsentrasi yang cukup berarti, sedangkan parameter TDS dan konduktivitas menunjukkan kondisi yang tidak stabil dan terus mengalami perubahan setiap harinya, sedangkan untuk

parameter pH, seperti pada variasi 1, mengalami perubahan ke arah pH normal, yaitu 7 setelah melalui kontak dengan tanaman.

Selain itu, Gambar 5.3 memberikan gambaran perubahan konsentrasi parameter TSS yang dilihat dari tingkat kekeruhan yang cukup berarti mengalami penurunan. Konsentrasi TSS pada hari ke-7 jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan air sampel sebelum mengalami perlakuan



Gambar 5.3. Variasi 2 hari 0 dan hari 7.

Berbeda dengan pengaruh perlakuan terhadap parameter air, pengaruh diberikannya air limbah sebagai sumber nutrisi bagi tanaman eceng gondok memberikan hasil seperti tersaji pada Tabel 5.4. Dari tabel tersebut, berat kering tanaman mengalami kenaikan berat kering terutama pada bagian akar. Dari sampel tanaman yang diambil untuk diujikan, terlihat bahwa ketiga bagian tanaman mengalami kenaikan berat kering yang cukup banyak yang berarti pertumbuhan tanaman yang terjadi dengan pesat.

Tabel 5.4. Berat Kering Tanaman pada Kedalaman Air 50 cm

Berat Kering (mg)						
Perlakuan	Daun		Batang		Akar	
Hari ke-0	176,4	169,8	117,8	108,2	5768,4	5654,8
Hari ke-7	194,6	268,6	174,6	219,4	7013,2	5988,8

Pertumbuhan tanaman yang terjadi pada variasi 2 ini juga terlihat pada Gambar 5.4. Pertumbuhan tanaman yang signifikan membuat permukaan air yang tertutup oleh tanaman semakin banyak. Permukaan air yang sebelumnya hanya 75%-85% tertutup oleh tanaman menjadi hampir 90%-95% yang tertutup oleh tanaman.



Gambar 5.4. Variasi 2 hari 0 dan hari 7 (Eceng gondok)

5.1.3 Perbandingan Variasi 1 dan Variasi 2

Variasi 1 dan variasi 2 memiliki perbedaan pada variabel kedalaman air yang digunakan pada penelitian. Kedalaman air yang digunakan pada variasi 2 lebih dalam sejauh 20 cm dari variasi 1. Kedalaman yang lebih tinggi ternyata memberikan hasil yang lebih baik dalam menurunkan kualitas air sampel seperti telah disajikan sebelumnya. Hasil ini memberikan kesimpulan sementara bahwa kedalaman air yang lebih tinggi memberikan efektivitas yang lebih tinggi pada proses penurunan konsentrasi pencemar di dalam air sampel. Pada kedalaman yang lebih tinggi, volume air dan jumlah nutrisi yang ada lebih banyak, sehingga pertumbuhan tanaman menjadi lebih cepat. Untuk menguji kesimpulan sementara tersebut, maka dilakukan perbandingan kembali hasil dari kedua variasi

sebelumnya dengan variasi 3 yang menggunakan variabel kedalaman air dan konsentrasi pencemar pada air sampel yang lebih tinggi.

5.1.4 Variasi 3 : Kedalaman Air 70 cm dan Konsentrasi Pencemar Lebih Tinggi

Variasi 3 dilakukan dengan menggunakan kedalaman air 70 cm dengan waktu retensi 3, 5, dan 7 hari serta konsentrasi pencemar dalam air sampel yang lebih tinggi dibandingkan dengan air sampel sebelumnya. Variasi 3 dilakukan sebagai pembanding untuk mengetahui apakah kedalaman yang tinggi dengan konsentrasi yang lebih tinggi dapat menghasilkan efektivitas yang lebih baik daripada perlakuan sebelumnya. Hal ini berhubungan dengan konsentrasi pencemar air limbah yang bersifat fluktuatif setiap waktunya bergantung pada kegiatan yang menghasilkan air limbah.

Pada variasi ini, pemeriksaan pada parameter air dan tanaman yang dilakukan masih sama seperti sebelumnya, yaitu dilakukan untuk setiap parameter pada waktu retensi yang telah ditentukan dan pengukuran berat kering tanaman hanya dilakukan sebelum dan setelah 7 hari air limbah kontak dengan tanaman. Hasil pemeriksaan terhadap kualitas air limbah dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 5.5. Perubahan Kualitas Parameter pada Kedalaman Air 70 cm

Hari	BOD	COD	TSS	TDS	Konduktivitas	pH
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	($\mu\text{s/cm}$)	
0	14,1	320	18	445	1026	8,27
3	2,571	260	10	438	847	7,87
5	1,578	176	8	444	986	7,11
7	1,262	96	2	447	1010	7,33

Tabel 5.5 memberikan hasil yang diperoleh dari percobaan dengan variasi 3. Beberapa parameter yang diujikan mengalami penurunan yang sangat berarti. Penurunan yang cukup berarti dapat dilihat pada salah satu parameter yang paling mudah diamati yaitu penurunan konsentrasi TSS yang ditandai dengan menurunnya kekeruhan di dalam air sampel seperti terlihat pada Gambar 5.6. Gambar tersebut memperlihatkan perbedaan tingkat kekeruhan air sampel pada

hari ke-0 sebelum air sampel mengalami perlakuan dan pada hari ke-7 setelah air sampel selesai mengalami perlakuan.



Gambar 5.5. Variasi 3 hari 0 dan hari 7

Tabel 5.5 memberikan data kualitas air limbah sebelum dan sesudah mengalami kontak dengan tanaman. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa parameter BOD, COD, dan TSS mengalami penurunan konsentrasi yang sangat besar, sedangkan untuk parameter TDS dan konduktivitas, mengalami hal yang sama seperti variasi 1 dan 2, yaitu konsentrasinya tidak stabil dan terus mengalami perubahan setiap harinya. Lain halnya dengan parameter pH yang mengalami perubahan ke arah pH normal, yaitu setelah 7 hari melalui kontak dengan tanaman.

Berbeda dengan pengaruh perlakuan terhadap parameter air, pengaruh diberikannya air limbah sebagai sumber nutrisi bagi tanaman eceng gondok, memberikan hasil seperti tersaji pada tabel 5.6. Dari tabel tersebut, berat kering tanaman mengalami kenaikan berat kering terutama pada bagian akar.

Tabel 5.6. Berat Kering Tanaman pada Kedalaman Air 70 cm

Berat Kering (mg)						
Perlakuan	Daun		Batang		Akar	
Hari ke-0	176,4	169,8	117,8	108,2	5768,4	5654,8
Hari ke-7	292,4	240,2	183,4	249,6	9987,8	10088

Perlakuan dengan variasi 3 ini merupakan perlakuan yang memberikan hasil yang sangat baik pada konsentrasi air sampel dan juga pada pertumbuhan tanaman. Seperti terlihat pada gambar 5.7, pertumbuhan tanaman pada variasi sangatlah pesat sehingga tanaman menutupi hampir 100% permukaan air pada hari ke-7. Hal ini menggambarkan bahwa permukaan air yang tertutupi oleh tanaman meningkat 15%-25% dari keadaan pada hari ke-0.

Perlakuan dengan variasi 3 ini merupakan perlakuan dengan hasil paling baik jika dibandingkan dengan kedua variasi sebelumnya. Perubahan yang sangat berarti tidak hanya terjadi pada konsentrasi parameter air, tetapi juga pada pertumbuhan tanaman yang sangat pesat sehingga akan berpengaruh terhadap waktu panen jika sistem ini akan digunakan.



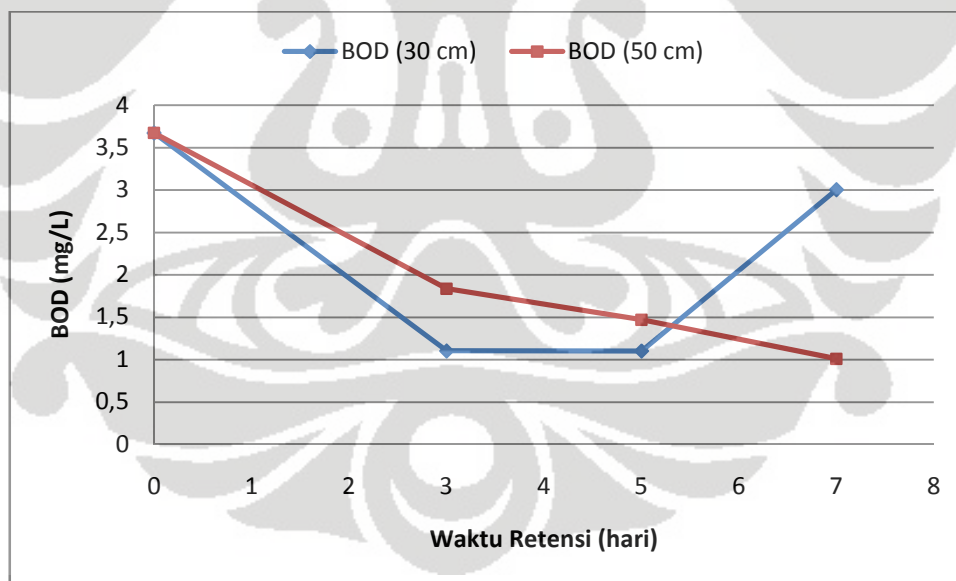
Gambar 5.6. Variasi 3 hari 0 dan hari 7 (Eceng Gondok)

5.2 ANALISIS PERUBAHAN PARAMETER KUALITAS AIR

Salah satu tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pemberian tanaman eceng gondok pada air limbah *effluent* dari pengolahan sekunder air limbah terhadap parameter kualitas air yang diujikan. Analisis mengenai perubahan konsentrasi parameter air yang diujikan akan dijelaskan untuk masing-masing parameter sebagai berikut :

5.2.1 BOD (*Biological Oxygen Demand*)

BOD merupakan salah satu indikator pencemar di dalam air yang disebabkan oleh limbah organik. Proses pengolahan limbah cair dengan teknik biofiltrasi yang menggunakan tanaman eceng gondok sebagai biofilter terlihat dapat menurunkan konsentrasi BOD. Hal ini dibuktikan dengan menurunnya konsentrasi BOD setelah diberikan waktu untuk kontak dengan akar tanaman eceng gondok. Perubahan konsentrasi BOD untuk setiap waktu retensi pada variasi 1 dan 2, dapat dilihat pada grafik berikut:

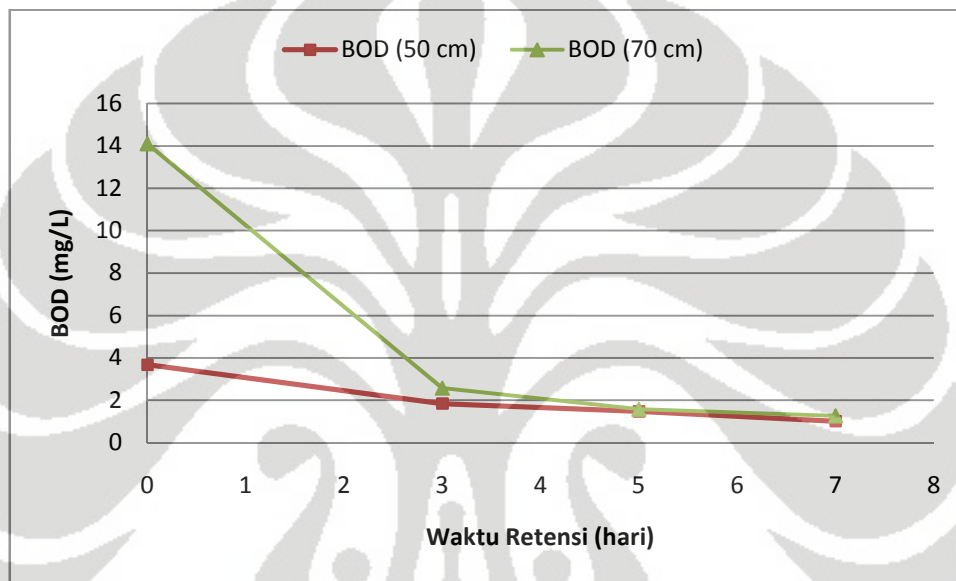


Gambar 5.7. Grafik Perbandingan Perubahan BOD Variasi 1 dan 2

Grafik di atas menggambarkan perubahan konsentrasi BOD selama masa perlakuan dengan variasi 1 dan 2. Dapat dilihat bahwa konsentrasi BOD mengalami penurunan pada kedua variasi pada waktu retensi 3 dan 5 hari. Tetapi, untuk waktu retensi 7 hari, hanya perlakuan dengan kedalaman air 50 cm saja

yang masih mengalami penurunan konsentrasi BOD. Lain halnya dengan perlakuan dengan kedalaman air 30 cm, konsentrasi BOD di hari 7 mengalami kenaikan kembali.

Dari hasil ini, penurunan BOD terjadi lebih baik pada variasi 2 dengan kedalaman air yang lebih dalam yang berpengaruh pada lebih banyaknya volume air dan beban pencemar. Perbandingan dilakukan kembali terhadap variasi 2 dan variasi 3 yang memiliki volume dan konsentrasi pencemar yang lebih besar.



Gambar 5.8. Grafik Perbandingan Perubahan BOD Variasi 2 dan 3

Gambar 5.8 memberikan grafik perbandingan penurunan BOD pada variasi 2 dan variasi 3. Penurunan BOD lebih besar terjadi pada variasi 3 dengan kedalaman 70 cm yang memiliki volume air dan beban limbah yang lebih besar. Dari grafik dapat dilihat bahwa pada variasi 3, penurunan BOD sangat pesat terjadi pada waktu retensi 3 hari. Dengan melihat pada efektivitas penurunan pada waktu retensi 3 hari, dapat dikatakan bahwa untuk menurunkan BOD dengan beban limbah pada penelitian ini, waktu retensi yang dibutuhkan hanya 3 hari.

Penurunan konsentrasi BOD yang terjadi disebabkan oleh percepatan penguapan air melalui proses evapotranspirasi oleh enceng gondok yang berperan sebagai biofilter. Proses evapotranspirasi yang terjadi akan mendukung laju pengambilan unsur hara yang larut dalam air oleh enceng gondok yang

dibutuhkan dalam proses fotosintesis melalui mekanisme penyerapan air melalui bulu-bulu akarnya yang serabut. Aktivitas fotosintesis yang tinggi, akan menghasilkan oksigen yang tinggi pula sehingga oksigen terlarut dalam limbah cair akan meningkat dan menurunkan konsentrasi BOD.

Enceng gondok mensuplai oksigen ke dalam air limbah melalui akar dan menambah jumlah oksigen terlarut dalam air limbah sehingga akan memacu kerja mikroorganisme dalam menguraikan senyawa-senyawa pencemar. Penyerapan tersebut dilakukan oleh akar tanaman dimana terdapat mikroorganisme yang hidup bersimbiosa di sekitar akar. Oksigen ini akan digunakan oleh mikroorganisme untuk mendegradasi bahan organik menjadi anorganik.

Proses degradasi tersebut juga dikenal dengan nama *phytodegradation* atau *phytotransformation* yaitu penguraian kontaminan yang diambil oleh tanaman melalui proses metabolisme di dalam tanaman, atau penguraian kontaminan eksternal kepada tanaman melalui efek dari senyawa (seperti enzim) yang dihasilkan oleh tanaman. Polutan mengalami degradasi, dimasukkan ke dalam jaringan tanaman, dan digunakan sebagai nutrisi.

Kenaikan kembali konsentrasi BOD pada perlakuan variasi 1 mungkin disebabkan oleh volume air pada variasi 1 lebih sedikit daripada kedalaman 50 cm. Hal ini mempengaruhi unsur hara yang terdapat di dalamnya yang dijadikan sebagai sumber makanan oleh mikroorganisme menjadi tidak cukup banyak dan sebagian telah diserap oleh akar tanaman untuk proses fotosintesis. Hal ini mengakibatkan habisnya sumber makanan mikroorganisme sampai dengan hari ke 5 sehingga mikroorganisme akan mati dan diduga meningkatkan jumlah partikel koloid atau tersuspensi di dalam air sehingga menaikkan kembali konsentrasi BOD di hari ke 7. Partikel koloid/tersuspensi dari mikroorganisme yang mati akan menjadi bahan organik yang juga perlu diuraikan. Selain itu, proses fotosintesis tidak berjalan dengan baik dan suplai oksigen berkurang.

Variasi 1 dan variasi 2 memiliki konsentrasi BOD yang sama dengan kedalaman air yang berbeda. Hasil yang muncul pada kedua variasi ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi yang sama, perlakuan dengan kedalaman air yang lebih tinggi menghasilkan efektivitas tanaman enceng gondok yang lebih baik dalam menurunkan konsentrasi BOD. Sedangkan untuk waktu retensi yang

paling efektif pada variasi 2 adalah 7 hari. Jika melihat kembali pada kriteria desain untuk sistem dengan eceng gondok pada pengolahan limbah sekunder lanjutan dengan waktu retensi >6 hari, 7 hari merupakan waktu retensi yang sesuai.

Dari ketiga variasi yang diberikan dengan perbedaan kedalaman air, konsentrasi pencemar, dan waktu retensi, efektivitas penurunan BOD paling baik ada pada perlakuan dengan variasi 3 yang menggunakan kedalaman tanaman 70 cm dengan konsentrasi BOD yang lebih tinggi. Pada perlakuan dengan variasi 3, volume air yang masuk ke dalam reaktor pun lebih banyak dibandingkan dengan variasi lain, selain itu, unsur hara sebagai makanan mikroorganisme cukup banyak karena konsentrasi BOD yang juga lebih tinggi dan didukung oleh suplai oksigen dari tanaman air yang cukup, sehingga kandungan polutan dapat diuraikan dengan baik. Selain itu, waktu retensi memiliki peran sebagai waktu kontak air limbah dengan akar tanaman. Dengan jumlah unsur hara yang cukup banyak dan waktu retensi yang cukup lama, tanaman dibantu dengan mikroorganisme yang ada di akar tanaman, dapat bekerja lebih maksimal dalam menurunkan konsentrasi BOD.

Hasil ini memberikan kesimpulan bahwa dengan kedalaman air dan konsentrasi BOD yang lebih tinggi, efektivitas sistem menggunakan tanaman eceng gondok menjadi lebih baik. Hal ini berhubungan dengan beban air limbah yang diolah. Pada kedalaman 70 cm dengan konsentrasi BOD, beban BOD yang masuk dengan debit air limbah eksisting 600 m³/hari adalah 8,46 kg/hari, sedangkan pada kedalaman 30 cm dan 50 cm, beban BOD hanya 2,2032 kg/hari.

Tabel 5.7. Perbandingan Penurunan Konsentrasi BOD dengan Kriteria Desain

Faktor	Satuan	Kriteria (keadaan ideal)		Penelitian		
		Sekunder Lanjutan	Tersier	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3
Volume	L	-	-	108	180	252
Waktu retensi	hari	7	6	5	7	7
Konsentrasi influent	mg/L	125	62,5	3,672	3,672	14,1
Konsentrasi effluent	mg/L	10	10	1,1	1,01	1,262
Beban organik	kg/ha	700	300	11,016	18,36	98,7
Beban organik	kg/(ha.hari)	100	50	2,20	2,62	14,1
Beban hidrolis	m ³ /(ha.hari)	800	800	-	-	-
Removal	%	92	84	70,04	72,49	91,05

Perbandingan penurunan konsentrasi BOD juga dilakukan dengan keadaan ideal dengan membandingkan antara hasil penelitian dengan kriteria desain. Perbandingan ini dilakukan untuk mengetahui seberapa jauh kemampuan eceng gondok dalam menurunkan konsentrasi BOD dengan beban organik yang lebih kecil daripada kriteria desain. Pada perbandingan ini, kriteria desain yang digunakan adalah kriteria desain untuk pengolahan sekunder lanjutan dan pengolahan tersier. Konsentrasi awal ditentukan dari beban organik dan beban hidrolis pada kriteria desain. Dari hasil perhitungan seperti tertera pada tabel 5.7, sistem pengolahan sekunder lanjutan dengan eceng gondok secara ideal memberikan penurunan konsentrasi BOD yang sangat besar yaitu sebesar 92% untuk pengolahan sekunder lanjutan dan 84% untuk pengolahan tersier.

Persen penurunan kriteria desain ini lalu dibandingkan dengan hasil penelitian yang memiliki beban organik yang lebih kecil daripada kriteria desain. Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa persen penurunan konsentrasi BOD penelitian sangat memuaskan, terlebih lagi pada perlakuan variasi 3 yang memiliki persen penurunan yang hampir sama dengan kriteria desain.

Tabel 5.8. Penurunan Konsentrasi BOD dan Persentase Penurunannya

Parameter		BOD (mg/L)					
		30 cm	% Penurunan	50 cm	% Penurunan	70 cm	% Penurunan
Hari	0	3,672	0	3,672	0	14,1	0
	3	1,102	69,99	1,836	50	2,571	81,77
	5	1,1	0,18	1,47	19,93	1,578	38,62
	7	3,004	-173,09 (naik)	1,01	31,29	1,262	20,03

Dari hasil ketiga variasi perlakuan yang diberikan, dapat dilihat bahwa terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja tanaman air eceng gondok dalam menurunkan parameter BOD di air limbah. Faktor-faktor tersebut adalah :

1. Kinerja eceng gondok dalam menurunkan parameter lain dalam waktu bersamaan, sehingga terjadi penggunaan oksigen yang lebih banyak dan

mengakibatkan kurangnya oksigen dalam penguraian zat organik oleh mikroorganisme,

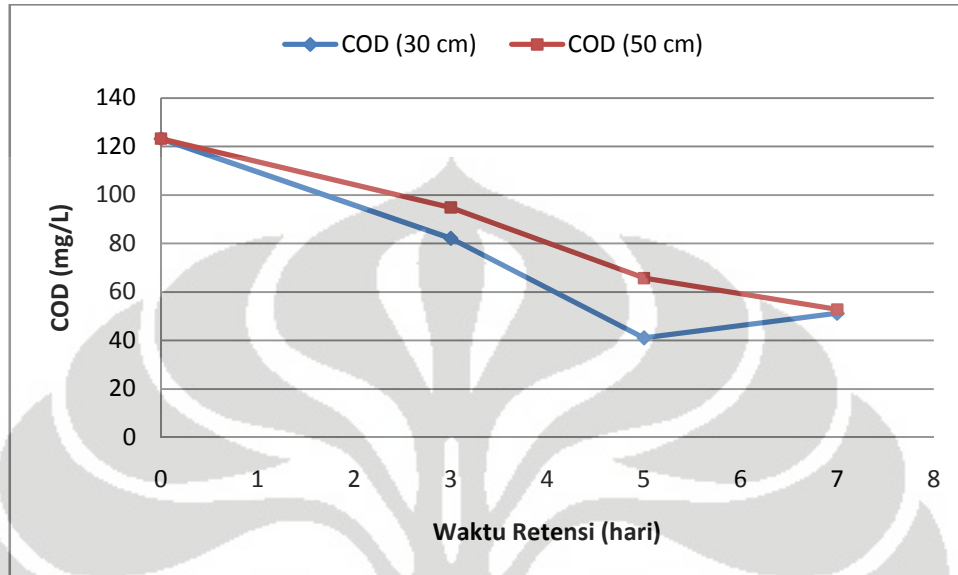
2. Kurangnya makanan atau nutrisi untuk mikroorganisme yang menyebabkan matinya mikroorganisme yang justru menjadi beban organik tambahan untuk diuraikan. Hal ini berhubungan dengan beban BOD dan volume air limbah yang masuk, dan
3. Faktor kurang baiknya kondisi tanaman. Faktor ini perlu diperhatikan dengan baik, karena jika tanaman tidak dalam kondisi yang sama dan telah beradaptasi dengan air limbah, maka tanaman justru dapat memperburuk kualitas air.

5.2.2 COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Angka COD menggambarkan jumlah oksigen (mg O_2) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik baik yang dapat diuraikan oleh mikroorganisme, zat organik yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme, maupun zat organik yang tidak mengalami biodegradasi dan zat kimia anorganik seperti ammonia dan nitrit yang ada di dalam sampel air. Besarnya persentase penurunan COD pada air limbah yang diberi perlakuan diduga karena adanya penyerapan bahan organik dan anorganik tersebut oleh eceng gondok melalui akarnya yang serabut sehingga terjadi pengurangan bahan organik maupun anorganik yang lebih cepat.

Perlakuan pertama adalah membandingkan antara dua variasi kedalaman air yaitu 30 dan 50 cm dengan konsentrasi air limbah yang sama. Hasil yang didapatkan dari perbandingan kedua variasi ini adalah perlakuan menggunakan tanaman air eceng gondok dapat menurunkan maupun menaikkan konsentrasi COD. Penurunan konsentrasi COD diduga terjadi dengan bantuan penyerapan bahan organik maupun anorganik oleh akar tanaman eceng gondok yang serabut. Terjadinya kenaikan kembali nilai COD pada hari ke 7 pada perlakuan variasi 1 dengan kedalaman air 30 cm sama seperti yang terjadi pada parameter BOD, mungkin disebabkan oleh habisnya unsur hara untuk proses fotosintesis dan makanan bagi mikroorganisme. Hal tersebut menyebabkan zat organik yang berasal dari mikroorganisme yang mati bertambah namun oksigen yang dihasilkan

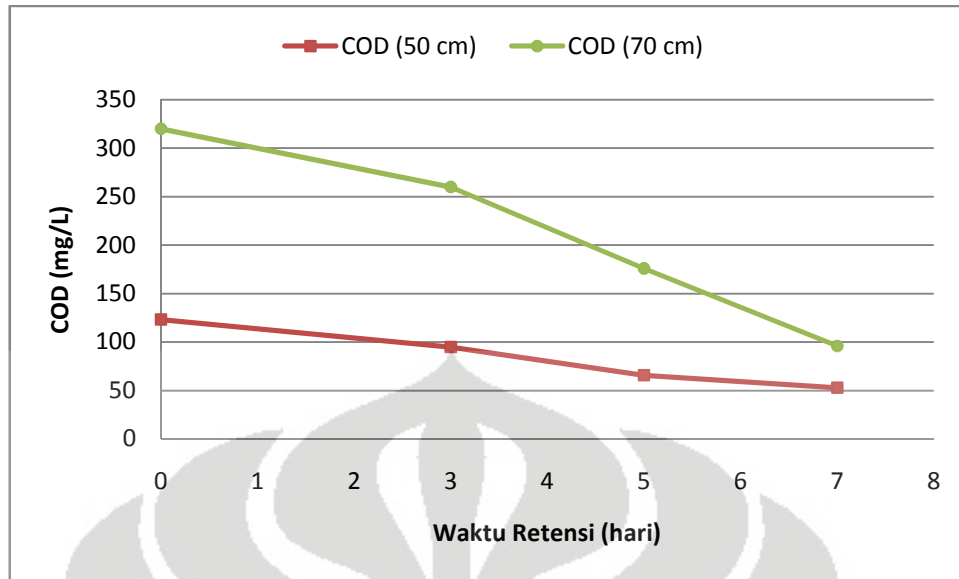
tidak mencukupi untuk menguraikan atau mendegradasi. Perbandingan penurunan COD variasi 1 dan 2 tersaji pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9. Perbandingan Perubahan COD Variasi 1 dan 2

Perbandingan yang dilakukan pada variasi 1 dan 2 memberikan hasil bahwa kedalaman air yang berbeda memberikan efektivitas pengolahan yang berbeda pula. Hasil yang didapatkan adalah sistem dengan kedalaman air yang lebih tinggi pada variasi 2 memiliki efektivitas pengolahan yang lebih baik dibandingkan dengan variasi 1.

Kesimpulan sementara adalah penurunan konsentrasi COD bergantung pada kedalaman air dan beban COD yang diterimanya. Hal ini dibuktikan kembali dengan perlakuan selanjutnya dengan menggunakan kedalaman air 70 cm dan konsentrasi COD yang lebih tinggi yaitu 320 mg/L. perbandingan penurunan COD antara variasi 2 dan 3 disajikan pada gambar 5.10. Perubahan yang paling terlihat adalah pada hasil dari perlakuan variasi 3, setelah mengalami kontak dengan tanaman eceng gondok selama 7 hari, yaitu 45,46% dari konsentrasi di hari ke 5 atau hingga 70% dari konsentrasi awal.



Gambar 5.10. Perbandingan Perubahan COD Variasi 2 dan 3

Hasil dari variasi 3 menggambarkan bahwa efektivitas eceng gondok semakin baik dengan kedalaman air dan konsentrasi COD yang lebih tinggi. Perbandingan penurunan COD pada setiap variasi terlihat pada Gambar 5.8. Perbedaan persentase penurunan konsentrasi COD ini dipengaruhi oleh kedalaman air dan beban COD yang diterima oleh sistem. Kedalaman air dan konsentrasi COD yang lebih tinggi memberikan volume air dan beban COD yang lebih tinggi pula.

Persentase penurunan konsentrasi COD disajikan pada Tabel 5.8 berikut ini :

Tabel 5.9. Penurunan Konsentrasi COD dan Persentase Penurunannya

Parameter		COD (mg/L)					
		30 cm		50 cm		70 cm	
Kedalaman Air			% Penurunan		% Penurunan		% Penurunan
Hari	0	123,24	0	123,24	0	320	0
	3	82,16	33,33	94,848	23,04	260	18,75
	5	41,08	50	65,728	30,7	176	32,31
	7	51,2	-24,64 (naik)	52,8	19,67	96	45,46

Seperti terlihat pada tabel di atas, presentase penurunan konsentrasi COD beragam di setiap variasi. Hasil di atas juga menunjukkan bahwa semakin lama waktu retensi, semakin besar persentase penurunan konsentrasi COD kecuali pada variasi 1. Penurunan konsentrasi COD yang berbanding lurus terhadap waktu ini dipengaruhi oleh cukupnya waktu tanaman untuk kontak dengan air limbah untuk bereaksi dan mendegradasi kandungan organik dan anorganik di dalam air limbah. Hal ini menyebabkan kebutuhan oksigen untuk mendegradasi berkurang karena bantuan tanaman dan bertambahnya suplai oksigen di dalam air hasil dari fotosintesis yang dilakukan tanaman. Waktu retensi yang paling efektif dalam menurunkan konsentrasi COD adalah 7 hari. Waktu ini sesuai dengan kriteria desain untuk sistem pengolahan air limbah sekunder lanjutan dengan tanaman eceng gondok.

Penurunan konsentrasi COD yang dilanjutkan dengan kenaikan kembali konsentrasi COD pada variasi 1 di hari ke 7 mungkin disebabkan oleh kebutuhan oksigen yang tidak terpenuhi karena kurangnya unsur hara. Unsur hara yang lebih sedikit ini disebabkan oleh volume air limbah yang lebih sedikit, sehingga tanaman kekurangan nutrisi untuk melakukan proses fotosintesis. Hal ini menyebabkan oksigen hasil fotosintesis tidak mencukupi untuk menguraikan kandungan pencemar dan matinya mikroorganisme karena kekurangan nutrisi menyebabkan bertambahnya zat organik untuk diuraikan.

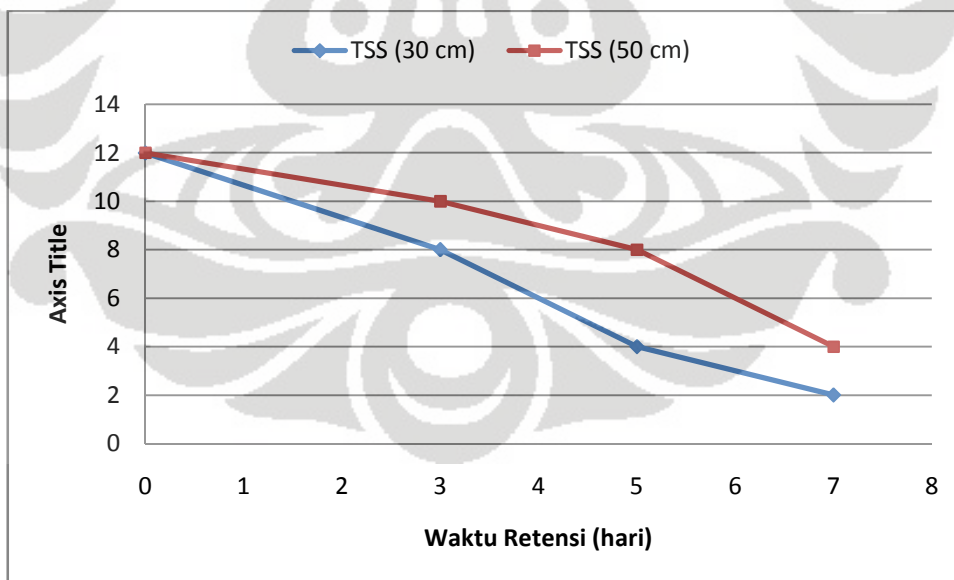
Faktor tanaman juga menjadi sangat penting, karena jika tanaman yang digunakan tidak dalam kondisi baik, maka penyerapan unsur hara oleh akarnya tidak akan sempurna dan justru dapat menyebabkan kenaikan nilai COD. Untuk itu, masa aklimatisasi tanaman air sangat penting untuk dilakukan sebelum tanaman air diberikan sebagai agen *phyto treatment* untuk memastikan bahwa tanaman telah beradaptasi dan dalam kondisi yang sama.

5.2.3 TSS (*Total Suspended Solids*)

TSS (*total suspended solids*) atau total padatan tersuspensi yang terkandung dalam air merupakan suatu parameter penting yang memberikan gambaran dari kekeruhan air. TSS merupakan parameter yang paling mudah diamati secara langsung, yaitu hanya dengan melihat tingkat kekeruhan dalam air

yang umumnya menggambarkan dan mewakili kandungan TSS dalam air. TSS menyebabkan air menjadi tidak jernih atau keruh sehingga menghambat masuknya cahaya karena terhamburnya cahaya oleh partikel-partikel yang sangat kecil di dalam air. Pada perairan alami, konsentrasi TSS yang tinggi menurunkan kualitas air secara optik dengan mengurangi kejernihan air dan terjadi penurunan cahaya yang tersedia untuk mendukung proses fotosintesis bagi tumbuhan di dalam air. Namun, dalam penelitian ini, proses fotosintesis oleh tanaman air eceng gondok dapat berlangsung dengan cukup baik, karena tanaman yang digunakan adalah taaman yang mengambang sehingga cahaya matahari untuk proses fotosintesis diperoleh dengan mudah oleh bagian tanaman yang mengambang di atas air.

Pemberian tanaman eceng gondok pada air limbah sebagai biofilter sangat membantu dalam proses penurunan konsentrasi TSS. Hal ini terbukti dari hasil penelitian seperti tersaji pada Gambar 5.11. Gambar tersebut memberikan gambaran mengenai erbandingan penurunan konsentrasi TSS dengan variasi 1 dan 2 yang berbanding lurus dengan waktu retensi. Semakin lama waktu retensi, semakin besar penurunan konsentrasi yang terjadi.

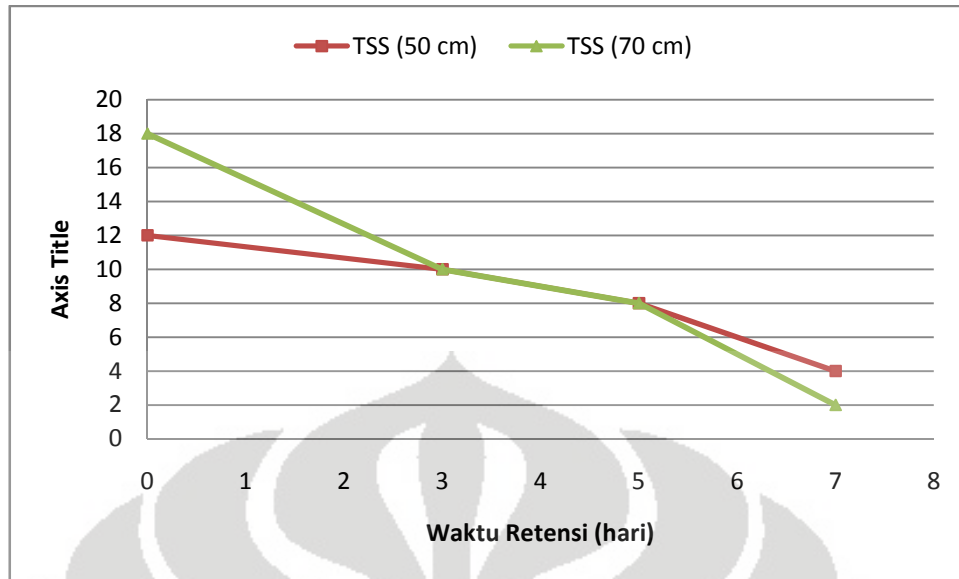


Gambar 5.11. Perbandingan Perubahan TSS Variasi 1 dan 2

Penghilangan padatan tersuspensi oleh eceng gondok ini terjadi melalui jeratan di zona akar tanaman dan proses sedimentasi secara gravitasi dalam air yang tenang di bawah permukaan akar tanaman eceng gondok. Waktu kontak dengan tanaman eceng gondok pada sampel air limbah dengan perbedaan kedalaman air memberikan ruang kontak antara air yang mengandung SS dengan akar tanaman, selain itu tinggi muka air akan menyisakan ruang sedimentasi atau pengendapan secara gravitasi yang berbeda-beda dari dasar bak. Kedua hal inilah yang mempengaruhi penurunan konsentrasi TSS pada setiap variasi perlakuan.

Kontak antara SS dengan akar tanaman untuk setiap perlakuan tidak akan jauh berbeda karena tanaman yang digunakan untuk semua perlakuan memiliki panjang akar yang hampir sama yaitu 10-15 cm dari permukaan air. Sedangkan untuk kedalaman ruang sedimentasi atau pengendapan akan berbeda sesuai dengan kedalaman air yang digunakan. Semakin dalam air, semakin jauh jarak SS untuk mengendap secara gravitasi. Untuk sistem dengan kondisi air yang tenang, semakin pendek jarak sedimentasi, maka akan semakin efektif pula sistem untuk menurunkan konsentrasi SS.

Pada variasi 3 ini, ruang kontak air dengan akar tanaman sama dengan dua variasi lainnya, dengan begitu variasi 3 ini memiliki ruang untuk proses sedimentasi secara gravitasi yang lebih jauh dibandingkan yang lainnya. Namun, efisiensi penurunan konsentrasi TSS tidak jauh berbeda dengan kedua variasi lainnya. Perbandingan antara variasi 2 dan 3 dilakukan untuk mengetahui penurunan TSS dengan kedalaman air yang lebih tinggi dan TSS yang lebih tinggi. Perbandingan tersebut disajikan pada gambar berikut :



Gambar 5.12. Perbandingan Perubahan TSS Variasi 2 dan 3

Selain ruang kontak dengan akar tanaman dan kedalaman untuk proses sedimentasi, waktu retensi juga menjadi hal yang sangat penting dalam penurunan konsentrasi SS. Semakin lama waktu retensi, semakin sedikit pula kandungan TSS yang terkandung dalam air limbah sample. Seperti ditunjukkan pada grafik penurunan TSS dan pada tabel yang menunjukkan persentase penurunan TSS, terlihat bahwa setelah mendapatkan perlakuan selama 7 hari, konsentrasi TSS menurun secara drastis. Hal ini terjadi karena sebagian padatan tersuspensi telah terjerat oleh akar tanaman dan sisanya memiliki waktu yang cukup untuk mengendap.

Tabel 5.10. Penurunan Konsentrasi TSS dan Persentase Penurunannya

Parameter		TSS (mg/L)					
		30 cm		50 cm		70 cm	
Kedalaman Air		30 cm	% Penurunan	50 cm	% Penurunan	70 cm	% Penurunan
Hari	0	12	0	12	0	18	0
	3	8	33,33	10	16,67	10	44,44
	5	4	50	8	20	8	20
	7	2	50	4	50	2	75

Namun, jika diperhatikan, konsentrasi TSS pada variasi 1 memiliki persentase penurunan yang lebih sedikit dibandingkan dengan dua variasi lainnya. Kurang maksimalnya penurunan konsentrasi TSS pada variasi 2 ini mungkin disebabkan oleh faktor tanaman yang kurang mampu menjerat TSS yang berada di air ataupun faktor luar lainnya seperti faktor angin yang menggoyangkan tanaman sehingga dapat menyebabkan terjadinya pengadukan atau turbulensi pada reaktor sehingga mengganggu proses pengendapan padatan.

5.2.4 TDS (*Total Dissolved Solids*)

TDS adalah ukuran jumlah materi atau padatan yang terlarut dalam air. TDS biasanya disebabkan oleh bahan anorganik yang berupa ion-ion. Sering juga dikatakan bahwa TDS merupakan total ion yang terlarut dalam air. Pengukuran TDS dilakukan karena sifatnya yang mudah larut di perairan dan adanya bahan anorganik yang berpengaruh terhadap peningkatan nilai kekeruhan yang selanjutnya akan menghambat masuknya cahaya matahari ke kolom air dan akhirnya berpengaruh terhadap proses fotosintesis di perairan.

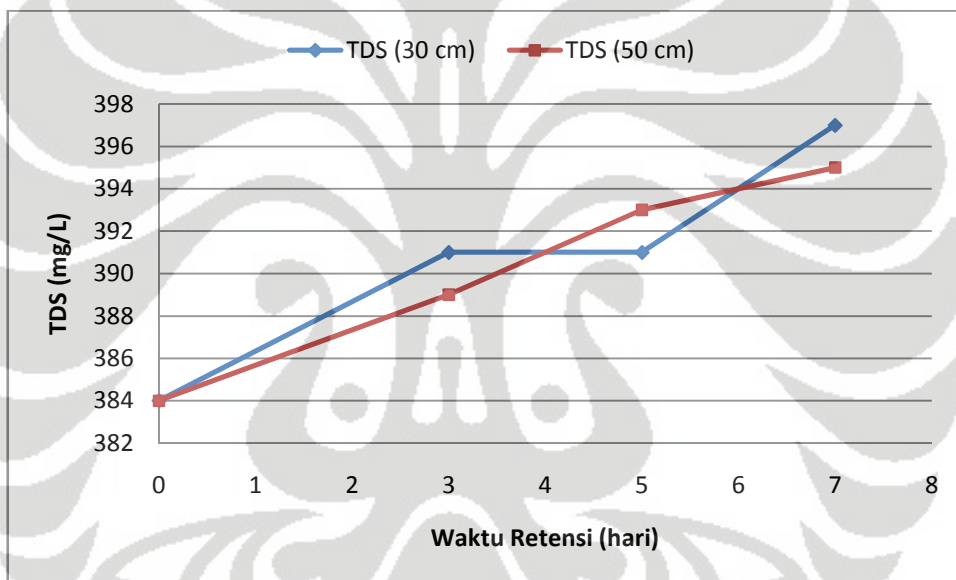
Tabel 5.11. Perubahan Konsentrasi TDS

Parameter		TDS (mg/L)		
Kedalaman Air		30 cm	50 cm	70 cm
Hari	0	384	384	445
	3	391	389	438
	5	391	393	444
	7	397	395	447

Untuk menurunkan konsentrasi TDS di dalam air, diperlukan pengikat ion-ion untuk memindahkan ion-ion tersebut dari dalam air. Namun, dari hasil perlakuan yang diberikan oleh tanaman eceng gondok, tanaman ini masih belum mampu mengikat ion-ion yang terkandung di dalam air, sehingga kandungan TDS pada sampel air tidak mengalami penurunan yang signifikan, bahkan cenderung tidak stabil. Kondisi yang tidak stabil dari konsentrasi TDS ini dapat disebabkan oleh nilai pH, dan suhu air.

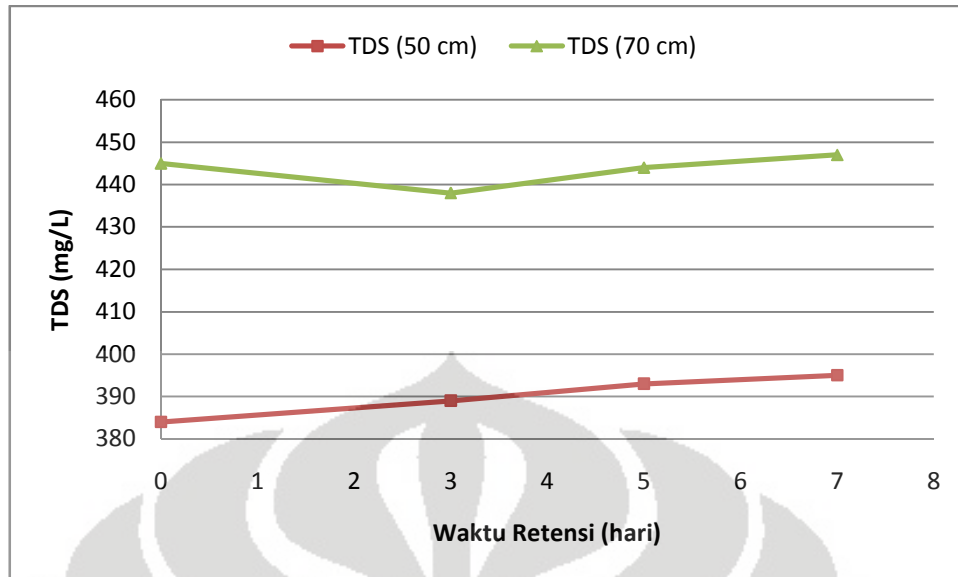
Temperatur air yang berbeda akan memberikan kelarutan yang berbeda pula bagi berbagai senyawa kimia. Semakin tinggi temperatur, semakin mudah senyawa kimia larut dalam air. Temperatur yang berubah-ubah dapat menyebabkan senyawa kimia dan kandungan ion yang terlarut dalam air menjadi berubah-ubah atau tidak stabil.

Sedangkan pH merupakan suatu ekspresi dari konsentrasi ion hidrogen (H^+) di dalam air. Semakin besar pH, maka semakin sedikit kandungan ion hydrogen dalam air. Tidak stabilnya konsentrasi TDS pada penelitian ini mungkin disebabkan oleh nilai pH yang juga tidak stabil namun berada pada kisaran pH normal.



Gambar 5.13. Perbandingan Perubahan TDS Variasi 1 dan 2

Gambar 5.13 merupakan gambar grafik perbandingan konsentrasi TDS pada variasi 1 dan 2 dengan kedalaman berbeda dan konsentrasi yang sama. Grafik di atas menunjukkan bahwa kedalaman air tidak berpengaruh terhadap perubahan konsentrasi TS. Untuk memastikan hasil ini, dilakukan percobaan dengan variasi 3 yang menggunakan kedalaman dan konsentrasi yang berbeda. Setelah itu, dilakukan perbandingan kembali terhadap hasil variasi 2 dan 3. Perbandingan hasil variasi 2 dan 3 disajikan pada gambar berikut :



Gambar 5.14. Perbandingan Perubahan TDS Variasi 2 dan 3

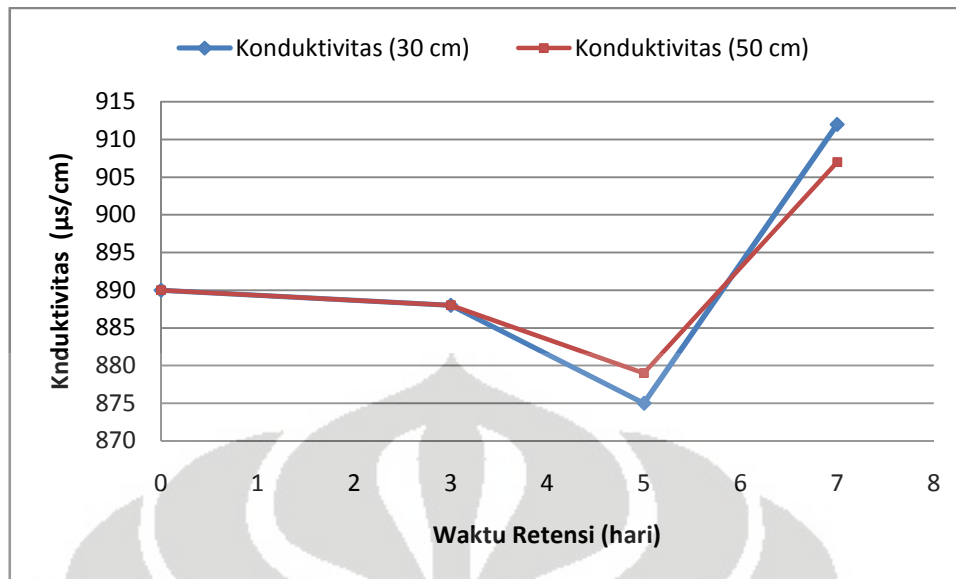
Grafik di atas menunjukkan bahwa kedalaman air dan perbedaan konsentrasi TDS tidak berpengaruh pada efektivitas pengolahan oleh eceng gondok. Efektivitas pengolahan tetap sama pada setiap kedalaman dan konsentrasi. Dari hasil ini dapat dikatakan bahwa sistem dengan tanaman eceng gondok tidak mampu dalam menurunkan konsentrasi TDS dalam air limbah.

5.2.5 Konduktivitas

Konduktivitas merupakan parameter yang digunakan untuk melihat aktivitas ion di dalam suatu larutan dalam kapasitas menghantarkan panas, listrik, ataupun suara. Karena arus listrik yang dibawa oleh ion dalam larutan, konduktivitas akan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi ion.

Tabel 5.12. Perubahan Nilai Konduktivitas

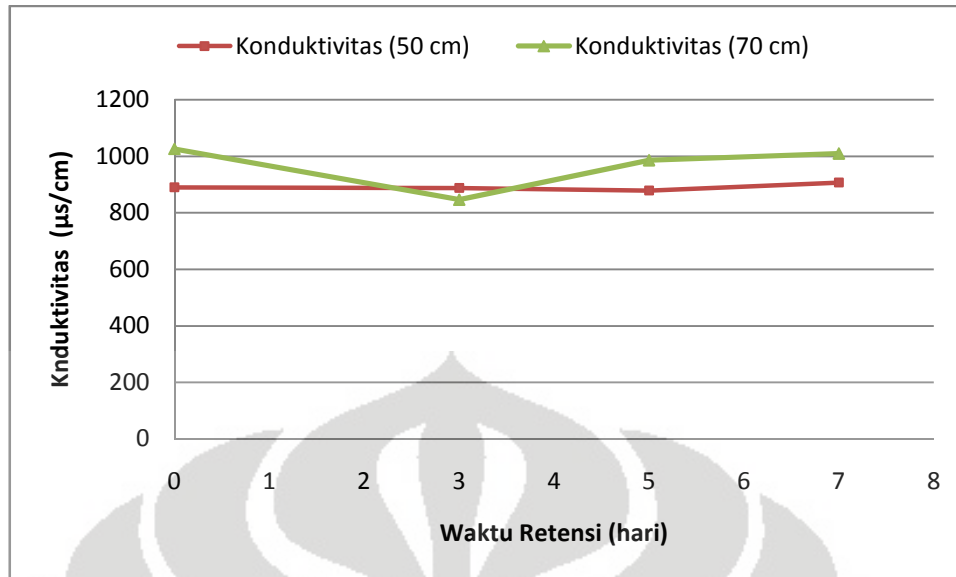
Parameter		Konduktivitas ($\mu\text{s}/\text{cm}$)		
Kedalaman Air		30 cm	50 cm	70 cm
Hari	0	890	890	1026
	3	888	888	847
	5	875	879	986
	7	912	907	1010



Gambar 5.15. Perbandingan Perubahan Konduktivitas Variasi 1 dan 2

Penggunaan tanaman air eceng gondok sebagai biofilter pada air limbah sampel tidak mempengaruhi nilai konduktivitas pada air. Konduktivitas air sampel memiliki kisaran antara 800-1030 $\mu\text{s}/\text{cm}$ baik sebelum ataupun sesudah mengalami perlakuan pada kedalaman berapapun. Nilai konduktivitas erat kaitannya dengan konsentrasi ion-ion utama yang terlarut dalam air. Konsentrasi ion-ion utama sampel air dapat dikatakan cukup tinggi ($>800 \mu\text{s}/\text{cm}$) atau kadar ion yang terlarut tinggi. Konduktivitas atau daya hantar listrik adalah angka yang menunjukkan kemampuan air untuk menghantarkan arus listrik. Besarnya daya hantar listrik juga bergantung pada kadar ion, temperatur air dan kandungan zat padat terlarut.

Hasil perbandingan variasi 1 dan 2 menunjukkan bahwa variasi kedalaman tidak berpengaruh terhadap perubahan konduktivitas. Konduktivitas air tetap berada pada kisaran angka 800-900 $\mu\text{s}/\text{cm}$ dan tidak menunjukkan adanya penurunan yang berarti. Untuk melihat apakah faktor konsentrasi mempengaruhi perubahan konduktivitas, perbandingan dilakukan kembali dengan variasi 3 yang menggunakan kedalaman air dan konsentrasi yang lebih tinggi.



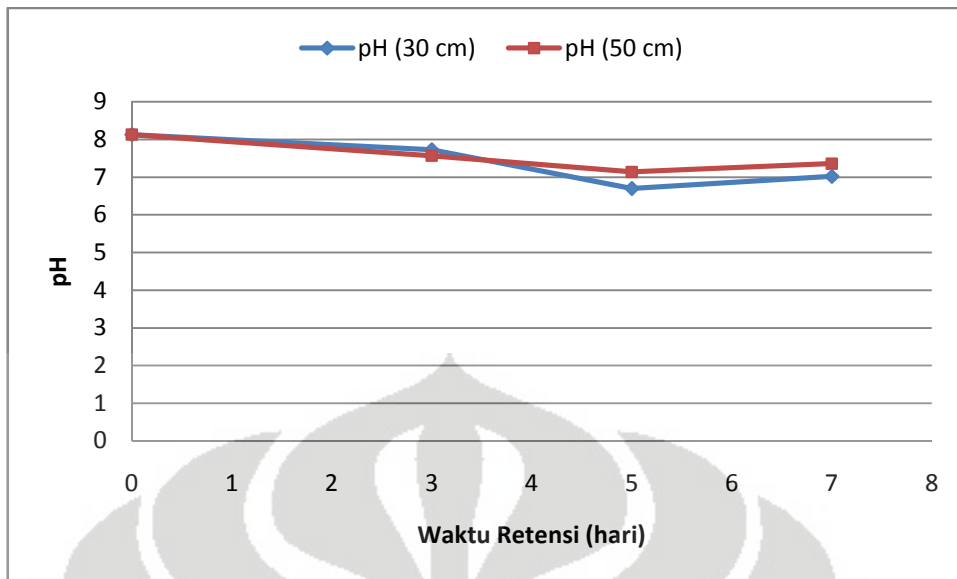
Gambar 5.16. Perbandingan Perubahan Konduktivitas Variasi 2 dan 3

Dari ketiga perlakuan yang diberikan, konduktivitas dalam air sangat tidak stabil. seperti halnya pada TDS, kenaikan dan penurunan ini dapat terjadi karena konduktivitas dipengaruhi oleh komposisi, jumlah ion terlarut, salinitas dan suhu, sedangkan tanaman air eceng gondok diduga tidak mampu mengikat ion-ion yang terkandung dalam air untuk menurunkan nilai konduktivitas. Penurunan mungkin terjadi ketika suhu air mengalami penurunan karena tertutupnya permukaan air oleh daun-daun tanaman, namun tidak cukup baik karena reaktor yang digunakan terbuat dari kaca, sehingga suhu dari matahari masih mampu mempertahankan suhu air pada keadaan cukup konstan.

5.2.6 pH

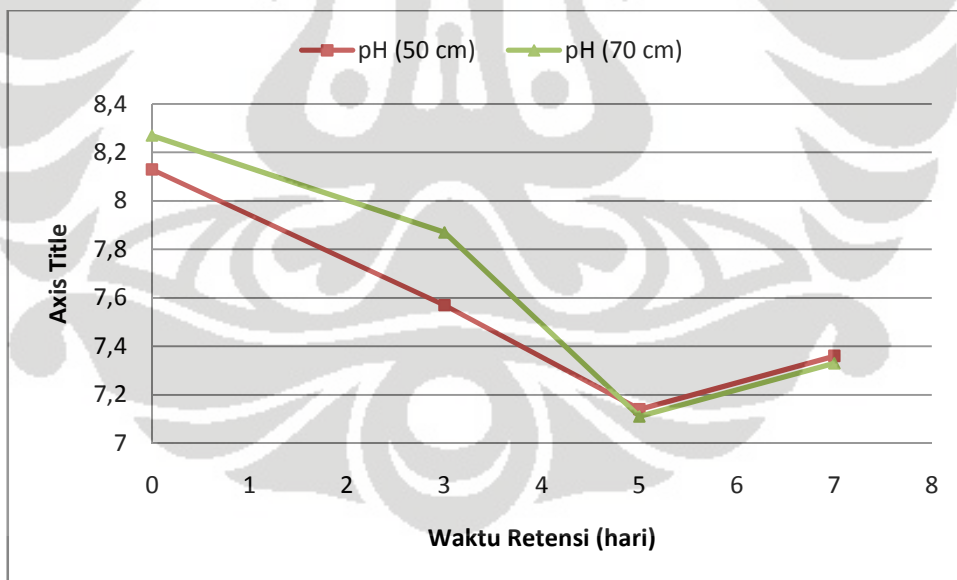
pH merupakan indikator tingkat keasaman air. Hubungan antara pH air dengan tanaman air sangat penting tetapi belum dapat dimengerti sepenuhnya. Pada umumnya, karbon dioksida bebas dipindahkan dari air selama proses fotosintesis, asam karbon akan berkurang dari air, sehingga akan menaikkan pH air.

Hasil perlakuan variasi 1 dibandingkan dengan perlakuan variasi 2. Hasil perbandingan menggambarkan bahwa pH air setelah mengalami perlakuan menurun dan berada pada kisaran angka pH normal yaitu 7 seperti terlihat pada gambar 5.17.



Gambar 5.17. Perbandingan Perubahan pH variasi 1 dan 2

Perbandingan dilakukan kembali dengan menggunakan sampel air dengan angka pH yang lebih tinggi dan kedalaman air yang lebih tinggi. Hasil yang didapatkan juga sama, yaitu pH menurun menjadi kadar pH normal seperti terlihat pada gambar 5.18.



Gambar 5.18. Perbandingan Perubahan pH variasi 2 dan 3

Selama masa penelitian, yang terjadi adalah pH awal sampel air yang mengarah kepada sedikit basa dengan nilai 8,13 dan 8,27; seiring dengan berjalannya waktu, pH air mengarah pada angka normal yang berkisar antara 6,7-7,87.

Hal ini dapat terjadi karena pada sistem diduga terjadi respirasi namun tidak melebihi proses fotosintesis, sehingga karbon dioksida yang dapat diambil langsung oleh tanaman melalui udara bebas dilepaskan ke air dan pH menjadi lebih rendah namun mengarah kepada normal dan cenderung stabil.

Perlakuan dengan sistem tanaman eceng gondok memberikan pengaruh perubahan pH ke arah pH normal. Hal ini terjadi pada ketiga variasi kedalaman dan perbedaan konsentrasi pencemar. Efektivitas sistem tanaman eceng gondok dalam menetralkan pH tidak dipengaruhi oleh kedalaman air dan konsentrasi pencemar.

Tabel 5.13. Perubahan pH

Parameter		pH		
Kedalaman Air		30 cm	50 cm	70 cm
Hari	0	8,13	8,13	8,27
	3	7,73	7,57	7,87
	5	6,7	7,14	7,11
	7	7,02	7,36	7,33

5.3 ANALISIS PERTUMBUHAN ECENG GONDOK

Control system dibuat untuk membandingkan pertumbuhan eceng gondok yang diberi perlakuan/kontak dengan air limbah dengan eceng gondok tanpa perlakuan/kontak dengan air limbah. *Control system* dibuat pada sebuah bak yang berisi air bersih yang berasal dari air tanah. Pemilihan air tanah sebagai media tanam eceng gondok pada *control system* dengan pertimbangan bahwa air tanah merupakan air bersih yang bebas dari kandungan bahan pencemar dan tidak memiliki unsur hara yang cukup banyak serta bebas dari kandungan chloroform yang biasa terkandung dalam air bersih hasil pengolahan, sehingga lebih mudah untuk melakukan perbandingan terhadap pertumbuhan tanaman.

Pemeriksaan terhadap pertumbuhan tanaman dilakukan dengan cara membandingkan berat kering dari bagian-bagian tanaman seperti daun, batang, dan akar tanaman yang telah dikeringkan pada suhu 105°C sampai berat yang stabil. Setiap bagian tanaman memiliki fungsi dan kandungan yang berbeda-beda, juga memiliki ukuran yang berbeda pula. Maka dari itu, dipilih masing-masing 2 sampel yang memiliki ukuran hampir sama untuk setiap bagian tanaman untuk dikeringkan dan ditimbang beratnya. Setelah didapatkan berat kering untuk masing-masing bagian, berat dari 2 sampel dirata-ratakan untuk dilihat pertumbuhannya sebelum dan setelah diberikan air limbah dan dibandingkan dengan pertumbuhan tanaman pada air bersih. Analisis mengenai pengaruh air limbah terhadap pertumbuhan tanaman akan diuraikan berikut ini :

5.3.1 Pertumbuhan Daun

Bagian tumbuhan yang berfungsi sebagai tempat berlangsungnya fotosintesis adalah daun. Daun banyak mengandung zat warna hijau yang disebut *klorofil*. Daun terdiri atas tangkai daun dan helaian daun. Daun eceng gondok merupakan bagian yang tidak kontak langsung dengan air dan kapasitasnya sebagai tempat berlangsungnya proses fotosintesis membuat daun menghasilkan zat makanan yang kemudian diedarkan ke seluruh bagian tubuh termasuk akar dan batang.

Salah satu hasil fotosintesis adalah oksigen. Oksigen hasil fotosintesis inilah yang diedarkan dari daun sampai ke akar tanaman melalui batang dan akhirnya dilepaskan di dalam air limbah. Hal ini menjelaskan mengapa konsentrasi oksigen yang bertambah pada air limbah dan menurunkan konsentrasi pencemar seperti BOD dan COD.

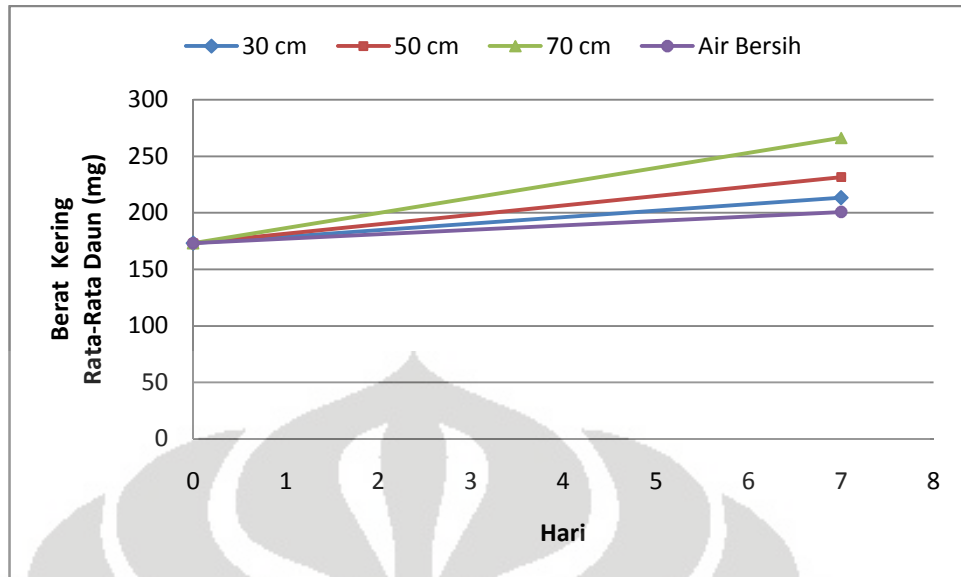
Untuk melakukan proses fotosintesis, tanaman memerlukan air dan sumber mineral. Pada penelitian ini, eceng gondok mendapatkan suplai air dan mineral dari air limbah yang diserap oleh akar dan dibawa ke daun oleh batang. Setelah proses fotosintesis terjadi, hasilnya yang berupa oksigen dilepas ke dalam air dan makanan hasil fotosintesis tersebut menjadi sumber makanan oleh mikroorganisme yang berada di akar tanaman.

Daun merupakan salah satu bagian dari tanaman yang cukup banyak menyimpan cadangan makanan dan mineral, maka dari itu, pengukuran terhadap berat kering daun dilakukan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi pencemar di air limbah sebagai sumber mineral oleh daun untuk melakukan fotosintesis. Berat kering dari sample daun disajikan pada tabel berikut :

Tabel 5.14. Perbandingan Berat Kering Daun

Perlakuan	Hari	Berat Kering rata-rata (mg)	Kenaikan Berat (mg)	% Kenaikan
30 cm	0	173,1	40,4	23,34
	7	213,5		
50 cm	0	173,1	58,5	33,80
	7	231,6		
70 cm	0	173,1	93,2	53,84
	7	266,3		
Air Bersih	0	173,1	27,6	15,94
	7	200,7		

Seperti terlihat pada tabel, pertumbuhan daun berbanding lurus dengan jumlah air limbah yang diberikan. Karena dalam penelitian ini sumber air dan mineral untuk proses fotosintesis oleh daun berasal dari air limbah, maka semakin banyak volume air limbah, semakin banyak jumlah mineral yang dapat diserap, semakin besar pula pertumbuhan daun yang terjadi. Dari hasil penelitian, kenaikan berat kering daun paling besar terjadi pada perlakuan variasi 3 dengan kedalaman air 70 cm pada hari ke 7. Hal ini mungkin disebabkan oleh sumber mineral pada air limbah jauh lebih banyak dibandingkan dengan variasi lainnya dikarenakan volume air yang mengandung konsentrasi pencemar juga lebih banyak. Grafik pertumbuhan daun eceng gondok dapat dilihat pada gambar 5.13.



Gambar 5.19. Perbandingan Berat Kering Daun

Dari grafik di atas, dapat dilihat bahwa, jika dibandingkan dengan media air bersih, media air limbah memberikan kontribusi lebih banyak dalam pertumbuhan daun seperti terlihat pada kenaikan grafik untuk setiap variasi perlakuan. Pertumbuhan daun yang lebih baik pada air limbah mungkin disebabkan oleh sumber mineral yaitu konsentrasi pencemar lebih banyak dari air bersih dengan kedalaman dan volume air limbah terkecil sekalipun di dalam penelitian ini. Dengan kata lain, dibandingkan dengan air bersih, air limbah dengan volume 180 liter, lebih baik dalam menunjang proses fotosintesis dan pertumbuhan daun.

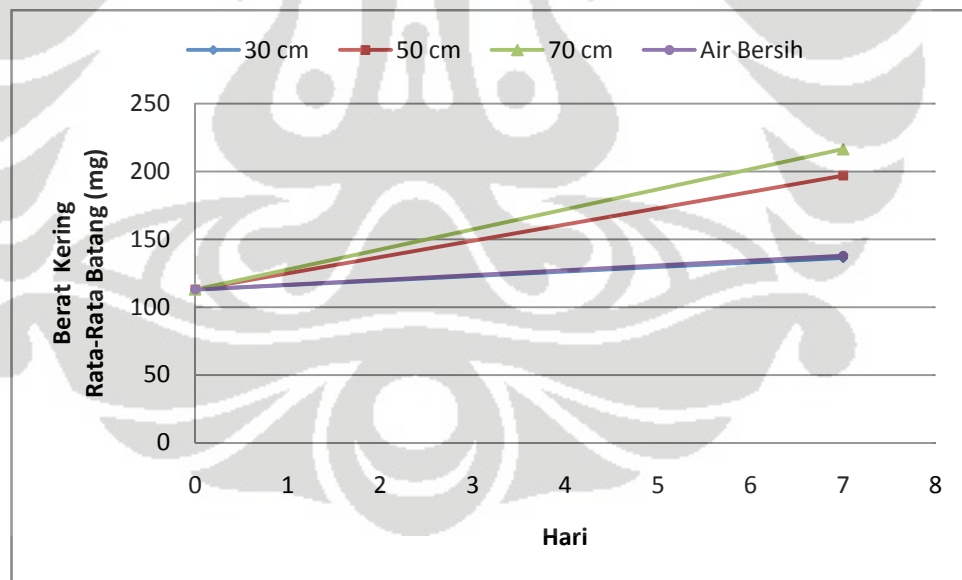
5.3.2 Pertumbuhan Batang

Batang berfungsi sebagai tempat munculnya daun, bunga, dan buah. Di samping itu, batang juga berfungsi untuk mengedarkan mineral dan air yang diserap oleh akar, serta zat makanan hasil fotosintesis ke seluruh bagian tubuh tanaman. Batang eceng gondok berbeda dengan batang pada umumnya, batang eceng gondok berbentuk bonggol dan bersifat seperti spons yang dapat menyimpan cukup banyak air dan mineral pada saat mengedarkan air dan mineral ke seluruh tubuh tanaman.

Tabel 5.15. Perbandingan Berat Kering Batang

Perlakuan	Hari	Berat Kering rata-rata (mg)	Kenaikan Berat (mg)	% Kenaikan
30 cm	0	113	23,3	20,62
	7	136,3		
50 cm	0	113	84	74,34
	7	197		
70 cm	0	113	103,5	91,59
	7	216,5		
Air Bersih	0	113	24,9	22,04
	7	137,9		

Tabel 5.14 menyajikan data mengenai kenaikan berat kering yang dialami oleh bagian batang untuk masing-masing variasi perlakuan. Pada tabel tersebut persentase kenaikan berat kering diperoleh pada batang tanaman variasi 3 dengan kedalaman air 70 cm. Pada variasi ini, volume air dan mineral yang terkandung di dalamnya lebih banyak dibandingkan dengan variasi 1 dan 2 serta media air bersih. Hal inilah yang menyebabkan mineral yang terkandung di dalam batang dapat lebih besar.



Gambar 5.20. Perbandingan Berat Kering Batang

Sama halnya dengan penambahan berat kering pada daun, penambahan berat kering paling sedikit diperoleh pada batang dengan perlakuan menggunakan air bersih. Dengan sebab yang sama seperti pada daun, sedikitnya penambahan

berat pada batang, dikarenakan jumlah mineral yang terkandung di dalam air bersih, lebih sedikit dibandingkan dengan air limbah. Namun, jika dibandingkan dalam bentuk grafik seperti pada gambar 5.14, penambahan berat pada batang setelah diberi perlakuan dengan air limbah dengan variasi 1 yaitu dengan kedalaman 30 cm, berhimpit dengan penambahan berat kering batang pada perlakuan air bersih.

Berbeda dengan daun, fungsi batang sebagai pengantar mineral dan zat makanan hasil fotosintesis dapat menyimpan lebih banyak cadangan makanan sebelum diedarkan. Pada variasi 1, kemungkinan cadangan makanan yang masih tersimpan di bagian batang sudah tidak terlalu banyak, sehingga berat kering batang tidak jauh berbeda dengan berat kering batang dengan media air bersih.

5.3.3 Pertumbuhan Akar

Akar merupakan bagian tanaman yang berfungsi untuk menyerap air dan mineral. Akar tanaman eceng gondok yang berjenis serabut memberikan keuntungan lebih daripada sekedar menyerap air dan mineral. Akar serabut yang dimiliki eceng gondok juga dapat berfungsi untuk mengikat padatan yang terdapat dalam air, sehingga pertumbuhan akar eceng gondok juga dipengaruhi oleh padatan-padatan yang terdapat dalam air. Semakin besar padatan yang terkandung dalam air, semakin besar pula pertumbuhan akarnya.

Selain itu, padatan yang diikat oleh akar biasanya juga mengandung mineral tersendiri terutama kandungan zat organik. Mineral pada padatan ini juga dapat diserap oleh akar sebagai sumber nutrisi selain daripada yang terlarut dalam air.

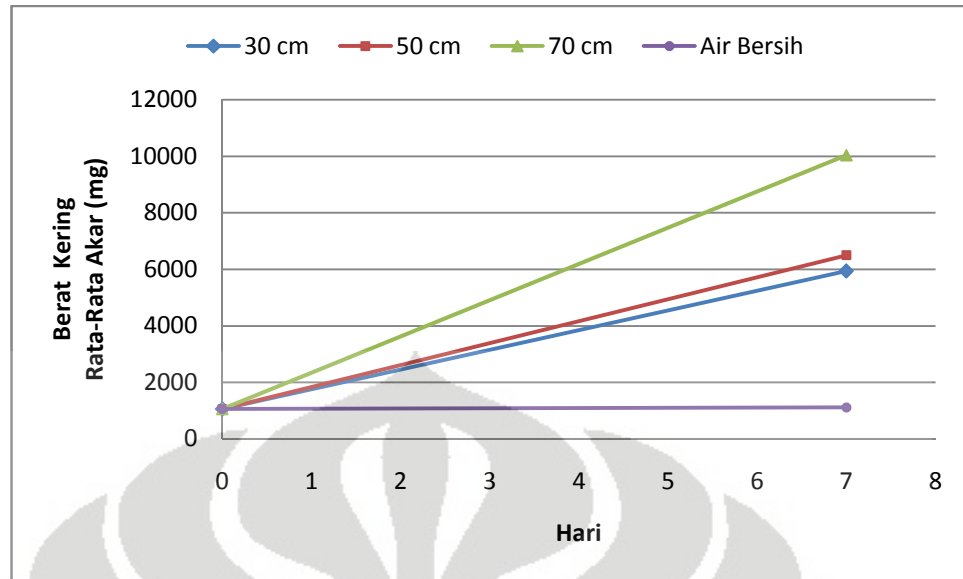
Tabel 5.16. Perbandingan Berat Kering Akar

Perlakuan	Hari	Berat Kering rata-rata (mg)	Kenaikan Berat (mg)	% Kenaikan
30 cm	0	1056,6	4885,7	462,40
	7	5942,3		
50 cm	0	1056,6	5444,4	515,28
	7	6501		
70 cm	0	1056,6	8981,3	850,02
	7	10037,9		
Air Bersih	0	1056,6	58,9	5,57
	7	1115,5		

Akar tanaman eceng gondok pada penelitian ini merupakan bagian dari tanaman yang mengalami kenaikan berat yang paling besar dibandingkan dengan bagian tanaman lainnya. Dari tabel 5.15 yang menyajikan data pertumbuhan akar tanaman melalui berat keringnya dapat dilihat bahwa pertumbuhan akar paling besar terdapat pada akar tanaman yang diberi perlakuan dengan variasi 3 yang menggunakan kedalaman air 70 cm yang memiliki volume air dan kandungan pencemar paling banyak. Kandungan pencemar inilah yang dijadikan sebagai sumber mineral yang diserap oleh akar.

Pertumbuhan akar yang sangat pesat yang dialami oleh hampir seluruh tanaman di semua variasi perlakuan juga disebabkan oleh padatan yang terikat atau menempel pada akar tanaman. Padatan ini berasal dari padatan tersuspensi yang terkandung pada air limbah. Hal ini juga menjelaskan mengenai penambahan berat pada tanaman yang diberi media air bersih tidak mengalami kenaikan yang cukup banyak. Air bersih biasanya mengandung padatan tersuspensi yang sangat kecil, sehingga tidak akan ada pengikatan padatan oleh akar tanaman.

Dari hasil penelitian, tanaman yang diberi media air bersih justru cenderung melepaskan padatan yang menempel di serabut akarnya dan akan mengendap ke dasar bak. Hal ini mungkin disebabkan oleh terhalangnya kerja akar dalam menyerap mineral yang sangat sedikit pada air bersih dan terhalang oleh padatan yang menempel pada akar, sehingga, akar cenderung melepaskan padatan tersebut.



Gambar 5.21. Perbandingan Berat Kering Akar

5.3.4 Frekuensi Panen Eceng Gondok

Tanaman air merupakan suatu sistem alami yang memiliki titik jenuh dalam menyerap kandungan pencemar dalam air. Ketika tanaman air telah mengalami titik jenuhnya, tanaman air ini justru diduga dapat melepaskan senyawa-senyawa yang dapat mencemari air. Eceng gondok sebagai tanaman air yang digunakan dalam penelitian ini pun memiliki titik jenuh. Titik jenuh tersebut dapat dilihat dengan mengetahui beban maksimal yang dapat diolah oleh eceng gondok. Namun, pada penelitian ini, penentuan waktu panen dilihat dari persentase kerapatan tanaman yang semakin besar selama masa perlakuan.

Dari hasil penelitian, pada semua variasi perlakuan memberikan hasil bahwa pertumbuhan tanaman menyebabkan persentase kerapatan tanaman semakin besar. Kerapatan tanaman pada variasi 1 dan 2 bertambah dari 75-85% menjadi 90-95%, sedangkan untuk variasi 3, kerapatan tanaman pada hari ke-7 setelah masa perlakuan, kerapatan tanaman hampir mencapai 100%.

Dari pertumbuhan tanaman tersebut, dapat dilihat bahwa pertumbuhan tanaman sangat pesat selama rentang waktu yang diujikan. Keadaan tanaman yang terlalu rapat pada sistem dengan eceng gondok dapat menyebabkan kematian pada tanaman yang terdesak sehingga tidak mendapatkan sinar matahari dan tidak berkembang. Tanaman yang mati ini dapat menjadi sumber pencemar baru pada sistem ini, sehingga waktu panen diperlukan untuk menghindarinya. Dari hasil

yang telah didapatkan, waktu panen paling efektif dapat dilakukan sekali dalam seminggu. Waktu panen ini juga sesuai dengan kriteria desain untuk sistem pengolahan sekunder lanjutan yaitu mingguan sampai bulanan.

5.4 PERBANDINGAN HASIL PENELITIAN DENGAN BAKU MUTU AIR LIMBAH DAN BAKU MUTU AIR

Perbandingan dilakukan antara hasil penelitian dengan baku mutu air limbah dan air bersih untuk melihat efektivitas pengolahan menggunakan tanaman air. perbandingan yang pertama dilakukan pada hasil dengan baku mutu air limbah SK Gubernur Jawa Barat no 6 tahun 1999. Tabel 5.17 memperlihatkan perbandingan hasil penelitian dengan baku mutu pada golongan I dan II. Dari tabel dapat dilihat bahwa hasil penelitian sudah memenuhi baku mutu air limbah golongan I untuk parameter air yang telah diujikan.

Tabel 5.17. Perbandingan Hasil Penelitian dengan Baku Mutu Air Limbah

Parameter	Satuan	SK Gub Jabar no 6 th 1999		Hasil Penelitian Variasi 3
		Golongan I	Golongan II	
TDS	mg/L	2000	4000	447
TSS	mg/L	200	400	2
pH		6,0 - 9,0		7,33
BOD	mg/L	50	150	1,262
COD	mg/L	100	300	96
Konduktivitas	µs/cm	-	-	1010

Perbandingan kedua dilakukan antara hasil penelitian variasi 3 dengan baku mutu air PP n0 82 tahun 2001. Tabel 5.18 memperlihatkan perbandingan hasil penelitian dengan mutu air golongan I, II, III, dan IV. Dari tabel dapat dilihat bahwa hasil penelitian sudah memenuhi mutu air golongan I untuk semua parameter air yang telah diujikan selain COD. Hasil penelitian menunjukkan angka COD masih berada pada mutu air golongan IV.

Hasil perbandingan ini memberikan gambaran bahwa pengolahan *effluent* air limbah menggunakan tanaman eceng gondok memberikan hasil yang cukup baik. Hasil yang kurang baik hanya terdapat pada angka COD yang masih masuk ke dalam mutu air golongan IV. Namun, efektivitas penurunannya sudah sangat baik.

Tabel 5.18. Perbandingan Hasil Penelitian dengan Mutu Air

Parameter	Satuan	PP no 82 tahun 2001				Hasil Penelitian Variasi 3
		Golongan I	Golongan II	Golongan III	Golongan IV	
TDS	mg/L	1000	1000	1000	2000	447
TSS	mg/L	50	50	400	400	2
pH		6,0 - 9,0			5,0 - 9,0	7,33
BOD	mg/L	2	3	6	12	1,262
COD	mg/L	10	25	50	100	96
Konduktivitas	µs/cm	-	-	-	-	1010

5.5 ANALISIS EFEKTIFITAS PENGGUNAAN ECENG GONDOK SEBAGAI SISTEM PENGOLAHAN AIR LIMBAH TAMBAHAN

Tujuan ketiga dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas penggunaan eceng gondok sebagai sebuah sistem pengolahan limbah lanjutan. Efektivitas ini dilihat dari perubahan kualitas beberapa parameter air yang diujikan. Parameter tersebut adalah BOD, COD, TSS, TDS, konduktivitas, dan pH. Parameter-parameter tersebut dipilih berdasarkan parameter penting air limbah dan parameter kunci untuk kualitas air industri. Parameter penting air limbah yang dipilih adalah BOD dan COD yang umumnya memiliki konsentrasi yang sangat tinggi pada air limbah, sedangkan parameter kunci untuk air industri adalah pH dan konduktivitas. TDS dan TSS dipilih untuk diujikan pada penelitian ini karena sifat TDS berbanding lurus dengan konduktivitas dan TSS merupakan parameter yang paling mudah diamati karena TSS merupakan salah satu parameter yang mudah diidentifikasi karena konsentrasinya menyebabkan terjadinya kekeruhan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa eceng gondok mampu menurunkan beberapa parameter, diantaranya adalah BOD, COD, dan TSS, serta menormalkan pH air limbah. Namun, eceng gondok ini ternyata tidak mampu menurunkan konsentrasi konduktivitas dan konsentrasi TDS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter TDS dan konduktivitas tidak menunjukkan penurunan yang berarti melainkan mengalami keadaan yang tidak stabil atau berubah setiap harinya.

Pada dasarnya, fungsi tanaman air eceng gondok sebagai suatu sistem alami adalah sebagai media yang bekerja lebih banyak secara biologis dan fisik, seperti menutupi permukaan air untuk mencegah terbentuknya alga, menambah konsentrasi oksigen dari hasil fotosintesis, mengurangi kandungan padatan tersuspensi melalui jeratan akar dan penyerapan air dan mineral dalam air oleh akar sebagai sumber mineral untuk proses fotosintesis. Sifat tanaman eceng gondok tersebut hanya mampu menurunkan parameter air yang juga memiliki sifat biologis dan fisik yang kuat, seperti BOD, TSS, dan COD.

Akar tanaman merupakan satu-satunya bagian dari tanaman yang melakukan kontak dengan air, fungsi akar ini adalah sebagai bagian yang menyerap air dan nutrisi yang berasal dari kandungan pencemar yang terdapat di air untuk proses fotosintesis. Selain itu, akar tanaman juga mampu mengikat padatan tersuspensi, namun tidak mampu mengikat ion-ion yang ada di dalam air. TDS dan konduktivitas erat kaitannya dengan kandungan ion-ion yang terkandung dalam air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa eceng gondok tidak mampu mengikat kandungan ion-ion tersebut, sehingga kandungan TDS dan konduktivitas dalam air tidak mengalami penurunan.

Dari uraian tersebut, dapat dikatakan bahwa eceng gondok hanya efektif menurunkan konsentrasi parameter air yang dapat diturunkan melalui proses fisik dan biologis.

5.6 KELEMAHAN DAN POTENSI GANGGUAN

Sistem pengolahan air limbah dengan menggunakan tanaman air eceng gondok memiliki beberapa kelemahan yang tampak dari hasil penelitian yang dilakukan. Kelemahan-kelemahan tersebut antara lain :

1. **Berdasarkan hasil penelitian ini, eceng gondok tidak mampu mengikat kandungan ion yang terlarut di dalam air**, maka dari itu sistem dengan eceng gondok tidak mampu menurunkan konsentrasi TDS dan konduktivitas.
2. **Kemungkinan timbulnya hama yang dapat mengganggu kinerja sistem seperti belalang**. Belalang yang terdapat pada daerah sekitar sistem dapat menjadi hama yang memakan daun eceng gondok dan bertelur di daun eceng gondok. Telur-telur belalang ini berpotensi meningkatkan konsentrasi padatan

tersuspensi dalam air. Hama seperti belalang yang timbul pada sistem ini dapat diatasi dengan cara menutupi permukaan reaktor dengan jaring yang memiliki diameter sangat kecil untuk mencegah datangnya belalang. Untuk lebih memudahkan proses panen, sistem ini dapat dibuatkan sebuah rumah yang terbuat dari jaring untuk menutupnya dari hama tetapi sinar matahari tetap dapat masuk dengan baik.

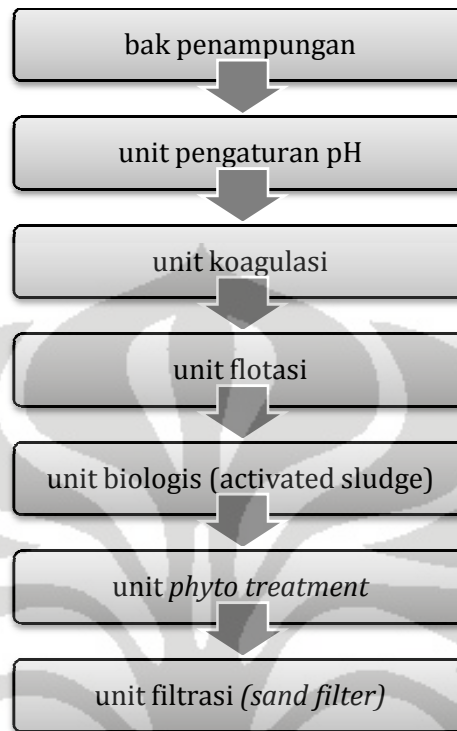
3. **Timbulnya banyak nyamuk di sekitar sistem.** Sistem dengan menggunakan tanaman eceng gondok dapat menjadi sarang paling nyaman bagi nyamuk. Nyamuk yang dapat hidup dan berkembang dengan baik pada genangan air akan bertambah dengan adanya daun yang menutupi denangan air dan akar tanaman eceng gondok yang merupakan tempat nyaman bagi nyamuk untuk bertelur dan menumbuhkan jentik nyamuk. Nyamuk merupakan masalah yang cukup penting dalam menerapkan sistem ini. Untuk menekan pertumbuhan nyamuk, pemberian ikan-ikan kecil seperti *Gambusia* atau ikan-ikan kecil lainnya yang hidup di permukaan air yang memakan larva nyamuk dapat menjadi solusi untuk mencegah pertumbuhan nyamuk.
4. **Kecepatan pertumbuhan eceng gondok yang sulit dikendalikan.** Pertumbuhan eceng gondok yang sangat cepat menyebabkan kerapatan tanaman meningkat dengan cepat. Pertumbuhan tanaman eceng gondok yang sangat cepat dapat diatasi dengan melakukan panen rutin sesuai dengan hasil penelitian agar tidak menyebabkan tanaman mati dan menjadi sumber pencemar baru.

5.7 USULAN PENERAPAN *PHYTO TREATMENT*

Sistem pengolahan air limbah dengan menggunakan tanaman eceng gondok mencakup pengolahan secara biologis dan fisik. Pengolahan ini biasanya digunakan sebagai pengolahan sekunder, pengolahan sekunder lanjutan, ataupun pengolahan tersier. Pada penelitian ini, jenis pengolahan yang digunakan termasuk ke dalam pengolahan sekunder lanjutan.

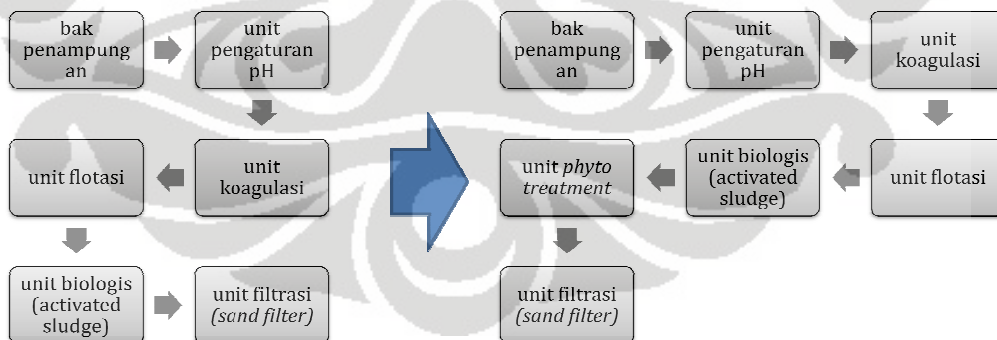
Dari hasil penelitian terhadap perubahan konsentrasi pencemar, pengolahan ini dapat diterapkan pada instalasi pengolahan air limbah setelah unit biologis atau unit pengolahan sekunder. Pada lokasi studi, pengolahan dengan

eceng gondok dapat diletakkan sesudah pengolahan biologis seperti gambar berikut :



Gambar 5.22. Diagram Alir Pengolahan Usulan

5.7.1 Perbandingan Usulan Pengolahan Lanjutan dengan Pengolahan Eksisting



Gambar 5.23. Perbandingan Unit Pengolahan Eksisting dengan Unit Pengolahan Usulan

Tabel 5.19. Perbandingan Konsentrasi Parameter Effluent IPAL Eksisting (setelah filtrasi) dengan Hasil Penelitian Variasi 3

Sumber	BOD	COD	TSS	TDS	Konduktivitas	pH
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µs/cm	
Eksisting	3,16	90,92	10	427	987	7,52
Penelitian	1,262	96	2	447	1010	7,33

Dari perbandingan di atas, dapat dilihat bahwa hasil penelitian memiliki konsentrasi yang lebih baik pada beberapa parameter dibandingkan dengan *effluent* IPAL eksisting. Hal ini menunjukkan bahwa, pengolahan menggunakan tanaman air dapat digunakan sebagai alternatif pengolahan lanjutan pada IPAL.

5.7.2 Perhitungan Usulan Unit Pengolahan Lanjutan

5.7.2.1 Usulan Unit dengan Waktu Retensi 7 hari dan Kedalaman air 0,7 m

Usulan ini dibuat berdasarkan perubahan yang dialami semua konsentrasi parameter pada variasi 3 yang menunjukkan perubahan yang sangat berarti pada waktu retensi yang berbeda-beda, sehingga waktu retensi 7 hari dapat digunakan untuk memaksimalkan efektivitas untuk semua parameter.

Tabel 5.20. Properties Perhitungan Usulan Pengolahan Lanjutan

Faktor	Satuan	Variasi 3
Volume	L	252
Waktu retensi	hari	7
Konsentrasi influent	mg/L	14,1
Konsentrasi effluent	mg/L	1,262
Beban organik /satuan luas	kg/ha	98,7
Beban organik	kg/(ha.hari)	14,1
Beban hidrolis	m ³ /(ha.hari)	-
Removal	%	91,05

BOD loading = $(14 \text{ mg/L}) \times (600 \text{ m}^3/\text{hari}) \times (10^3 \text{ L/m}^3) \times (1 \text{ kg}/10^6 \text{ mg}) = 8,4 \text{ kg/hari}$

Total luas area yang dibutuhkan = $\frac{8,4 \text{ kg/hari}}{14 \text{ kg}/(\text{ha.hari})} = 0,6 \text{ ha} = 6000 \text{ m}^2$

Kedalaman air = 0,7 m

Dibuat 7 bak secara seri waktu retensi masing-masing 1 hari dengan ukuran

= $51 \text{ m} \times 17 \text{ m} \times 0,7 \text{ m}$ dengan slope 3:1

Pengecekan waktu retensi :

$$V = [(L \times W) + (L - 2(3 \times 1))(W - 2(3 \times 1)) + (4(L - (3 \times 1))(W - (3 \times 1)))] \frac{1}{6}$$

$$V = [(51 \times 17) + (51 - 2(3 \times 1))(17 - 2(3 \times 1)) + (4(51 - (3 \times 1))(17 - (3 \times 1)))] \frac{1}{6}$$

$$V = 675 \text{ m}^3$$

$$\text{Waktu retensi tiap bak} = \frac{675 \text{ m}^3}{600 \text{ m}^3/\text{hari}} = 1,1 \text{ hari} = 1 \text{ hari}$$

5.7.2.2 Usulan Unit dengan Waktu Retensi 3 hari dan Kedalaman air 0,7 m

Usulan ini dibuat berdasarkan penurunan konsentrasi BOD pada variasi 3 yang telah menunjukkan penurunan yang sangat berarti pada waktu retensi 3 hari, sehingga dapat dilakukan pemilihan waktu retensi yang lebih cepat.

Tabel 5.21. Properties Perhitungan Usulan Pengolahan Lanjutan 2

Faktor	Satuan	Variasi 3
Volume	L	252
Waktu retensi	hari	3
Konsentrasi influent	mg/L	14,1
Konsentrasi effluent	mg/L	1,262
Beban organik /satuan luas	kg/ha	98,7
Beban organik	kg/(ha.hari)	32,9
Beban hidrolis	m ³ /(ha.hari)	-
Removal	%	91,05

$$\text{BOD loading} = (14 \text{ mg/L}) \times (600 \text{ m}^3/\text{hari}) \times (10^3 \text{ L/m}^3) \times (1 \text{ kg}/10^6 \text{ mg}) = 8,4 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Total luas area yang dibutuhkan} = \frac{8,4 \text{ kg/hari}}{32,9 \text{ kg}/(\text{ha.hari})} = 0,25 \text{ ha} = 2500 \text{ m}^2$$

Kedalaman air = 0,7 m

Dibuat 6 bak secara seri waktu retensi masing-masing 0,5 hari dengan ukuran
= $35,4 \text{ m} \times 11,8 \text{ m} \times 0,7 \text{ m}$ dengan slope 3:1

Pengecekan waktu retensi :

$$V = [(L \times W) + (L - 2(3 \times 1))(W - 2(3 \times 1)) + (4(L - (3 \times 1))(W - (3 \times 1)))] \frac{1}{6}$$

$$V = [(35,4 \times 11,8) + (35,4 - 2(3 \times 1))(11,8 - 2(3 \times 1)) + (4(35,4 - (3 \times 1))(11,8 - (3 \times 1)))] \frac{1}{6}$$

$$V = 288,12 \text{ m}^3$$

$$\text{Waktu retensi tiap bak} = \frac{288,12 \text{ m}^3}{600 \text{ m}^3/\text{hari}} = 0,48 \text{ hari} \approx 0,5 \text{ hari}$$

BAB 6

PENUTUP

6.1 KESIMPULAN

1. Berdasarkan penelitian ini, sistem pengolahan *effluent* air limbah dengan tanaman eceng gondok hanya mampu menurunkan konsentrasi BOD, COD, dan TSS serta menormalkan pH. Efektivitas proses *phyto treatment* dengan menggunakan tanaman eceng gondok berbeda-beda bergantung pada waktu retensi, kualitas air limbah, dan kedalaman air yang digunakan. Kedalaman air dan konsentrasi pencemar yang lebih tinggi menghasilkan efektivitas yang lebih baik.
2. Proses *phyto treatment* memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap pertumbuhan tanaman eceng gondok selama masa perlakuan. Pertumbuhan eceng gondok dipengaruhi oleh besarnya konsentrasi pencemar pada air dan waktu retensi. Pertumbuhan eceng gondok yang sangat pesat perlu ditangani dengan jadwal panen yang tepat agar efektifitas pengolahan tetap terjaga. Untuk pengolahan sekunder lanjutan, waktu panen yang tepat adalah seminggu sekali.
3. Proses *phyto treatment* dapat menjadi alternatif sistem pengolahan air limbah lanjutan yang cukup efektif untuk menekan penggunaan air tanah. Pengolahan air limbah menggunakan eceng gondok dapat dijadikan sebagai pengolahan lanjutan untuk mendapatkan kualitas air yang lebih baik lagi sehingga dapat dijadikan sebagai air baku air industri. Namun, dalam pelaksanaannya perlu disesuaikan dengan jenis industri yang berjalan dan memerlukan

6.2 SARAN

Rekomendasi akan diberikan dalam rangka untuk lebih meningkatkan penerapan temuan-temuan dalam penelitian ini, rekomendasi yang akan disarankan diharapkan dapat menghasilkan temuan yang lebih berguna lagi :

1. Penelitian lebih lanjut pada sistem pengolahan air limbah menggunakan tanaman eceng gondok dengan memperhitungkan debit aliran air limbah (*continous flow*) untuk mengetahui debit yang paling efektif.
2. Penelitian lebih lanjut perlu menggunakan kedalaman air, konsentrasi pencemar, waktu retensi, jenis tanaman dan ukuran reaktor yang lebih bervariasi dalam rangka untuk menentukan efektivitas penghilangan konsentrasi pencemar yang lebih jauh.
3. Penelitian lebih lanjut disarankan untuk mengetahui kemampuan eceng gondok dalam menyerap nutrisi dan kandungan logam ataupun bahan kimia yang terkandung dalam air limbah agar kinerja eceng gondok menjadi lebih jelas.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai jenis mikroorganismenya dan pengaruhnya terhadap pengolahan air limbah pada sistem menggunakan eceng gondok ini.
5. Sebelum memutuskan untuk menambahkan unit pengolahan lanjutan, perlu dilakukan evaluasi terlebih dahulu terhadap instalasi pengolahan air limbah eksisting.
6. Air limbah yang telah diolah dan telah memenuhi baku mutu, dapat dijadikan sebagai air baku air industri untuk diolah lebih lanjut menjadi air industri untuk proses produksi.

DAFTAR PUSTAKA

Buku dan Jurnal

- Brix, H. 1993. Wastewater Treatment in Constructed Wetlands: System Design, Removal Processes and Treatment Performance. In: Galbrand, C.C. *Naturalized Treatment Wetlands for Contaminant Removal: A Case Study of the Burnside Engineered Wetland for Treatment of Landfill Leachate*. Dalhousie.
- Craig S. Campbell, Michael H. Ogden. 1999. "Constructed wetlands in the sustainable landscape". John Wiley & Sons, Inc: Canada.
- Fardiaz. 1992. "Polusi Air dan Udara". Kanisius. Yogyakarta.
- Kamarudzaman, Ain Nihla Binti. (2006). *Leachate Treatment Using Subsurface Flow and Free Water Surface Constructed Wetland Systems*. Malaysia: Universiti Teknologi Malaysia.
- Media teknik no 4 tahun XXX Edisi Nopember 2008 ISSN 0216-3012 halaman 575
- Metcalf & Eddy, 2004. "Wastewater Engineering Treatment and Reuse". McGraw-Hill: USA.
- Mukti, Ahmad Muhtar. 2008. "Penggunaan Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) sebagai Pre-Treatment Pengolahan Air Minum pada Air Selokan Mataram". Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Nursalam. 2008. *Konsep dan Penerapan Metodologi Penelitian Ilmu Keperawatan: Pedoman Skripsi, Tesis, dan Instrumen Keperawatan (ed. 2)*. Jakarta : Penerbit Salemba Medika.
- Ramsy Agha Frías, Esther Jiménez Casanueva, Susana Deus Álvarez Protocol of PBL-Meeting: Phytoremediation May 21th 2008 Remediation.
- Reynolds, Richards. 1996. "Unit Operations and Processes in Environmental Engineering". PWS Publishing Company: Boston.

Sherwood C. Reed, E. Joe Middlebrooks, Ronald W. Crites. “*Natural systems for waste management and treatment*”. McGraw-Hill: USA.

Sugiharto, 1987. “*Dasar-dasar Pengelolaan Air Limbah*”. UI Press : Jakarta.

Supriyono, Poppy Arsil. 2007. “*Pengolahan Limbah Cair dari Industri Kecil Pengolahan Tahu secara Biofiltrasi Menggunakan Eceng Gondok (Eichornia Crassipes (Mart.) Solms)*”. Universitas Jenderal Soedirman. Banyumas.

Syed R. Qaim. 1985. “*Wastewater Treatment Plants: Planning, Design, and Operation*”. CBS College Publishing: New York.

Widowati, H. 2000. “*Peranan Tumbuhan air sebagai Bioemidiator Pencemaran Akibat kegiatan Industri Batik*”. Tesis. Fakultas Geografi UGM. Yogyakarta.

Yusuf, Guntur. 2008. *Bioremediasi Limbah Rumah Tangga dengan Sitem Simulasi Tanaman Air*. Jurnal Bumi Lestari, Vol. 8 No. 2, Agustus 2008. Hal. 136-144.

PUBLIKASI ELEKTRONIK

Dihin Septyanto, SE, ME. 2008. *Pengukuran Variabel dalam Penelitian*. http://pascasarjana.esaunggul.ac.id/index.php?option=com_content&view=article&id=127:pengukuran-variabel-dalam-penelitian&catid=57:artikel&Itemid=80

Direktorat Perkotaan dan Perdesaan Wilayah Barat. 2003. “*Fitoremediasi Upaya Mengolah Air Limbah dengan Media Tanaman.*” (<http://digilib-ampl.net/file/pdf/fitoremediasi.pdf>.)

Division of Technology, Industry and Economics , United Nations Environment Programme. *Phytoremediation: An Environmentally Sound Technology for Pollution Prevention, Control and Redmediation An Introductory Guide To Decision-Makers*. Newsletter and Technical

Publications. Freshwater Management Series No. 2
<http://www.unep.or.jp/ietc/publications/Freshwater/FMS2/1.asp>

Edpraso. 2009. *Pemanfaatan Air Tanah Harus Diatur*.
(http://www.djmbp.esdm.go.id/modules/news/index.php?_act=detail&sub=news_minerbapabum&news_id=3107)

US EPA. 1999. "*Phytoremediation Resource Guide*". <http://www.clu-in.org/download/remed/phytoresgude.pdf>

US EPA. 2000. *Introduction to Phytoremediation* (<http://www.clu-in.org/download/remed/introphyto.pdf>).

US EPA. 2001. "*A Citizen's Guide to Phytoremediation*". <http://www.clu-in.org/download/citizens/citphyto.pdf>

US EPA. 2006. *Monitoring and Assessing Water Quality : Conductivity*.
<http://www.epa.gov/volunteer/stream/vms59.html>

<http://acil.menlh.go.id/index.php/air/1386-fungsimanfaat-dan-jenis-tanaman-air>

<http://www.businessdictionary.com/definition/chemical-oxygen-demand-COD.html>

<http://science.jrank.org/pages/1388/Chemical-Oxygen-Demand.html>

http://www.chem-is-try.org/materi_kimia/kimia-industri/limbah-industri/pengolahan-limbah-industri/

<http://www.kywater.org/ww/ramp/rmcond.htm>

<http://limbahb3.com/index.php/limbah-cair-teknik-pengolahan-limbah-cair.html>