PERPUSTAKAAN FTSP UII
HADIAH/BELI
TGL. TERIMA : 4 juni 07
NO. JUDUL : 002461
NO. INV. : 9120002461001
NO. INDUK. :

TA/TL/2007/0182

TUGAS AKHIR

PENURUNAN KONSENTRASI BOD DAN JUMLAH E.COLI PADA *SEPTIC TANK* LIMBAH MATARAM CITRA SEMBADA *CATERING* DENGAN MENGGUNAKAN *WASTEWATER GARDEN*

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia untuk memenuhi sebagaian persyaratan memperoleh derajat Sarjana Teknik Lingkungan

MILIK PERPUSTAKAAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN UII YOGYAKARTA



Disusun oleh :

Nama : **Diah Lestarie**

No.Mahasiswa : **02 513 018**

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

YOGYAKARTA

2007

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
PERPUSTAKAAN
DAN PERENCANAAN
YOGYAKARTA

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

PENURUNAN KONSENTRASI BOD DAN JUMLAH E.COLI PADA *SEPTIC TANK* LIMBAH MATARAM CITRA SEMBADA *CATERING* DENGAN MENGGUNAKAN *WASTEWATER GARDEN*

Nama : Diah Lestarie

NIM : 02 513 018

Program Studi Teknik Lingkungan

Telah diperiksa & disetujui oleh:

Luqman Hakim, ST, Msi
Pembimbing I

Tanggal: 7 / 5 2007

Eko Siswoyo, ST
Pembimbing II

Tanggal: 7-5-2007

MOTTO

Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya

(Q.S Al-Baqarah : 286)

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain, dan hanya kepadaTuhanMu lah hendaknya kamu berharap.

(Q.S Al-Insyrah : 6-8)

Jadikanlah sabar dan sholat sebagai penolongmu

(Q.S Al-Baqarah : 45)

Menuntut ilmu adalah ibadah

(Al Hadist)

Kerjakanlah segala sesuatunya dengan sepenuh hati

Jangan melakukan sesuatu di luar batas kemampuanmu

(Penulis)

LEMBAR PERSEMBAHAN

Sepenuh hati kupersembahkan karya ini intuk :

Allah SWT, atas segala limpahan rahmat,rizki dan petunjuk-Nya

Kedua orang tuaku tercinta dan yang terbaik (Syahlul Pasha dan Sulatrie), yang telah menjadi panutanku selama ini dan selalu berdoa tiada henti untuk kebaikan putra putrinya

Kakak-kakaku tercinta, yang nun jauh disana

Sahabat-sahabatku, gank Koyners (Ariy, Lia, Linda, Dina, Vita dan Achonk), Maria dan Septy, yang telah berbagi saat-saat yang menyenangkan bersama

Seseorang yang menungguku disana

KATA PENGHANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Puji syukur ke hadirat Allah SWT, pencipta alam semesta berserta isinya dan tempat berlindung bagi umat-Nya. Shalawat serta salam saya limpahkan kepada junjungan Nabi Besar Muhammad SAW.

Alhamdulillahirobbil'alamin atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir dengan judul **"PENURUNAN KONSENTRASI BOD DAN JUMLAH E.COLI PADA *SEPTIC TANK* LIMBAH MATARAM CITRA SEMBADA *CATERING* DENGAN MENGGUNAKAN *WASTEWATER GARDEN*."**

Penyusunan tugas akhir ini dapat terselesaikan berkat dorongan, motivasi, bantuan, bimbingan dan arahan, serta adanya kerja sama dari berbagai pihak. Untuk itu perkenankanlah penulis mengucapkan banyak terima kasih dan penghargaan yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Bapak Luqman Hakim, ST, MSi, selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia dan selaku dosen pembimbing I, atas arahan dan bimbingannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Eko Siswoyo, ST, selaku koordinator Tugas Akhir dan selaku dosen pembimbing II, atas arahan dan bimbingannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Hudori, ST, selaku Dosen Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.

4. Bapak Ir. H. Kasam, MT, selaku Dosen Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Andik Yulianto, ST, selaku Dosen Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia.
6. Mas Agus, yang banyak membantu dalam berbagai administrasi Tugas Akhir ini.
7. Mas Iwan Ardiyanta, atas bimbingannya selama saya berada di Laboratorium Lingkungan. Mas, jangan bosan-bosen ketemu Diah dan Ariy ya, biarpun kita sering buat mas Iwan jengkel dan kadang-kadang enggak sabaran saat pengujian .
8. Pihak Mataram Citra Sembada *Catering*, Pak Noval, Bu Noval, Mbak Putri, dan lain-lain,atas bantuannya dalam pengerjaan Tugas Akhir ini. Maaf jika kami telah banyak merepotkan kalian.
9. My lovely parents, Bapak Syahlul Pasha dan Ibu Sulastrie, atas dorongan dan dukungannya, baik dalam material dan spiritual. Semoga Diah bisa menjadi anak yang berbakti dan membahagiakan Ayah dan Mama. Diah selalu berdoa agar Ayah cepat sembuh dan kembali seperti dahulu.
10. Kakak-kakakku tersayang (di Yogya, Kalimantan, Bogor dan Bandung), atas dukungannya baik dalam material dan spiritual. Keluarga di Bandung, Plaju, Prabumulih, yang udah lama gak ketemu.
11. Ariy_koy, patner TA Diah , yang kadang-kadang suka berantem klo diskusi sama dia, akhirnya kita berhasil juga mewujudkan cita-cita kedua orang tua dan melewati masa-masa frustasi, stress, menangis bombay dan tertawa

bersama. Makasih udah jadi teman baik diah selama 3 tahun lebih, dan menerima Diah apa adanya walaupun Diah sering nyebelin dan bikin Ariy marah (walaupun marahnya gak lama-lama amat hehe..). Maaf klo selama ini, Diah ada berbuat salah sama Ariy, baik yang disengaja maupun tidak disengaja. Dan yang paling penting lagi dan harus selalu diingat, pokoknya jangan lupa undang aku untuk "Hari Besar-mu" ya ceilee....

12. Temen-temen gank KoyneRs : Ariykoy_yang sering disebut precil sama anaka-anak dan hobi foto gaya, Dinakoy_saudara jauhnya ratu goyang patah-patah (saudara jauuuuh banget sampe-sampe gak diakui) dan nyi blorong-nya koyners, Lindakoy_ratu makan sejagad, klo jalan sama dia pasti ngajakin makan terus tapi herannya itu anak gak gemuk-gemuk, Liakoy_biang keributan di gank koyners, klo ada dia pasti paling heboh sendiri, Vitakoy (yang sudah duluan jadi ST)_si madame cerewet diantara koyners dan Achonk (yang sudah jadi ST)_suami bersama kita semua. Makasih udah jadi sohib-sohib setia Diah selama 4 tahun lebih kita kuliah, walaupun ada saat-saat bertengkar, tertawa bersama dan menangis bareng, tapi untungnya kita berusaha tetap solid dan mudah-mudahan tetap menjadi "The KoyneRs" forever. Pesan diah untuk kalian : cepat-cepat insyaf dan bertobat ya hehehe..gak kok cuma bercanda.
13. Ibu dan bapaknya Ariy, atas batuan dan perhatiannya saat Diah di Kalimantan. Inae_Ibunya Lia, atas doanya agar The Koyners lulus semuanya.
14. Teman-teman lingkunganku tercinta (Angkatan 2002): Keluarga Cemara (Maya, Ria, Dian, Uchie, Mirna_kuntilanak) dan Andy, teman senasib

seperjuangan dalam pengerjaan laporan, seminar hasil, tes toefl dan pendadaran...semua perjuangan kita akhirnya terbayar juga. Klo koyners dan keluarga cemara berkumpul pasti paling heboh sendiri dan malu-maluin. Tuti, yang telah banyak menasehati, membantu dan memberi arahan pada Diah, kapan nie kita nonton bareng Princess Hours 2 lagi hehehe...Nefa, yang juga banyak membantu memberi masukan dan dukungan. Rani_Hyper dan Rintis, temen paling gokil (bercanda kok), klo bareng mereka berdua pasti pengen ketawa melulu. Ryan, Koko, Anto dan Bobby, atas pinjaman embernya, sori klo kita balikinnya lama, tapi yang penting kan dibalikin hehehe...Miaw alias Sofyan, ST alias Anyonk, yang hobi banget nyanyi disemua tempat, termasuk kamar mandi, kampus, kantin dan lain-lain, atas pinjaman buku-bukunya (terutama Harry Potter) dan dukungannya. Yana_Om Ben, yang sudah jadi ST dan mirip banget sama pak Hudori. Arum, Enno dan Yudhi, ayo kalian pasti bisa...semangat '45....semoga sukses dalam pengerjaan laporannya.

15. Kole (Agung Saputro) dan Pak De (Agatha Wiratama), yang sudah ngebantuin bikin kerangka reaktor sampe kehujanan, mencari kerikil di kali (entah deh kali apa namanya), bersihin kerikil, survei, angkutin limbah, bikin rumah kaca, sori ya klo sudah banyak merepotkan kalian. Tapi enggak apa-apa lah, kan hitung-hitung dapat pahala banyak hehehe...orang baik pasti disayang sama Allah...amin.
16. Sigit dan Jo, yang sudah bantuin format ulang. Thank a lot guys.
17. Teman-teman KKN Unit 98, yang pada sombong banget sekarang. Kapan kita mengunjungi Dusun Tampungan tersayang lagi nie...

18. Ibu Munichy yang baik hati, sering banget ngobrol bareng Koyners dan ngasih kita makanan.
19. Maria dan Septy. Maria, teman Diah pertama kali saat sekolah di SMU 11 Jogjakarta, pertama kali ketemu anaknya sangar abis, tapi ternyata baik hati kok. Makasih sudah jadi sahabat Diah sejak awal sampe sekarang, sudah mau nganterin Diah kemana-mana, teman curhat dan teman bolos Diah waktu SMU. Septy, yang udah jadi SH duluan, sahabat Diah waktu SMU di Balikpapan hingga di Jogjakarta, kapan kita bisa ketemu lagi ya...
20. Ncur, ST dan Tika, ST, sudah ngebantuin cari kerikil sampai ke kali kuning, sekalian foto-foto hehehe....

PENURUNAN KONSENTRASI BOD DAN JUMLAH E.COLI PADA *SEPTIC TANK* LIMBAH MATARAM CITRA SEMBADA *CATERING* DENGAN MENGGUNAKAN *WASTEWATER GARDEN*

Diah Lestarie, Luqman Hakim, Eko Siswoyo
Jurusan Teknik Lingkungan

INTISARI

Limbah cair industri restaurant (catering) dapat menyebabkan masalah apabila pembuangannya mencemari lingkungan secara fisik, kimia dan biologis. Wastewater Garden (WWG) merupakan teknologi alternatif yang dapat membantu mengatasi permasalahan akan limbah industri restaurant (catering), sebelum dibuang ke badan air. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat efektifitas optimum wastewater garden dalam menurunkan konsentrasi BOD dan jumlah bakteri E.Coli yang terkandung dalam limbah cair septic tank industri restaurant (catering).

Penelitian ini, menggunakan reaktor uji (wastewater garden) dan reaktor kontrol sebagai pembanding. Reaktor wastewater garden terdiri dari tanaman, media gravel dan diberi limbah dengan konsentrasi 100 %. Sedangkan, reaktor kontrol terdiri dari media gravel dan diberi limbah dengan konsentrasi 100 %. Tanaman yang digunakan sebanyak 6 jenis yaitu melati air (Echinodorus paleaflius), futoi (Hippochaetes lymnenalis), cyperus papyrus (Cyperus papyrus), pickerel rush (Pontedoria cordata), cattail (Typha latifolia) dan pisang-pisangan (Heliconia rostrata), masing-masing berjumlah 5 buah. Ketinggian air limbah, d = 0,75 m dan media gravel yang digunakan berdiameter, D = 0,8-1 cm, dengan ketinggian, h = 0,80 m. Adapun dimensi reaktor: 1 mx0,50 mx1 m. Waktu detensi yang dipergunakan selama 12 hari.

Dalam penelitian ini, diperoleh bahwa reaktor wastewater garden dapat menurunkan BOD dengan efektifitas optimum pada hari ke-6 yaitu sebesar 74,99 % dan penurunan jumlah E.coli dengan efektifitas optimum pada hari ke-12 yaitu sebesar 93,88 %. Dengan penggunaan limbah cair industri restaurant (catering) ini, tanaman dapat hidup dengan subur .

Kata Kunci : Wastewater Garden (WWG), BOD, E.Coli, septic tank, limbah industri restaurant (catering).

PENURUNAN KONSENTRASI BOD DAN JUMLAH E.COLI PADA SEPTIC TANK LIMBAH MATARAM CITRA SEMBADA CATERING DENGAN MENGGUNAKAN WASTEWATER GARDEN

Diah Lestarie, Luqman Hakim, Eko Siswoyo
Departement of Environmental Engineering

ABSTRACT

Restaurant (catering) industrial wastewater has possibility to cause problems if the disposal has polluted environment in physical, chemical and biological. Wastewater Garden (WWG) is an alternative technology to overcome the problems of restaurant (catering) industrial, before disposal to the body water. This research has purpose to know the optimum effectiveness level of wastewater garden in degradation of BOD concentration and amount of E.coli bacteria which are contain in septic tank wastewater of restaurant (catering) industrial.

This research was used test reactor (wastewater garden) and control reactor as comparison. wastewater garden reactor consists of plants, gravel media and wastewater with 100 % concentration. Whereas, control reactor consists of gravel media and wastewater with 100 % concentration. The plants used 6 different types which are melati air (Echinodorus paleaflius), futoi (Hippochaetes lymnenalis), cyperus papyrus (Cyperus papyrus), pickerel rush (Pontedoria cordata), cattail (Typha latifolia) and pisang-pisangan (Heliconia rostrata), five in each type. The height of the wastewater, d = 0,75 m and diameter of gravel media, D = 0,8-1 cm, with the height, h = 0,80 m. Reactor demension: 1 mx0,5 mx1 m. Time detention was used for 12 day.

In this research, we have as conclusion that wastewater garden reactor is able to reduce BOD concentration with optimum effectiveness in day of 6 which is 74,99 % and degradation of E.coli amount optimum effectiveness in day of 12 which is 93,88 %. With the using of this restaurant (catering) industrial wastewater, plants was able to fertile growth..

Key Words : *Wastewater Garden (WWG), BOD, E.Coli, septic tank, restaurant (catering) industrial wastewater.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL..... i

HALAMAN PENGESAHAN..... ii

MOTTO..... iii

PERSEMBAHAN..... iv

KATA PENGHANTAR..... v

ABSTRAK..... vi

DAFTAR ISI..... vii

DAFTAR TABEL..... xii

DAFTAR GAMBAR..... xiii

DAFTAR LAMPIRAN..... xiv

BAB I PENDAHULUAN..... 1

1.1. Latar Belakang..... 1

1.2. Rumusan Masalah..... 3

1.3. Batasan Masalah..... 3

1.4. Tujuan Penelitian..... 4

1.5. Manfaat Penelitian..... 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... 5

2.1. Limbah Restaurant (catering)..... 5

2.2. Mataram Citra Sembada *Catering*..... 7

2.2.1. Limbah Mataram Citra Sembada *Catering*..... 7

2.2.2. Karateristik Limbah Cair..... 8

2.3. *Septic Tank*..... 12

2.4. *Wastewater Garden*..... 16

2.4.1. Faktor-faktor Desain *Wastewater Garden*..... 18

2.4.2. Mekanisme Pengolahan..... 23

2.4.3. Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Proses Pengolahan..... 27

2.4.4. Keunggulan *Wastewater Garden*..... 33

2.4.5. Kualitas Air dan Penggunaan Air Olahan..... 35

2.4.6. Segi Ekonomis *Wastewater Garden*..... 36

2.4.7. *Wastewater Garden* Sebagai Sebuah Pendorong Ekonomis..... 38

2.4.8. Jenis Tanaman yang Dapat Dipergunakan dalam *Wastewater garden*..... 39

2.5. BOD (*Biological Oxygen Demand*)..... 40

2.5.1. Prinsip Analisa BOD..... 43

2.5.2. Gangguan dalam Pengukuran BOD..... 46

2.6. *Escherichia coli*..... 48

2.6.1. Pemeriksaan E.coli..... 50

2.7. Tanaman-tanaman Air Hias dalam *Wastewater Garden* (WWG)..... 54

2.7.1. Melati air (*Echinodorus paleaflius)*..... 55

2.7.2. Cyperus papyrus(*Cyperus papyrus)*..... 56

2.7.3. Futoi (*Hippochaetes lymnenalis)*..... 58

2.7.4. Pisang-pisangan (*Heliconia rostrata*)..... 59

2.7.5. Pickerel rush (*Pontedoria cordata)*..... 61

2.7.6. Cattail (*Typha latifolia)*..... 62

2.8. Penelitian Yang Telah Dilakukan Sebelumnya..... 64

2.9. Hipotesis..... 65

BAB III METODELOGI PENELITIAN..... 66

3.1. Lokasi Penelitian..... 66

3.2. Objek Penelitian..... 66

3.3. Variable penelitian..... 66

3.4. Waktu penelitian..... 67

3.5. Diagram Alir Penelitian..... 67

3.6. Reaktor *Wastewater Garden*..... 69

3.6.1. Desain *Wastewater Garden*..... 69

3.6.2. Dimensi reaktor..... 69

3.6.3. Pembuatan Reaktor *Wastewater Garden*..... 71

3.7. Pelaksanaan Penelitian..... 72

3.7.1. Persiapan Penelitian..... 72

3.7.2. Pelaksanaan Penelitian..... 74

3.7.3. Proses Sampling..... 75

3.8. Analisa Kualitas Air Limbah..... 76

3.8.1. Analisa BOD..... 76

3.8.2. Analisa Eschericia coli..... 76

3.9. Analisa Data..... 76

3.10. Analisa Pertumbuhan Tanaman..... 78

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... 79

4.1. Analisa Kualitas Limbah Cair..... 80

4.1.1. Konsentrasi *Biological Oxygen Demand* (BOD)..... 80

4.1.2. Jumlah Escherichia coli..... 88

4.2. Analisa Pertumbuhan Tanaman dan Kondisi Air Limbah..... 95

4.2.1. Analisa Pertumbuhan Tanaman..... 96

4.2.1.1. Analisa kuantitatif (pengukuran)..... 96

4.2.1.2. Analisa kualitatif (visual)..... 96

4.2.1.2.1. Kondisi pertumbuhan daun tanaman 96

4.2.1.2.2. Kondisi pertumbuhan batang tanaman 98

4.2.2. Kondisi Air Limbah..... 100

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 102

5.1. Kesimpulan 102

5.2. Saran 103

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Komposisi air buangan domestik..... 12

Tabel 2.2. Kriteria desain *wetlands* tipe *Subsurface Flow*..... 18

Tabel 2.3. Fungsi Komponen-komponen Tanaman Dalam *Wetland* 28

Tabel 2.4. Jenis Tanaman yang Dapat Dipergunakan 40

Tabel 3.1. Perhitungan Dimensi Reaktor *Wastewater Garden* 70

Tabel 4.1. Tabel *Tests of Between-Subjects Effects* konsentrasi BOD 86

Tabel 4.2. Tabel *Tests of Between-Subjects Effects* jumlah E.coli 94

Tabel 4.3. Kondisi Air Limbah pada Reaktor Uji 100

Tabel 4.4. Kondisi Air Limbah pada Reaktor Kontrol 101

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. *Septic Tank* Mataram Citra Sembada Catering..... 7

Gambar 2.2. *Septic tank*..... 16

Gambar 2.3. *Wastewater Garden (WWG)*..... 17

Gambar 2.4. Pengolahan *Wastewater garden* dengan limbah *septic tank*..... 23

Gambar 2.5. Mekanisme penguraian bahan organik pada *constructed wetland* (Kadlec & Knight, 1995)..... 25

Gambar 2.6. Siklus Pertumbuhan Bakteri *heterotroph* dan *autotrophy*..... 31

Gambar 2.7. Kurva *Biological Oxygen Demand Test*..... 45

Gambar 2.8. Melati Air..... 56

Gambar 2.9. Cyperus papyrus..... 58

Gambar 2.10. Futoi..... 59

Gambar 2.11. Pisang-pisangan..... 61

Gambar 2.12. Pickerel rush..... 62

Gambar 2.13. Typha latifolia..... 64

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian..... 68

Gambar 3.2. Reaktor tampak samping dan tampak atas..... 70

Gambar 3.3. Outlet reaktor kontrol (sebelah kiri) dan reaktor uji (sebelah kanan)..... 75

Gambar 4.1. Konsentrasi *Biological Oxygen Demand* (BOD)..... 80

Gambar 4.2. Efisiensi *Biological Oxygen Demand* (BOD)..... 81

Gambar 4.3. Jumlah E.coli..... 89

Gambar 4.4. Efisiensi E.coli..... 89

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Pengukuran dan Efisiensi

Lampiran 2. Analisa Statistik UNIANOVA

Lampiran 3. Data Pengukuran Pertumbuhan Tanaman

Lampiran 4. Dokumentasi

Lampiran 5. KEPMENLH No.112 Tahun 2003

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi dan industri merupakan tuntutan zaman yang harus dipenuhi, mengingat makin meningkatnya keinginan manusia untuk mendapatkan kehidupan yang lebih layak. Hal itu pula, yang mendorong kesibukan masyarakat Indonesia pada saat ini. Kesibukan akan mendapatkan kehidupan yang lebih layak, mengubah kebiasaan masyarakat Indonesia untuk lebih memilih segala sesuatu yang serba praktis, salah satunya kebutuhan akan makanan yang praktis yaitu makanan yang telah diolah dan siap saji (santap). Hal tersebut mendasari berkembangnya industri restaurant (catering).

Industri restauran (*catering*) sebagai penghasil makanan merupakan konsekuensi yang logis dari proses industrialisasi. Dengan bermunculannya industri restauran (*catering*), perlu diperhatikan pula efek sampingnya yang berupa limbah. Dengan penggunaan air yang semakin meningkat secara kuantitas maupun kualitas diikuti secara langsung peningkatan limbah cair. Limbah yang dihasilkan dapat menjadi masalah apabila pembuangannya mencemari lingkungan secara fisik, kimia dan biologis. Limbah dari industri restauran (*catering*) merupakan limbah domestik yang hampir semua bahan organik (Jenie dan Rahayu, 2003). Limbah cair dengan kandungan bahan organik yang sangat tinggi bila dibuang ke alam bebas dapat menjadi nutisi bagi bakteri. Bakteri tersebut akan berkembang biak dengan cepat dan mereduksi

oksigen terlarut yang terdapat dalam air, yang dapat mengurangi oksigen. Akibatnya, kehidupan di perairan akan terganggu dan apabila kekurangan oksigen terlarut sangat tinggi dapat menyebabkan kematian.

Permasalahan yang ada adalah Mataram Citra Sembada *Catering* hanya memiliki sebuah Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang sederhana yaitu bak *septic tank* untuk mengolah air limbahnya. *Septic tank* yang digunakan berbentuk bulat, digunakan sebagai bak penampung dan pengendap. *Septic tank* tersebut masih belum mampu mengatasi permasalah air buangan yang dihasilkan oleh pihak *catering*. *Effluent* dari *septic tank* tersebut dibuang ke badan air dengan kondisi masih berbau dan berwarna keruh. Selain itu, masalah tingginya biaya operasional dan pemeliharaan, seringkali menjadi kendala bagi pihak pengelola industri *catering* untuk membuat IPAL yang menghasilkan buangan yang sesuai dengan standar baku mutu yang ada. Dengan adanya permasalahan di atas, maka perlu dilakukan upaya untuk mencari jalan keluar yang dapat mengatasi permasalahan air limbah industri *catering*. Salah satu upaya yang akan diteliti yaitu dengan membuat instalasi pengolahan air limbah yang mudah, murah dan mempunyai efisiensi tinggi. *Wastewater Garden* (WWG) merupakan salah satu alternatif yang akan dicoba untuk mengatasi permasalahan air limbah industri *catering* ini. Selain digunakan sebagai instalasi pengolahan limbah, *wastewater garden* dapat juga menjadi sebuah taman yang ditanami oleh tanaman-tanaman hias. Hal tersebut menambah keindahan dan keasrian pada lingkungan industri *catering*.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut,yaitu :

1. Seberapa besar efisiensi optimum penurunan konsentrasi BOD dan jumlah E.coli dalam limbah *septic tank* industri *catering* dengan menggunakan *wastewater garden*?
2. Sejauh mana peranan waktu detensi dalam penurunan konsentrasi BOD dan E.coli dalam *wastewater garden*?
3. Fenomena apa yang terjadi pada *wastewater garden* dalam menurunkan konsentrasi BOD dan jumlah E.coli?

1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Pengolahan limbah domestik yaitu limbah cair *septic tank* Mataram Citra Sembada Catering, dengan mengunakan *wastewater garden.*
2. Tanaman yang digunakan dalam *wastewater garden* adalah tanaman-tanaman air hias seperti melati air (*Echinodorus paleaflius*), Cyperus papyrus (*Cyperus papyrus*), Futoi *(Hippochaetes lymnenalis),* Pisang-pisangan (*Holiconia rostrata*), cattail (*Typha latifolia*) dan Pickerel rush (*Pontedoria cordata*).
3. Sumber limbah yang akan diuji berasal dari *septic tank* Mataram Citra Sembada *Catering* di kota Yogyakarta.
4. Parameter yang diteliti meliputi BOD dan E.coli.

5. Penelitian dilakukan dengan skala laboratorium.
6. Waktu penelitian dilakukan pada hari ke-0, 3, 6, 9 dan 12.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Untuk mengetahui efisiensi optimum kemampuan *wastewater garden* dalam menurunkan konsentrasi BOD dan jumlah E.coli yang terkandung dalam limbah *septic tank* industri *catering*.
2. Mengetahui peranan waktu detensi dalam penurunan konsentrasi BOD dan jumlah E.coli dalam *wastewater garden*.
3. Mengetahui fenomena yang terjadi pada *wastewater garden* dalam menurunkan konsentrasi BOD dan jumlah E.coli.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan :

1. Dapat meminimalisasi konsentrasi BOD dan jumlah E.coli yang terkandung dalam limbah *septic tank* industri catering dengan menggunakan *wastewater garden* sebelum dibuang ke badan air.
2. Mengetahui efisiensi penurunan optimum pada konsentrasi BOD dan jumlah E.coli.
3. Diperolehnya sistem pengolahan air limbah yang sederhana, mudah, serta mempunyai efisiensi yang tinggi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Limbah Restauran (*Catering*)

Industri restauran (*catering*) merupakan salah satu industri yang bergerak di bidang penyediaan makanan dan minuman, baik yang berskala besar maupun kecil. Keberadaan industri restauran (*catering*) ini semakin hari semakin bertambah seiring dengan terus meningkatnya permintaan. Hal ini berarti penyerapan tenaga kerja dari sektor tersebut cukup menguntungkan di tengah lesunya lapangan kerja. Namun dari sisi lain, permasalahan lingkungan yang ditimbulkan akibat sisa proses produksi dari industri tersebut juga meningkat. Permasalahan pencemaran badan air dan bau di sekitar lingkungan jasa boga perlu mendapat perhatian, agar nantinya tidak menjadi permasalahan lingkungan yang lebih serius. Sesuai dengan sumber asalnya, maka air buangan industri catering mempunyai komposisi yang sangat bervariasi dari setiap tempat dan waktu. Komposisinya sebagian besar terdiri dari bahan organik berupa lemak, karbohidrat dan protein. Disamping itu di dalam air buangan komersial terkandung garam-garam organik dan kuman-kuman.

Pada umumnya, limbah industri restauran (*catering*) tidak membahayakan kesehatan masyarakat, karena tidak terlibat langsung dalam perpindahan penyakit. Akan tetapi kandungan bahan organiknya yang tinggi dapat bertindak sebagai sumber makanan untuk pertumbuhan mikroba. Dengan pasokan makanan yang berlimpah, mikroorganisme akan berkembang biak dengan cepat

dan mereduksi oksigen terlarut yang terdapat dalam air. Secara normal, air mengandung kira-kira 8 ppm oksigen terlarut. Standar minimum oksigen terlarut untuk kehidupan ikan adalah 5 ppm dan di bawah standar ini akan menyebabkan kematian ikan dan biota perairannya (Jenie dan Rahayu, 1993).

Sugiharto (1987) membuat perincian lagi prosentasenya yaitu 99,9% air, dan 0,1% bahan padat. Bahan padat tersebut dibagi dua bagian yaitu bahan padat organik yang terdiri dari :

1) Protein 65 %.
2) Karbohidrat 25 %.
3) Lemak 10 %.

Bahan yang lain adalah bahan padat anorganik terdiri dari butiran garam dan metal.

Air buangan rumah makan pada umumnya bersifat organis, yang memungkinkan timbulnya bakteri yang bersifat patogenis, sedangkan air buangan yang berasal dari sisa-sisa air proses pabrik tercampur atau tidak tercampur untuk keperluan dapur rumah tangga pabrik disebut air buangan industri atau pabrik (Tjokrokusumo,1995). Jadi buangan dapur merupakan campuran yang komplek dari mineral dan bahan-bahan organik dari berbagai bentuk termasuk partikel benda padat yang kecil. Menurut Chatib (1991), tujuan dari pengolahan secara biologi dapat mengurangi kandungan organik pada limbah domestik, untuk buangan pertanian, tujuannya adalah untuk mrnghilangkan nutrien, terutama nitrogen dan fospor yang dapat mendorong pertumbuhan tanaman air. Dan untuk buangan industri, tujuannya untuk

menghilangkan dan mengurangi konsentrasi bahan-bahan organik dan anorganik.

2.2. Mataram Citra Sembada Catering

2.2.1. Limbah Mataram Citra Sembada Catering

Sumber limbah Mataram Citra Sembada Catering, sebagian besar berasal dari aktivitas dapur, yaitu air dari hasil pencucian bahan makanan, pencucian peralatan makanan dan sisa pengolahan makanan, seperti tulang, lemak, nasi, sayuran, darah, serta air hasil pencucian pengolahan makanan. Selain dari aktivitas dapur, limbah yang masuk ke *septic tank* juga berasal dari kamar mandi. Debit air buangan 6000 liter/hari. *Septic tank* yang dipergunakan berbentuk bulat dan berfungsi sebagai bak pengendap dan penampung. *Effluent* dari *septic tank* tersebut di buang ke sungai.



Gambar 2.1. *Septic Tank* Mataram Citra Sembada *Catering*

2.2.2. Karateristik Limbah Cair

Secara umum karakteristik limbah yang dihasilkan dari industri restauran (*catering*) ini tergolong dalam kelompok *grey water,* dengan parameter utama adalah bahan organik. Bahan-bahan yang terkandung dalam air limbah catering tersebut memberikan corak kualitas air limbah domestik dalam sifat fisik, kimia maupun biologi. Sehingga, di dalam limbah *catering* terdapat karakteristik-karakteristik sebagai berikut, yaitu :

a. Karateristik fisik

Yang termasuk dalam karateristik fisik ini adalah :

1) Warna

Secara kualitatif warna air buangan yang baru berwarna keabu-abuan, tetapi apabila senyawa organik dioksidasi oleh bakteri maka warna akan berubah menjadi hitam, hal ini disebabkan karena semakin meningkatnya aktifitas anaerob yang menyebabkan pembusukan dan menimbulkan bau.

2) Suhu

Suhu air buangan sangat tergantung dari aktivitas sumber air buangan sebelumnya, selain itu suhu air buangan bervariasi dari musim ke musim tergantung letak geografisnya.

3) Bau

Bau pada dasarnya ditimbulkan oleh proses dekomposisi secara anaerob dan pada saat proses trsebut berlangsung maka dilepaskan senyawa-senyawa yang menyebabkan bau, seperti H_2S dan NH_3.

4) Kekeruhan

Kekeruhan terjadi karena larutnya zat-zat dalam air buangan. Adapun kekeruhan diukur berdasarkan adanya zat padat terlarut dan zat padat tersuspensi (*suspended solid*).

b. Karateristik kimia

Sifat kimia terbagi dalam 3 kelompok, yaitu bahan organik, bahan anorganik dan gas. Pada industri restaurant (*catering*) ini, karateristik kimia yang terdapat adalah :

1) Bahan organik

Yang berisikan protein ± 40-60 % , karbohidrat ± 25-50 % serta 10 % lainnya berupa minyak atau lemak. Protein adalah kandungan utama dari makhluk hidup, termasuk juga didalamnya tanaman dan binatang bersel satu. Adapun jumlah kandungan ini sangat bervariasi mulai dari yang rendah, seperti tanaman tomat, sampai pada yang persentasenya tinggi , seperti yang terdapat pada jaringan lemak dan daging . Seluruh protein mengandung karbon, yang biasanya adalah kandungan bahan organik seperti halnya dengan dengan hidrogen dan iksigen. Protein merupakan penyebab utama terjadinya bau karena adanya proses pembusukan dan penguraiannya.

Karbohidrat tersebar luas di alam, termasuk diantaranya gula, kanji, selulosa dan kayu, kesemuanya itu dapat ditemui didalam air limbah. Karbohidrat berisikan karbon, hidrogen dan oksigen.

Lemak dan minyak merupakan komponen utama bahan makanan yang juga banyak didapatkan di dalam air limbah industri pangan. Lemak dan minyak membentuk ester dan alkohol atau gliserol dengan asam gemuk. Gliserid dari asam gemuk ini berupa cairan pada keadaan biasa dikenal sebagai minyak dan apabila dalam bentuk padat dan kental dikenal sebagai lemak. Lemak yang biasanya juga dijumpai pada daging pada daerah sel biji-bijian, pada perbenihan serta kacang-kacangan dan buah-buahan. Lemak tergolong pada benda organik yang tetap dan tidak mudah diuraikan oleh bakteri. Apabila lemak tidak dihilangkan sebelum dibuang ke saluran air limbah, maka dapat mempengaruhi kehidupan yang ada dipermukaan air dan menimbulkan lapisan tipis dipermukaan sehingga menimbulkan selaput.

Semakin lama, jumlah dan jenis bahan organik semakin banyak, maka hal ini akan mempersulit dalam pengelolaan air buangan sebab beberapa zat tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme.

2) Bahan anorganik

Yang berisikan bahan padat anorganik terdiri dari butiran garam-garam organik. Bahan organik dari air limbah juga sangat penting

untuk peningkatan dan pengawasan kualitas air. Jumlah kandungan bahan organik meningkat sejalan dan dipengaruhi oleh formasi geologis dari asal air atau air limbah berasal.

c. Karateristik biologi

Meliputi mikroorganisme (bakteri) yang terdapat dalam air buangan. Pemeriksaan biologis didalam air dan air limbah untuk memisahkan apakah ada bakteri-bakteri patogen berada didalam air limbah. Keterangan biologis ini diperlukan untuk mengukur kualitas air buangan terutama bagi air yang digunakan sebagai air minum, selain itu untuk memperkirakan tingkat kekotoran air buangan tersebut sebelum dibuang ke badan air penerima (Sugiharto, 1987).

Secara biologis air buangan terdapat mikroorganisme yang dikelompokkan menjadi tiga (3), yaitu :

1) Prostista.
2) Tumbuhan.
3) Hewan.

Untuk lebih lengkapnya, komposisi limbah domestik dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.1 komposisi air buangan domestik

Kontaminan	Satuan	Konsentrasi Rendah	Konsentrasi Medium	Konsentrasi Tinggi
Total Solid (TS)	mg/L	390	720	1230
Total Dissolved Solid (TDS)	mg/L	270	500	860
Fixed	mg/L	160	300	520
Volatil	mg/L	110	200	340
Total Suspended Solid (TSS)	mg/L	120	210	400
Fixed	mg/L	25	50	85
Volatil	mg/L	95	160	315
Settleable Solids	mL/L	5	10	20
BOD_5, 20°C	mg/L	110	190	350
Total Organik Karbon (TOC)	mg/L	80	140	260
COD	mg/L	250	430	800
Nitrogen (Total sbg N)	mg/L	20	40	70
Organik	mg/L	8	15	25
Amoniak bebas	mg/L	12	25	45
Nitrit	mg/L	0	0	0
Nitrat	mg/L	0	0	0
Phospor (Total Sbg Phospor)	mg/L	4	7	12
Organik	mg/L	1	2	4
InOrganik	mg/L	3	5	10
Klorida	mg/L	30	50	90
Sulfat	mg/L	20	30	50
Minyak dan Lemak	mg/L	50	90	100
VOCs	mg/L	<100	100-400	>400
Total Coliform	No./100mL	10^6-10^8	10^7-10^9	10^7-10^{10}
Fecal Coliform	No./100mL	10^3-10^5	10^4-10^6	10^5-10^8

Sumber: Metcalf & Eddy, 2003

2.3. *Septic tank*

Septic tank merupakan teknik pengolahan limbah yang amat lazim digunakan di dunia untuk pengolahan limbah setempat dalam skala kecil. Pada dasarnya proses yang terjadi pada *septic tank* adalah sedimentasi (pengendapan) dan dilanjutkan dengan stabilisasi dari bahan-bahan yang diendapkan tersebut lewat proses anaerob. Proses anaerob pada dasarnya merupakan proses yang terjadi karena aktifitas mikroba dilakukan pada saat tidak terdapat oksigen

bebas, analognya, proses ini meniru mekanisme proses yang terjadi pada perut binatang yaitu proses pencernaan secara anaerobik. Keuntungan dari *septic tank* adalah murah, konstruksi sederhana dan dengan operasi yang baik umur teknis nya amat panjang. Tetapi, kelemahan dari *septic tank* adalah efisiensi pengolahan yang relatif rendah (15% - 40 % BOD) dan *effluent* yang dihasilkan masih berbau karena mengandung bahan yang belum terdekomposisi sempurna.

Septic tank difungsikan sebagai menampung semua air bekas dari rumah tangga, bukan saja dari W.C, melainkan seluruh air bekas rumah tangga seperti detergen. Hal itu tidak akan mengganggu bekerjanya bakteri di *septic tank* baik dalam hal pengendapan maupun dalam proses penguraian zat organik, asalkan bila ruang air (cairan) dipelihara sesuai dengan kapasitasnya. Fungsi utama *Septic tank* adalah untuk mengubah karakteristik air kotor baku menjadi buangan yang mudah diserap oleh tanah, tanpa menimbulkan pemampatan pada tanah itu sendiri.

Secara terinci, *septic tank* mempunyai fungsi sebagai berikut :

- Untuk memisahkan benda padat

  Padatan yang *settleable* di dalam air kotor baku dipisahkan dengan cara pengendapan.

- Untuk mengolah padatan dan cairan secara biologis

  Padatan dan cairan di dalam air kotor akan didekomposisi oleh bakteri anaerob dan proses alamiah lainnya.

❖ Sebagai penampung lumpur dan busa

Lumpur (*sludge*) merupakan akumulasi padatan yang mengendap pada dasar tangki, dan busa adalah lapisan padatan yang mengambang. Keduanya di *digest* oleh aksi bakteri. Hasil dari proses dekomposisi tersebut akan diperoleh suatu cairan, gas dan lumpur matang yang stabil. Di mana cairan terolah akan ke luar sebagai *effluent*; gas yang terbentuk dilepas melalui pipa ventilasi dan lumpur yang matang ditampung di dasar tangki yang nantinya akan dikeluarkan secara berkala.

Konstruksi *septic tank* dengan dua kompartemen *(Double compartments)*, hubungan antara ruang pengendapan lumpur I dan II adalah merupakan lubang persegi panjang dibawah dinding sekat pemisah antara kedua ruang pengendapan lumpur, dengan tinggi lubang antara 0,10 sampai 0,15 meter dengan panjang lubang sama dengan lebar-dalam *septic tank.*

Konstruksi *septic tank* dengan dua kompartemen *(Double compartments).* Pada ruang pertama (*treatment chember 1*) berkisar 70 % (2/3) dari total volume desain, karena sebagian besar dari lumpur atau *sludge* dan scum akan terjadi di ruang ini, dan ruang kedua 30 % (1/3) total volume untuk menagkap partikel padatan yang lolos dari ruang pertama.

Pada ruang pertama ini limbah cair yang masuk akan menjadi 3 bagian yaitu :

- Lumpur atau *sludge* yang mengendap pada bagian bawah dan untuk seterusnya lumpur ini akan teratur lewat proses anaerobik.
- Supernatan ialah cairan yang telah terkurang unsur padatan nya dan untuk seterusnya akan mengalir menuju ke chamber 2.

- *Scum* (buih atau langit-langit) yangmerupakan bahan yang lebih ringan dari air seperti minyak, lemak, dan bahan ikutan lain. Scum ini bertambah lama bertambah tebal. Karena itu perlu dihilangkan secara periodik (biasanya sekali dalam 1 tahun). *Scum* ini sebenarnya tidak mengganggu reaksi yang terjadi selama proses pengolahan, tetapi bila terlampau tebal akan memakan tempat hingga kapasitas pengolahan akan berkurang.

Sedangkan pada ruang kedua yang terjadi adalah :

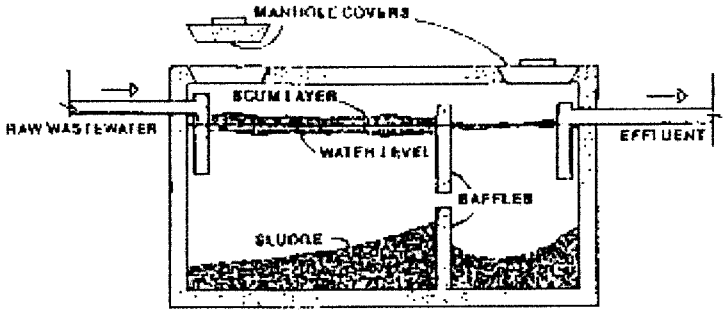
- Endapan lumpur atau *sludge*, khususnya partikel yang tidak terendapkan pada ruangan pertama.
- Supernatan yang seterusnya menjadi *effluent* untuk dibuang ke alam atau diresapkan kedalam tanah.

Parameter yang harus dipertimbangkan untuk menentukan ukuran *septic tank* antara lain adalah :

a. Debit rata-rata air bekas yang dibuang dalam sehari.
b. *Detention* atau *retention period*, dari 1-3 hari, diambil 1 hari (24 jam).
c. Dimensi ruang lumpur cukup untuk waktu pengurasan 3 tahun.

Dengan syarat-syarat sebagai berikut :

a. Tidak mencemari sumber air bersih atau tidak bocor.
b. Tidak menjadi sarang binatang pembawa penyakit.
c. Tidak mendatangkan gangguan terhadap lingkungan sekitar baik itu bau ataupun kotor.



Gambar 2.2. ***Septic tank***

2.4. *Wastewater Garden* (WWG)

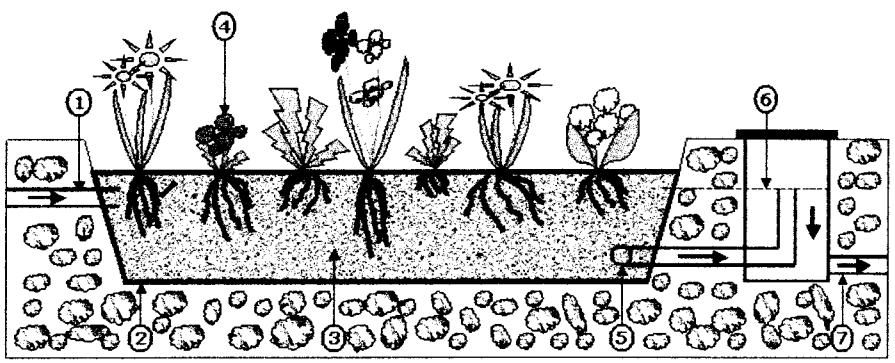
Wastewater garden adalah sesuatu yang baru, ekologikal dan sebuah solusi dengan biaya yang rendah untuk pengolahan limbah cair. *Wastewater garden* terdiri dalam sebuah penciptaan *wetland* yang artifisial dan diatasnya tumbuh berbagai jenis tanaman atau taman. Sumber air dan nutrisi untuk taman ini berasal dari limbah cair *septic tank* (Stoicescu, 2004).

Mekanisme perlakuan yang terjadi di dalam *wastewater garden* adalah mengendapkan partikel tersuspensi, proses filtrasi dan presipitasi kimiawi melalui kontak antara air buangan dengan substrat (tanah, pasir, kerikil pendukung tanaman). Proses yang terjadi adalah proses penguraian dan transformasi polutan oleh mikroorganisme dan tanaman, penyerapan dan proses transformasi nutrien oleh tumbuhan dan mikroorganisme, pemakanan dan kematian secara alami dari bakteri patogen. *Wastewater garden* untuk mengolah air buangan domestik relatif merupakan teknologi baru. Proses fisika, biologi dan kimia yang terjadi didalamnya sangat sulit untuk dipahami, hasil

perlakuan yang tidak konsisten sehingga memerlukan penelitian yang lebih lanjut untuk mendapatkan hasil dan fungsi yang optimal.

Penggunaan *wastewater garden* untuk mengolah air buangan dari limbah *catering* terjadi proses penyaringan/pembersihan secara fisik, kimia dan biologis *(Subsurface flow wetland ecosystem)*. Pada *subsurface flow* ini terdiri dari kolam dengan substrat atau media yang digunakan merupakan media berpori, antara lain kerikil dan pasir kasar. Proses yang terjadi pada sistem *subsurface flow* ini berupa filtrasi, adsorpsi yang dilakukan oleh media dan bahan organik akibat adanya aktivitas dari akar tanaman.

Pengolahan limbah dengan *wetlands* memanfaatkan aktivitas mikroorganisme dalam media dan tanaman dalam area tersebut. Sistem ini terjadi aktivitas pengolahan seperti sedimentasi, filtrasi, *gas transfer*, *adsorpsi*, pengolahan kimiawi dan pengolahan biologis karena aktivitas mikroorganisme dalam tanah dan aktivitas tanaman untuk proses *photosintesis*, *photooksida* dan *plant uptake* (Metcalf & Eddy, 1993 dalam Siswoyo, 2002).



1. Inlet pipe; 2. Sealing; 3. Gravel; 4. Plants; 5. Collecting pipe; 6. Control box 7. Outlet pipe

Gambar 2.3. *Wastewater Garden (WWG)*

Prinsip parameter desain untuk *wetlands* sistem termasuk hydraulic-detention time, kedalaman basin, geometri basin (panjang dan lebar), BOD_5 loading rate, hydraulic-loading rate.

Tabel 2.2 Kriteria desain *wetlands* tipe *Subsurface Flow*

Parameter Desain	Unit	Tipe sistem
		Subsurface Flow (SSF)
Hydraulic-detention time	D	4-15
kedalaman basin	ft	1.0 - 2.5
BOD_5 *loading rate*	lb/acre-d	< 60
Hydraulic-loading rate	Mgal/acre-d	0.015 – 0.050
Spesifik area	acre/(Mgal/d)	67 – 20

Sumber : Metcalf&Eddy, 1993

2.4.1. Faktor-faktor Desain *Wastewater Garden*

1. Iklim dan *regional applicability*

   Sejak sistem WWG mengandalkan pada tanaman-tanaman hijau dan mikroba, mereka memperlihatkan pertumbuhan yang lebih cepat dalam kondisi hangat, cerah. Pendekatan tersebut (WWG) adalah untuk iklim yang memiliki tingkatan dari tropikal hingga mediterania — tipe dari iklim. Dalam kondisi ini, dengan temperatur tinggi dan peningkatan sinar matahari, keefektifan sistem adalah tinggi — sepanjang tahun. Penerapan untuk daerah dingin sebagai contohnya, dapat bagaimanapun juga sangat efektif. Bagaimanapun dalam iklim dingin, ukuran per-*resident* harus lebih besar untuk mengerjakan pengolahan serupa. WWG

tidak hanya khusus direkomendasikan untuk digunakan dalam sistem *on-site*, dekat dengan fasilitas yang mereka perbaiki, tetapi juga menunjukkan reaksi *siveness* mereka pada daerah dengan air tanah yang dekat permukaan, untuk daerah bebatuan atau tanah lempung yang kedap (hal itu seringkali menghalangi standar *leachfield* sejak pengoperasian).

2. Pengolahan *greywater*

Greywater berkenaan dengan air limbah,selain daripada itu berasal dari toilet (*blackwater*), termasuk mesin-mesin cuci (laundry), showers, bak cuci piring dan air dari dapur. Semua itu dapat dipisah dari *blackwater* melalui sebuah tank sedimentasi daripada *septic tank* sebelum mengalir ke parit irigasi di permukaan, jika peraturan lokal mengijinkannya dan pemisahan tersebut cukup mudah menjadi hal yang ekonomis. Keuntungan dari pemisahan *graywater* adalah lebih banyak saluran irigasi dapat terselesaikan dengan air limbah dan keseluruhan biaya proyek akan lebih rendah, selama WWG akan mengolah jumlah air yang lebih kecil. Dalam kasus ini, WWG hanya mengolah *blackwater*, atau keduanya dari *blackwater* dan air limbah dari dapur, yang mana mengandung partikel-partikel makanan, lemak dan minyak. Bagaimanapun juga, kita seringkali berada dalam situasi dimana pemisahan antara *blackwater* dan *graywater* terlalu sulit dan mahal, hanya sebagai sebuah "*retrofit*" terhadap perpipaan yang ada. Hal yang

paling baik adalah membiarkan WWG mengolah kedua tipe air tersebut, selama WWG dibuat dapat mengatasi keduanya.

3. Pengolahan air hujan (*strom water*)

Pada letak pemukimam yang membanjir selama badai, *wastewater garden* digunakan untuk membersihkan air dan untuk memperlambat perpindahan air, yang mana menciptakan penahan banjir. Air badai yang berasal dari kota dan permukaan yang rata seringkali mengandung polutan seperti minyak dan residu bahan bakar yang mana dapat dengan mudah dibersihkan dalam sebuah *wetland cell*. Dan lagi, dalam sebuah daerah dimana suplai air bersih terbatas atau mahal, menggunakan air hujan memungkinkan penghijauan dari *landscape*, dengan menggunakan sebuah sumber yang alami dan dapat diperbaharui.

4. Kebutuhan lahan

Rata-rata, kita menganggap generasi normal air limbah dari 125-200 L/org/hari (meskipun angka ini dapat sangat berubah menurut norma-norma budaya dan lokasi geografi) dengan 2,5-4 m^2 WWG/orang. Angka ini bagaimanapun juga tergantung pada banyak faktor termasuk iklim (lebih panas sebuah iklim, lebih kecil sebuah area merupakan hal dibutuhkan, sejak tanaman-tanaman dan mikroba lebih efektif sepanjang tahun), jumlah penduduk dan jumlah air limbah yang mereka hasilkan, apakah sistem mengolah semua air limbah yang mereka hasilkan atau apakah *graywater* terpisah untuk dipakai kembali dan standar pengolahan apa yang dibutuhkan atau diinginkan. Pada iklim dingin,

angka ini mungkin dua kali atau tiga kali besarnya tergantung pada tingkat dari pengolahan yang dibutuhkan selama periode dingin tahunan, ketika tanaman-tanaman mungkin tidak aktif dan aktivitas bakteri lebih lambat.

5. Pemeliharaan

Berfungsinya sebuah sistem secara tepat adalah tergantung pada beberapa, tetapi sangat penting, langkah pemeliharaan :

a. *Septic tank*

Septic tank membutuhkan pemeliharaan seperti biasa (normal) : diperlukan pengecekan penyaring (filter) setiap 3-6 bulan dan dilakukan *washing/rinsing* bila diperlukan. *Septic tank* harus dipompa keluar ketika padatannya (*solid*) memenuhi lebih dari setengah kedalamannya (sebuah persyaratan standar untuk pemeliharaan *septic tank*).

b. *Gravel*

Jika porositas *gravel* yang asli (*original*) mengalami penurunan (dapat terjadi pada sepuluh tahun kemudian), *gravel* yang baru dapat digunakan sebagai pengganti atau *gravel* yang asli dipindahkan dan dibersihkan. Kemudian, tanaman-tanamannya dapat ditanam kembali di dalamnya dan sistem dapat melanjutkan pengolahan efektif untuk beberapa dasawarsa.

c. Level air *wastewater garden*

Diperlukannya pengecekan level air dalam *wetland cell* secara periode melalui kotak pengontrol, khususnya selama periode okupasi yang rendah ketika evapotranspirasi mungkin melebihi pemakaian ke dalam pengolahan *wetland*, sampai tanaman-tanamannya tumbuh stabil dengan baik. Sangat penting bahwa level air tidak diperbolehkan menggenang di bawah daerah perakaran.

d. Tanaman

Tanaman-tanaman *wastewater garden* memerlukan perawatan berkebun seperti biasa — pemangkasan untuk penampilan dan dorongan untuk pertumbuhan baru dan bunga-bunga. Pemangkasan tanaman yang berlebih harus dipindahkan dari WWG untuk mencegah penurunan porositas *gravel* katika daun-daun tersebut membusuk. Hasil pemangkasan (daun-daun) dapat dipergunakan untuk *mulch* (sebagai pupuk) diluar sistem atau ditambahkan ketumpukan kompos. Haruskah WWG ditanami sebelum dihubungkan ke *septic tank* (dalam ketiadaan dari nutrisi air buangan). Itu mungkin diperlukan pemupukan untuk membantu tanaman-tanaman cepat tumbuh stabil dan pemeliharaan level air yang memadai dengan kran air juga dibutuhkan.

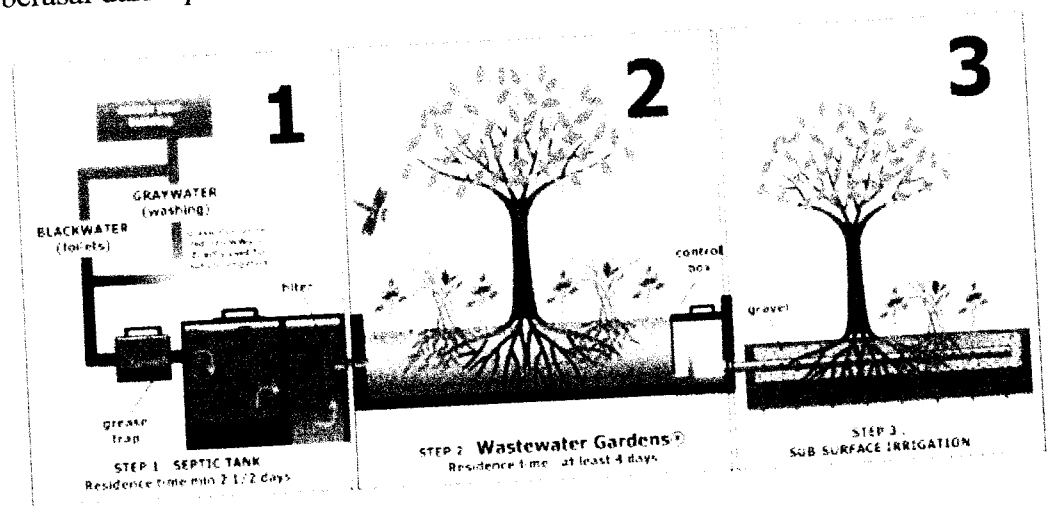
e. Saluran hujan (*drainage*)

Pastikan bahwa saluran air telah memadai disekitar WWG agar aliran air hujan dan tanah tidak tercuci (terproses) kedalam sistem,

merupakan hal yang penting sekali. WWG dibangun dengan sebuah berm yang lebih tinggi, yang mengelilingi tanah yang datar, tetapi seseorang harus memeriksa sesekali untuk menyakinkan bahwa tanah tidak terbangun disekitar kolam WWG, dimana akan mempersilakan aliran air hujan untuk masuk.

2.4.2. Mekanisme Pengolahan

Pengolahan limbah dengan *wastewater garden* memanfaatkan tanaman air dan mikroorganisme dalam area tersebut. Pengolahan limbah cair yang berasal dari *septic tank* dengan *wastewater garden* dapat dilihat dibawah ini :



Gambar 2.4. Pengolahan *Wastewater garden* dengan limbah *septic tank*

Limbah cair (*blackwater* dari toilet, *graywater* dari bak cuci piring, *shower*, dapur, dan air cuci pakaian) terkumpul ke *septic tank* dengan volume yang cukup besar untuk limbah cair dapat mengendapkan padatan, yang kemudian dicerna oleh bakteri di dalam *septic tank*. Sebuah saringan (filter)

akhir mencegah keluarnya padatan ; hanya air yang kaya akan nutrient meninggalkan *septic tank*. Dari waktu ke waktu, padatan akan menumpuk di dalam *septic tank* dan harus dipompa keluar untuk dijadikan kompos atau dipindahkan oleh truk tangki. *Effluent* dari *septic tank* kemudian mengalir ke *wastewater garden* yang mana terisi dengan *gravel* dan memiliki satu atau lebih kompartement, tergantung pada ukuran sistem. Di dalam *wastewater garden* tanaman hijau dan mikroba yang terasosiasi, menggunakan dan memurnikan kandungan organik dan nutrisi dari limbah cair. Desain WWG menjaga agar limbah cair berada di bawah permukaan *gravel*, jadi tidak terdapat bukaan, bau maupun bahaya dari ketidak sengajaan bersentuhan dengan limbah. Keluaran air dari *Wastewater Garden*® dikirim ke saluran irigasi permukaan atau ke *leachdrain*, dimana aksi tumbuhan dan tanah selanjutnya memurnikan air dan menggunakan nutrisi manapun. Limbah cair pada umumnya tertahan di dalam *septic tank* selama 2-3 hari dan di didalam *wastewater garden* selama 5-7 hari, selama waktu dimana limbah cair diolah dan dimurnikan oleh tanaman dan mikroorganisme alami (Nelson, Tredwell, Czech, Gove, Made, Cattin, 2006). Mekanisme yang terdapat di dalam *wastewater garden* untuk mengubah kualitas air adalah sangat banyak dan sering kali saling berhubungan. Mekanisme tersebut yaitu :

1. Pengendapan dari solid (padatan) tersuspensi

   Kadar padatan pada air limbah ini dapat diturunkan dengan proses fisik yaitu sedimentasi. Pada *wetland cell* ini air limbah mengalir melewati media gravel dengan waktu detensi yang cukup, kedalaman media dan

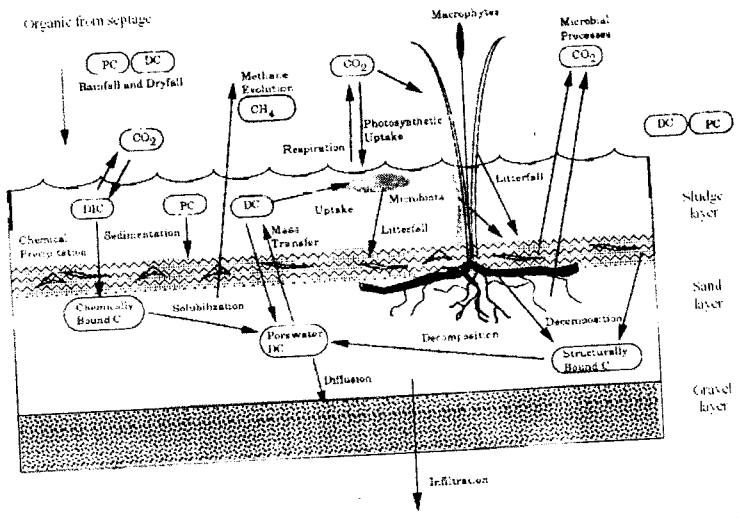
kecepatan tertentu, sehingga akan memberikan kesempatan partikel-partikel *solid* untuk mengendap dan terjadi peristiwa sedimentasi. Proses fisik sedimentasi ini mampu menurunkan konsentrasi *solid* dalam air limbah (Gopal, 1999).

2. Bahan organik

BOD terlarut dapat dihilangkan karena aktivitas mikroorganisme dan tanaman dalam *wetland cell*. Proses pengolahan biologis dalam *wetland cell* sangat bergantung pada aktivitas mikroorganisme dalam media dan tanaman. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa aktivitas mikroorganisme ini sangat bergantung pada aktivitas akar tanaman dalam *wetland cell* untuk mengeluarkan oksigen (Gopal, 1999).

Mekanisme pengolahan yang terjadi adalah :

$$\text{Bahan organik} + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O \text{ ..... (2.1)}$$



Gambar 2.5. Mekanisme penguraian bahan organik pada *constructed wetland* (Kadlec & Knight, 1995)

3. Predation dan kematian alami bakteri patogen

Bakteri patogen dapat dihilangkan karena aktivitas media reaktor (*gravel*), mikroorganisme dan tanaman dalam *wastewater garden.* Kematian bakteri patogen dapat terjadi melalui 3 proses, yaitu :

a. Proses fisik

- *Adsorption*
- Filtrasi mekanik : *gravel* , struktur akar
- *Adherence*, patogen/virus melekat pada akar
- Sedimentasi
  - Telur helminthes akan mengendap karena beratnya
  - Bakteri bergabung dengan padatan lainnya dan jatuh ke dasar untuk mati

b. Proses biologi

- kematian secara alami (*Natural Die-off*).
- *Predation* (pemakanan oleh mikroorganisme lainnya).
- *Ultra-Violet Radiation* (hanya untuk *surface flow wetlands*).

c. Proses kimia

- Kebocoran oksigen dari akar merusak dinding sel bakteri patogen.
- Akibat dari asam tannic/gallic yang dikeluarkan oleh tanaman.
- Antibiotik milik bakteri yang hidup pada zona rhizosphere dari akar (Clark,2004).

4. Pengangkutan dan transformasi nutrisi oleh mikroorganisme dan tanaman.
5. Filtrasi dan pretisipasi kimia melalui kontak dari air dan substrat.

2.3.3. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Pengolahan

Proses pengolahan dengan sistem *wastewater garden* terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi, yaitu :

a. Tanaman

Tanaman air merupakan komponen terpenting dari *wastewater garden* dan memberikan dukungan berupa transformasi nutrien melalui proses fisik, kimia dan *microbial*. Tanaman mengurangi kecepatan aliran, meningkatkan waktu detensi dan memudahkan pengendapan dari partikel *suspended*. Mulai dari jenis *duckweed* sampai tanaman berbulu (*reeds, cattail*) dan alang-alang dapat dimanfaatkan sebagai tanaman pada sistem *wastewater garden*. Jika menggunakan tanaman *cattail* atau *reeds* akan lebih praktis, karena tanaman ini dapat dibersihkan hanya satu kali dalam setahun (Vymazal, 1998 dalam Siswoyo, 2002).

Keuntungan yang paling besar dengan adanya tanaman dalam *wastewater garden* adalah tanaman dapat menstransfer oksigen dari daun sampai ke lapisan akar.karena sistem perakaran menembus lapisan substrat sehingga transport oksigen dapat terjadi lebih dalam dibandingkan dengan masuknya oksigen dengan diffusi secara alami (Merz,2000). Selain itu, tanaman air bisa hidup pada kondisi yang anaerob atau tanpa oksigen. Terjadinya daerah rhizosphere yang bersifat aerob memungkinkan aktifitas berbagai bakteri pengurai bahan organik pencemar dan unsur hara pencemar (nitrogen, phosphor) meningkat.

Sedangkan, fungsi lain dari tanaman ini adalah :

1. Menjaga *hydraulic conductivity* dari subtrat supaya stabil
2. Meningkatkan aktifitas bakteri di bagian perakaran
3. Sumber karbon bagi bakteri
4. Akar tanaman sebagai filter.
5. Melepaskan oksigen di daerah perakaran *(rhizosphere)*
6. Akar meresap unsur hara yang terkandung dalam limbah dimana hara tersebut berfungsi sebagai pupuk bagi tanaman.

Pengolahan dalam *wastewater garden* bergantung pada proses siklus tanaman dalam menyediakan oksigen untuk bakteri aerobik dan struktur dari tanaman dalam menyediakan substrat untuk bakteri aerobik dan anaerobik (fakultatif).

Berikut tabel dari fungsi setiap bagian atau komponen pada tanaman air yang digunakan dalam pengolahan *natural wetlands* :

Tabel 2.3 Fungsi Komponen-komponen Tanaman Dalam *Wetland*

No	Komponen Tanaman	Fungsi
1	Akar dan batang dalam air	• Sebagai tempat pertumbuhan bakteri • Sebagai media untuk proses filtrasi
2	Batang dan daun yang berada di permukaan air	• Mengurangi masuknya sinar matahari • Mampu mencegah pertumbuhan alga • Mampu mengurangi efek dari kecepatan angin di permukaan air • Sangat penting untuk mentransfer gas dari dalam permukaan air yang dihasilkan tanaman

b. Media Reaktor

Media yang digunakan pada *wastewater garden* adalah media kerikil. Fungsi kerikil dalam *wastewater garden* adalah sebagai media tempat berpegangnya akar tanaman air yang akan digunakan dalam *wetlands cell*. Media kerikil ini tidak berperan langsung dalam proses penurunan zat organik tetapi sangat penting keberadaannya sebagai tempat melekatnya bakteri anaerobik maupun tempat tumbuhnya akar tanaman. Pengolahan air limbah dipengaruhi oleh waktu detensi, dimana waktu detensi yang cukup akan memberikan kesempatan kontak lebih lama antara mikroorganisme, oksigen yang akan dikeluarkan akar tanaman dan air limbah. (Wood, 1993 dalam Siswoyo, 2002). Selain itu, *gravel* dapat berperan sebagai filtrasi mekanik.

b. Mikroorganisme

Mikroorganisme yang diharapkan dapat berkembang dalam sistem ini adalah mikroorganisme *heterotropik aerobic*, sebab pengolahan dengan mikroorganisme ini dapat berjalan lebih cepat dibanding secara *anaerobic* (Vymazal,1999 dalam Siswoyo, 2002). Mikroorganisme ini selain mengurai air limbah juga akan mempertahankan kandungan oksigen dalam air limbah. Sehingga akan mengurangi bau. Untuk menunjang kehidupan mikroorganisme ini, maka diperlukan pengaturan jarak tanaman pada reaktor yang diharapkan agar tanaman mampu memberikan transfer oksigen yang cukup bagi kehidupan

mikroorganisme yang hidup dalam media., pengkondisian lingkungan reaktor yaitu temperatur, pH, ruang yang cukup dan lain-lain.

Komunitas mikroba dalam *wastewater garden* digunakan sebagai indikator pengukuran secara langsung dalam proses pengolahan air limbah, yaitu jenis mikroorganisme dari bakteri, virus, ragi, microscopis fungi, protozoa, alga. Proses hubungan antara komunitas mikroba ini dalam *wetland cell* merupakan faktor utama dalam mendaur ulang kandungan pencemar dalam air limbah yaitu terjadinya proses dekomposisi dan denitrifikasi.

Proses transformasi yang terjadi di dalam *wetland cell* sebagian besar dipengaruhi oleh adanya hubungan metabolisme mikroorganisme dalam memanfaatkan air limbah dalam pertumbuhannya. Nitrogen dan carbon merupakan sumber energi bagi mikroba, dimana karbon digunakan untuk membentuk biomassa dari mikroba ($C_5H_7O_2N$) sebagai nutrien, proses fotosintesis yang dilakukan oleh protozoa juga memberikan respons yang cepat untuk meningkatkan jumlah nutrien dalam air limbah. Adanya proses transformasi dan dekomposisi oleh mikroba secara langsung mempengaruhi jumlah komunitas mikroba, dan penambahan jenis bakteri anaerobik yang berperan dalam mengurai bahan pencemar menjadi nutrien.

Proses *nitrifikasi* (oksidasi amonium menjadi nitrat dan nitrit secara biologis) dan *denitrifikasi* (oksidasi nitrit menjadi nitrat) dalam *wetland* juga dapat terjadi secara siklus alami, yang disebabkan adanya aktivitas

dari mikroorganisme dalam mengurai bahan makanannya, yaitu komunitas bakteri *heterotroph* (mikroorganisme yang menggunakan karbon organik sebagai energi) dan *autotroph* (mikroorganisme yang menggunakan karbon dioksida sebagai energi) yang terdiri dari bakteri *Nitrosomonas sp, Nitrobacter sp, Bacillus, Micrococcus, Alcaligenes, Spirillum.* Berikut reaksi proses *nitrifikasi* dan *denitrifikasi* yang menyebabkan terjadinya proses pembusukan pada *wetland* dan siklus pertumbuhan bakteri *heterotroph* dan *autotrophy.*

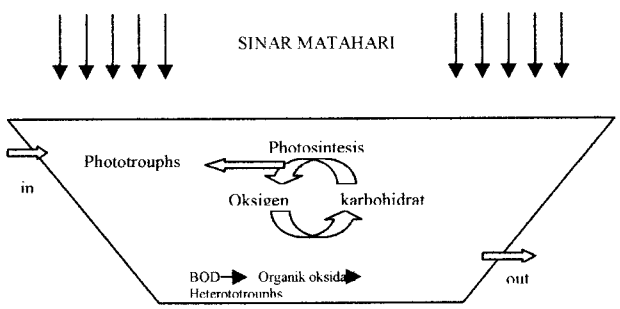
- Oksidasi amonium menjadi nitrit peranan bakteri *Nitrosomonas sp*

$$2\,NH_4^+ + 3O_2 \longrightarrow 2\,NO_2^- + 2H_2O + 4H^+ + \text{Energi} \quad .....(2.2)$$

- Oksidasi nitrit menjadi nitrat peranan bakteri *Nitrobacter sp*

$$2\,NO_2^+ + O_2 \longrightarrow 2\,NO_3^- + \text{Energi} \quad .....(2.3)$$

- Pertumbuhan bakteri *heterotroph* dan *autotroph* dalam *wetland*



Gambar 2.6. Siklus Pertumbuhan Bakteri *heterotroph* dan *autotrophy*

Reaksi pertumbuhan bakteri Phototrophs:

$$CO_2 + H_2O \xrightarrow{\text{matahari}} (CH_2O)_p + O_2 \quad .....(2.4)$$

Reaksi pertumbuhan bakteri Heterototrouphs:

$$C_6H_{12}O_6 + 3O_2 \longrightarrow 3(CH_2O)_h + 3CO_2 + 3H_2O \quad .....(2.5)$$

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 3(CH_2O)_h + (CH_2O)_p \quad .....(2.6)$$

karbohidrat

Semua jenis mikroorganisme yang ada dalam *wetland cell* secara umum beraktivitas untuk mengasimilasi nutrien untuk pertumbuhannya, seperti ammonium dapat bergabung membentuk asam amini oleh bakteri *autotroph* dan *heterotroph* (Kadlec and Knight,1996), asam amino ditransformasikan kedalam protein, purin, dan pirimidin yang digunakan sebagai sumber energi.

Berikut ini aktivitas dari mikroorganisme dalam sistem pengolahan air limbah dengan *wetlands cell* :

- Mentransformasikan bahan-bahan organik dan inorganik dalam jumlah yang besar menjadi bahan-bahan yang tidak berbahaya (*innocuous*) atau mudah terurai.
- Media untuk melakukan proses reduksi dan oksidasi (redok) dalam merubah kandungan substrat dan berpengaruh terhadap kemampuan *wetland cell.*
- Media pengurai (*recycling*) pencemar menjadi nutrien.

Proses mentransformasikan limbah dalam *wetland cell* dilakukan mikroorganisme dengan cara aerobik maupun anaerobik. Jenis bakteri terbesar dalam sistem ini berupa bakteri fakultatif anaerob dimana jenis bakteri ini mampu beraktifitas dalam kondisi lingkungan yang aerobik maupun anaerobik. Pertumbuhan mikroorganisme dalam *wetland cell* dapat berkembang biak dengan cepat jika persediaan energi sesuai dengan kebutuhan mikroba dan sebaliknya mikroorganisme akan lambat

berkembang biak apabila kondisi lingkungan tidak sesuai dengan kebutuhan mikroba.

c. Temperatur

Temperatur dari air limbah berpengaruh pada kualitas *effluent* air limbah karena mempengaruhi waktu detensi air limbah dalam reaktor dan aktivitas mikroorganisme dalam pengolahan air limbah. Temperatur yang cocok untuk *constructed wetland* dengan menggunakan tanaman *cattail* adalah 20^0C - 30^0C (Wood,1993 dalam Siswoyo, 2002).

2.4.4. Keunggulan *Wastewater Garden* (WWG)

*A*da beberapa kelebihan atau keuntungan yang dimiliki dengan menggunakan *wastewater garden,* yaitu :

a. Sistem *Subsurface wetlands* adalah solusi jangka panjang. *Wastewater garden* menjadi lebih efektif pada pengolahan air limbah selama tanaman-tanaman yang digunakan tumbuh dan berkembang dengan baik, dibandingkan dengan sistem mekanikal yang mana menjadi sedikit efektif tergantung pada umur mesin-mesin. *Wastewater garden* berbiaya rendah, tidak membutuhkan teknologi tinggi dan masa hidup lama (± 20 tahun) memberikan prosedur pemeliharaan yang sederhana selanjutnya.

b. Walaupun biaya konstruksi tergantung pada lokasi negara dan desain, sistem *wastewater garden* pada umumnya sedikit mahal untuk membangun daripada pengolahan limbah konvensional secara kimiawi atau mekanikal dan selalu lebih rendah (dramatis) dalam biaya *running*

mereka; 5-10 % dari biaya pemeliharaan biasa dan biaya operasi, selama sedikit penggunaan atau tidak ada penggunaan mesin-mesin.

c. Sistem *wastewater garden* mampu membersihkan air limbah dengan kecepatan yang luar biasa tinggi tanpa penggunaan yang mahal, bahan berbahaya bagi lingkungan seperti chlorin. Tidak terjadi bau, selama air limbah terjaga dari melakukan kontak dengan udara.

d. Tidak ada perkembangbiakan nyamuk atau gangguan lainnya yang berasosiasi dengan sistem limbah cair yang terbuka seperti *sewage lagoons* atau *surface-flow wetlands*. Kemungkinan ketidaksengajaan kontak dengan air limbah juga dapat dihilangkan.

e. Intensitas pengolahan adalah sedemikian rupa hanya 1/5 area yang dibutuhkan, dibandingkan dengan sebuah *surface flow wetlands*. Setiap butiran *gravel* akan didiami beraneka macam mikroba alami, yang efektif dalam pemanfaatan dan perlakuan terhadap air buangan, dan sistem akar dan pengangkutan air/nutrisi dari tanaman meningkatkan efesiensi pengolahan.

f. Sedikit air limbah dilepaskan dari *wetlands* spesial ini (10-30 % tergantung pada desain dan kondisi iklim lokal) karena tanaman menggunakan jumlah air yang besar dalam transpirasi mereka, penurunan kebutuhan permukaan atas saluran pelepasan (*leachdrain*) dan/atau irigasi di permukaan.

g. Sistem WWG dapat didesain sesuai pesanan dari unit kecil untuk sebuah tempat tinggal *single* sampai area yang luas untuk industri atau sistem kota besar/kota kecil : pengolahan *constructed wetlends* yang serupa, telah dibangun untuk kota dengan populasi dari 10.000-20.000 orang.hari.

h. Sementara sistem WWG dapat memberikan banyak penghematan dalam air, dimana khususnya didedikasikan untuk *landscaping.*

2.3.5. Kualitas Air dan Penggunaan Air Olahan

Sistem *wastewater garden* dapat memberikan kualitas air olahan sesuai dengan standar yang diinginkan, seperti dibawah ini :

1. Dengan desain dan pemeliharaan yang sesuai, kualitas air improvement dapat diperoleh :
   a. Penurunan BOD sebanyak 90 %.
   b. Penurunan TSS sebanyak 90 %.
   c. Penurunan Nitrogen sebanyak 25 - 75 % —Perbandingan angka ini akan sangat berbeda-beda dalam hal kondisi lokal dan waktu pengetesan.
   d. Penurunan Phosphorus sebanyak 25 - 75 %.
   e. Penurunan bakteri coliform lebih dari 98 %.
2. Jika *effluent* yang keluar dari unit WWG selanjutnya adalah dimanfaatkan untuk irigasi di permukaan, air tersebut akan berlanjut memiliki nutrient

uptake dan demikian bertemu, walaupun memiliki standar yang tinggi pada keluaran akhir.

3. Sementara keluaran air olahan dari WWG mempunyai penurunan yang tinggi akan bakteri, itu tidak dapat digunakan sebagai standar air minum seperti kita biasannya menggunakan desinfektan pada akhir pengolahan seperti klorin atau cahaya ultraviolet. Ini artinya bahwa kamu bisa menumbuhkan dan memakan buah dan beberapa tipe tanaman obat seperti contohnya, atau mengembangkan makanan ternak untuk binatang, tetapi bukan merupakan tanaman sayuran yang diperuntukkan bagi kesehatan manusia atau konsumsi binatang).

2.3.6. Segi Ekonomis Wastewater Garden (WWG)

Wastewater Garden (WWG) merupakan suatu pengolahan limbah domestik yang sangat ekonomis (*cost reduction* dan *longer-life time*), dapat dilihat dari :

1). Pada investasi dan instalasi awal unit WWG mungkin lebih tinggi dibandingkan dengan beberapa sistem mekanik atau kimia secara konvensional (atau mencapai 50 % lebih rendah), tergantung pada letak negara dan jenis tanaman yang digunakan (dewasa atau muda, pada saat awal pengoperasian WWG).

Biaya pengoperasian dan perawatan WWG biasanya 5-10 %, terdiri dari teknologi tinggi, yang berhubungan dengan mesin, berdasarkan pada *Sewage Treatment Plants* (STPs).

a. Walaupun, berbagai jenis dari STPs konvensional mempunyai bermacam-macam biaya modal awal dan biaya pengeluaran, kesemuanya memiliki pengeluaran/biaya pengoperasian dan perlengkapan/*refitting* yang lebih tinggi. STPs konvensional biasanya membutuhkan *reffiting* setelah 5-10 tahun pelayanan.

b. WWG memiliki siklus hidup paling minimum selama 20 tahun, dimana hal tersebut merupakan 2-3 kali waktu yang mungkin diharapkan dari sebuah STPs, khususnya dalam kondisi terpencil atau tropikal. Kebanyakan sistem pengolahan air buangan konvensional memiliki jangka hidup paling baik selama 10 tahun.

2). Sebagai sistem alami, tidak ada biaya bulanan dan/atau tahunan dari bahan kimia tambahan yang mahal. Sementara itu, sistem WWG juga memberikan jaminan terhadap inflasi biaya pemeliharaan (listrik, perbaikan, tempat,dsb).

3). Sistem WWG dibuat mengandalkan aliran gravitasi, dengan penggunaan sedikit mesin atau tanpa mesin, sehingga dapat menghemat biaya dari pompa, listrik, pemindahan tempat dan tenaga kerja ahli teknik untuk pemeliharaan. Pemeliharaannya sederhana, seperti dibutuhkan keahlian berkebun untuk menjaga sistem yang sehat, enak dipandang dan efisien.

4). Keluaran air dari WWG memiliki kandungan organik (BOD) dan padatan tersuspensi lebih rendah, hal ini sangat mengurangi permasalah umum yang terjadi pada kerusakan *leachdrain* dan kehilangan permeabilitas tanah.

2.3.7. *Wastewater Garden* Sebagai Sebuah Pendorong Ekonomis

Wastewater garden dapat dikatakan sebagai sebuah pendorong ekonomis karena beberapa hal berikut ini :

1. *Wastewater Garden* (WWG) dapat menjadi sebuah solusi yang efektif dan rendah biaya, dengan memberikan sebuah solusi yang menyokong, terhadap suatu masalah, yaitu bagaimana caranya memperlakukan air kotor (buangan) dengan menghasilkan produk yang bermanfaat dan dapat dijual, dari penggunaan secara efektif limbah cair. Lumpur (padatan yang dipompa dari *septic tank*) dapat dibuat sebgai kompos, yang mana akan membunuh bakteri patogen manapun yang berpotensial, dan akan menghasilkan pupuk organik yang bermanfaat. *Constructed wetlands* dan irigasi *secondary subsoil*, dapat digunakan untuk meningkatkan panen, seperti pepohonan yang memiliki pertumbuhan-cepat, bunga-bunga potong, beberapa macam jenis dari tanaman obat, serat untuk kerajinan tangan dan buah-buahan.
2. *Wastewater Garden* (WWG) juga dapat dibuat untuk memperlakukan (mengolah) lumpur dari truk pemompa *septic tank. Constructed wetlands* telah diketahui sangat efektif dalam menggunakan bahan ini,

dimana sebaliknya, sangat mahal untuk mengolah dan mengaturnya (bahan tersebut). Perlakuan tersebut mengkombinasikan antara penggunaan-atau penjualan-dari kompos, dan pemanenan tanaman yang tumbuh diatas WWG, dapat membantu pembiayaan pengeluaran konstruksi dan operasi sistem pengolahan seperti WWG.

3. WWG dibangun dengan menggunakan pekerja setempat (lokal) dan bahan-bahan (material) lokal, daripada pengimporan mesin-mesin mahal dan/atau produk kimia. Jadi keduanya mewakili investasi modal awal dan biaya pengoperasian dan menambah perekonomian lokal, regional dan nasional.

2.3.8. Jenis Tanaman yang Dapat Digunakan dalam *Wastewater Garden*

Planetary Coral Reef Foundation telah mengadakan setahun penelitian untuk memperluas banyaknya tanaman yang tumbuh subur sebagai bagian dari *wastewater gardens*. Hal itu, termasuk banyak tanaman yang tidak biasanya ditemukan dalam *wetlands*. Kebanyakan tanaman ini sangat indah dan bermanfaat. Biasanya, 1-3 tanaman (tergantung ukuran tanaman) ditanaman tiap per m^2 dari *wastewater gardens*, termasuk beberapa dengan akar panjang yang mampu mencapai bagian dasar dari media gravel. Merupakan hal yang alami untuk beberapa tanaman tumbuh subur sementara yang lainnya mungkin mati, khususnya selama *wastewater gardens* diperkuat dengan waktu dan lebih banyak tanaman berkompetisi satu dengan lainnya. Campuran dari tanaman yang memiliki akar yang pendek, sedang dan panjang

(pohon-pohon, alang-alang, palem) ditanam untuk memastikan bahwa terdapat penetrasi akar yang efektif dari media gravel pada *wastewater gardens*. Berikut ini merupakan jenis tanaman yang dapat digunakan dalam *wastewater gardens*.

Tabel 2.4. Jenis Tanaman yang Dapat Dipergunakan

No	Jenis Tanaman	
	Nama Indonesia	*Nama Latin*
1	Mata Panah	Sagitaria japonica
2	Futoi	Hippochaetes lymenalis
3	Melati air	Echinodorus paleaflius
4	Keladi	Calladium sp
5	Blue Diamond	Scizocentro elegans
6	Kala Air	Zantedeschia aethiopica
7	Tipa	Typha angustifolia
8	Lotus	Lotus sp
9	Cyperus papirus	Cyperus papyrus
10	Pickerel rush	Pontedoria cordata
11	Kiapu	Pistia stratiotes
12	Eceng gondok	Eichornia crassipes
13	Pisang air	Typhonodorum indleyanum
14	Anggrek air	Iris
15	Canna presiden kuning	Canna flacida
16	Pisang-pisangan	Holiconia rostrata

Sumber: Marianto, 2001 dan Bapeldada Bali, 2004

2.4. BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Biological Oxygen Demand (BOD) adalah banyaknya oksigen terlarut yang digunakan mikroorganisme untuk mengoksidasi bahan organik secara biokimia dalam air (Metcalf and Eddy, 1991)

Banyaknya oksigen yang dibutuhkan tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah dan jenis bahan organik, tetapi juga dipengaruhi oleh waktu dan suhu inkubasi. Sebagai standar inkubasi BOD ditetapkan yang paling efektif adalah suhu 20 ^{o}C

dengan waktu inkubasi 5 hari karena pada waktu ini proses terurainya bahan organik terjadi. Bahan organik yang dapat diurai oleh BOD tergolong dalam senyawa organik yang mudah terurai umumnya berasal dari limbah domestik.

Air buangan sebagian besar mengandung karbon organik yang dapat didegradasikan dengan konsentrasi BOD_5 tinggi serta bahan yang membutuhkan oksigen untuk oksidasi. Siklus karbon didominasi oleh tanaman, dimulai pada proses pertumbuhan dan penyerapan nutrien, proses kematian, dan pada proses degradasi, yang proses ini akan melepaskan nutrient, selanjutnya kembali menjadi tanah. Pada umumnya air buangan mengandung bahan organik yang dapat didegradasikan dengan aktivitas mikroorganisme dalam *constructed wetland.*

Penguraian bahan organik oleh bakteri aerobik:

$$\text{Bahan organik} + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O \quad \text{.....(2.7)}$$

Penguraian bahan organik oleh bakteri anaerobik:

$$\text{Bahan organik} \longrightarrow H_2O + NH_3 + CH_4 + H_2S + CO_2 \quad \text{.....(2.8)}$$

Dekomposisi dari karbon di dalam *wetland* ditentukan oleh kesetimbangan antara karbon yang masuk ke dalam *wetland* dengan suplai oksigen yang terjadi, apabila persediaan oksigen di dalam air tersebut cukup dengan yang dibutuhkan pada proses oksidasi bahan organik karbon maka proses degradasi berlangsung secara aerobik dan apabila sebaliknya maka proses dekomposisi atau degradasi berlangsung secara anaerobik. Suplai oksigen ke dalam kolom air *wetland* terjadi karena adanya difusi langsung dari atmosfir ke permukaan air dan adanya proses fotosintesis dari tanaman di dalam kolom air (Merz,

2000). Proses degradasi dan mineralisasi karbon organik terjadi pada lapisan sedimen dan lapisan *biofilm* yang tedapat pada tanaman.

Kehilangan konsentrasi BOD di dalam *wetland* telah dideskripsikan dengan menggunakan persamaan model reaksi orde pertama, sebagai berikut:

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp(-K_T{}^t) \quad \text{.....(2.9)}$$

Dimana:

C_e = *effluent* BOD_5 (mg/L)

C_o = *influent* BOD_5 (mg/L)

K_T = *temperature*, bergantung pada laju reaksi orde pertama($hari^{-1}$)

t = *hydraulic residence time* (hari)

Hydraulic residence time dapat dilihat dengan menggunakan persamaan:

$$t = \frac{LWnd}{Q} \quad \text{.....(2.10)}$$

Dimana:

L = panjang (m)

W = lebar (m)

n = void ratio, 0,65 – 0,75 (porositas)

d = kedalaman air (m)

Q = debit rata-rata ($flow_{in}$ + $flow_{out}$)/2 (m^3/hari)

Temperatur yang mempengaruhi pada konstanta kecepatan reaksi dihitung berdasarkan konstanta untuk 20 °C dan dengan faktor koreksi yang digunakan adalah 1,1 (Tchobanoglous et. Al., 1980). Konstanta kecepatan reaksi K_T ($hari^{-1}$) pada T (°C) dapat ditentukan dengan persamaan:

$$K_T = K_{20}(1,1)^{(T-20)} \quad \text{.....(2.11)}$$

Dimana:

K_{20} = rate constant pada 20 °C = 0,0057 $hari^{-1}$

Persamaan yang dipergunakan untuk memperkirakan hubungan $BOD_{effluent}$ dapat juga menggunakan persamaan:

$$BOD_{effluent} = (A \times BOD_{influent}) + (B \times HLR) \quad \text{.....(2.12)}$$

Dimana:

A = 0,192

B = 0,097

BOD = *biochemical oxygen demand* (mg/L)

HLR = *hydraulic loading rate* (cm/hari)

2.5.1. Prinsip Analisa BOD

Secara tidak langsung BOD menggambarkan kadar bahan organik, yaitu jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba aerob untuk mengoksidasi bahan organik yang menjadi karbondioksida dan air. Dengan kata lain, BOD menunjukkan jumlah oksigen yang dikonsumsi oleh proses respirasi mikroba aerob yang terdapat dalam botol BOD yang di inkubasi pada suhu sekitar 20° C selama 5 hari, dalam keadaan tanpa cahaya (Effendi, 2003).

Penentuan nilai BOD didasarkan pada reaksi oksidasi zat organis dengan oksigen dalam air dengan bantuan bakteri anaerob. Sebagai hasil oksidasi akan membentuk karbondioksida, air dan amonia. Reaksi oksidasi yang terjadi dapat ditulis sebagai berikut :

$$CnHaObNc + (n + \frac{a}{4} - \frac{b}{2} - \frac{3c}{2})\, O_2 \xrightarrow[\text{Bakteri}]{} nCO2 + (\frac{a}{2} - \frac{3c}{2})\, H2O + cNH3 \ldots(2.13)$$

Studi kinetika reaksi BOD memperlihatkan bahwa reaksi diatas mengikuti orde pertama atau dapat dikatakan bahwa laju reaksi sebanding dengan jumlah organik teroksidasi yang tersisa. Pada suatu waktu tertentu yang dilakukan oleh populasi organisme aktif. Pada saat organisme mencapai tingkat dimana variasi yang terjadi relatif kecil, laju reaksi dikontrol oleh jumlah makanan yang tersedia untuk organisme, dan dirumuskan sebagai :

$$-\frac{dC}{dt} = \alpha\, C \text{ atau } -\frac{dC}{dt} = k\, C \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(2.14)$$

Dimana : C = Konsentrasi bahan organik teroksidasi (polutan) pada awal reaksi.

t = lama waktu reaksi.

k = konstanta laju reaksi.

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa laju reaksi secara perlahan berkurang jika konsentrasi makanan atau bahan organik (C) berkurang.

Dalam penentuan BOD biasanya digunakan L sebagai ganti C, dimana L adalah nilai BOD total, sehingga persamaannya menjadi :

$$-\frac{dL}{dt} = \alpha\, L \text{ atau } -\frac{dL}{dt} = k\, L \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2.15)$$

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
PERPUSTAKAAN
YOGYAKARTA

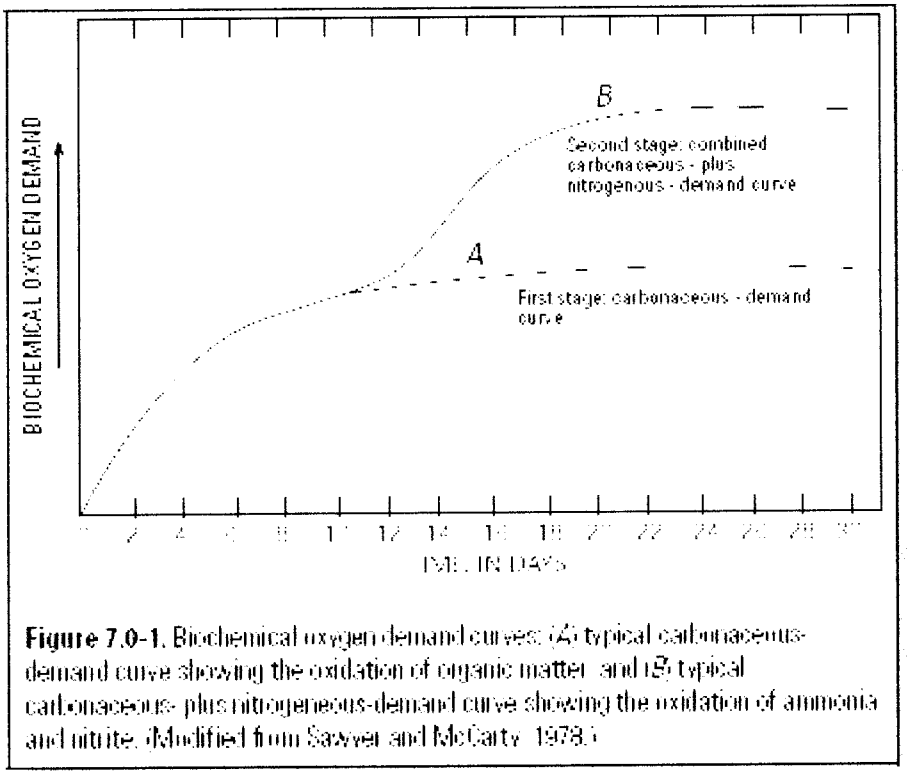


Figure 7.0-1. Biochemical oxygen demand curves: (A) typical carbonaceous-demand curve showing the oxidation of organic matter and (B) typical carbonaceous- plus nitrogeneous-demand curve showing the oxidation of ammonia and nitrite. (Modified from Sawyer and McCarty 1978.)

Gambar 2.7. Kurva *Bioogical Oxygen Demand Test*

Berdasarkan grafik di atas, terdapat 2 tingkatan yang terjadi pada dekomposisi di dalam tes BOD :

1. Tingkat *carbonaceous*, atau tingkat pertama, mewakili terhadap bagian oksigen yang diperlukan untuk mengkonversi organik karbon menjadi karbon dioksida.
2. Tingkat *nitrogenous*, atau tingkat kedua, mewakili sebuah kombinasi *carbonaceous* dan *nitrogenous* yang diperlukan. Ketika nitrogen, ammonia dan nitrit organik diubah menjdai nitrat, *nitrogenous oxygen demand* biasanya dimulai setelah sekitar 6 hari. Untuk beberapa air buangan, khususnya keluaran dari *Wastewater Treatment Plants* yang

menggunakan proses pengolahan biologi, nitrifikasi dapat terjadi kurang dari 5 hari jika bakteri ammonia, nitrit dan pengnitrifikasi hadir. Pada kasus ini, bahan kimia yang dapat mencegah nitrifikasi harus ditambahkan ke dalam sampel jika tujuannya hanya untuk menghitung *carbonaseous* yang diperlukan. Hasilnya dilaporkan sebagai *carbonaseous* BOD (CBOD), atau $CBOD_5$ jika inhibitor nitrifikasi digunakan (Delzer dan McKenzie, 2003).

2.5.2. Gangguan dalam Pengukuran BOD

Pada penentuan angka BOD ada beberapa gangguan yang mungkin terjadi. Gangguan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Nitrifikasi

   Proses nitrifikasi dapat mulai terjadi dalam botol BOD setelah inkubasi selama 2-10 hari. Adanya proses nitrifikasi yang dapat terjadi dalam sampel akan menyebabkan nilai BOD menjadi lebih besar. Nitrifikasi adalah proses oksidasi ammonia (anorganik) menjadi nitrat kemudian menjadi nitrat dengan oleh jenis bakteri tertentu :

   $$2NH_4^+ + 3O_2 \xrightarrow[\text{bakteri nitrosomonas}]{} 2NO_2^- + 4H+ + 2H_2O \quad \text{.....(2.16)}$$

   $$2NO_2^- + O_2 \xrightarrow[\text{bakteri nitrobacter}]{} 2NO_3^- \quad \text{..... (2.17)}$$

   Dari reaksi diatas terlihat bahwa proses nitrifikasi juga membutuhkan oksigen sehingga akan mengganggu penentuan BOD. Di alam terbuka ada 2 hal yang dapat mencegah pertumbuhan bakteri nitrifikasi, yaitu

suhu yang mencapai 10° C dan air sungai yang tercemar telah sampai ke muara. Oleh karena itu pada analisa BOD perlu ditambah dengan inhibitor yang dapat menghambat proses nitrifikasi, walaupun kemungkinan suhu tinggi seperti di daerah tropis akan mempercepat proses nitrifikasi.

2. Zat-zat beracun

   Adanya zat-zat beracun dapat menghambat pertumbuhan bakteri aerob bahkan dapat membunuh bakteri tersebut. Hal ini akan menyebabkan angka BOD lebih rendah. Zat-zat yang dapat bersifat racun adalah Cr (VI), Hg, Pb dan CN-. Gangguan ini dapat diatasi dengan mengencerkan sample sehingga konsentrasi zat racun menjadi dibawah konsentrasi yang berbahaya bagi mikroorganisme.

3. Masuk atau keluarnya oksigen

   Masuk atau keluarnya oksigen dari botol sebelum inkubasi akan menyebabkan nilai BOD menjadi kurang akurat. Oleh karena itu botol harus ditutup rapat dan gelembung udara harus dihilangkan dari botol.

4. Nutrien

   Nutrien merupakan faktor penting bagi kehidupan bakteri. Biasanya dalam sampel limbah sudah mengandung nutrien tersebut. Tetapi cukup tidaknya nutrien tersebut bagi pertumbuhan bakteri sulit diduga. Oleh karena itu sebelum diinkubasi, sampel ditambah nutrien secukupnya (Alaerts dan Santika, 1984).

2.6. Escherichia coli

Golongan bakteri coli, merupakan jasad indikator didalam substrat air, bahan makanan dan sebagainya untuk kehadiran jasad berbahaya, yang mempunyai persamaan sifat : gram negatif berbentuk batang, tidak membentuk spora dan mampu memfermentasikan kaldu laktosa pada temperatur 37 ° C dengan membentuk asam dan gas didalam waktu 48 jam. *Bakteri Coli* merupakan salah satu bakteri yang tergolong dan hidup normal pada saluran pencernaan manusia dan hewan sehingga di sebut juga *Coliform Fecal.* Kemungkinan-kemungkinan terjadi pertumbuhan *E. Coli* dapat pada cucian, kulit, kolam renang yang kotor dan lain-lain. Coli tinja yang dipakai sebagai indicator kontaminasi tinja selain berasal dari kotoran / tinja manusia juga berasal dari kotoran hewan berdarah panas seperti mamalia dan burung (Lay, 1994). Bakteri-bakteri patogen ada bermacam-macam dan konsentrasinya agak rendah, hal ini menyebabkan bakteri-bakteri tersebut susah dideteksi. Analisa mikrobiologi untuk bakteri tersebut berdasarkan "organisme petunjuk" (Bioindicator). Bakteri–bakteri ini menujukkan adanya pencemaran oleh tinja manusia dan hewan berdarah panas, dan mudah dideteksi. Dengan demikian bila organisme petunjuk tersebut ditemui dalam sample air, berarti air tersebut mengandung bakteri patogen. Bakteri jenis *Escherichia Coli* merupakan petunjuk yang paling efesien, karena *E.coli* tersebut hanya dan selalu terdapat dalam tinja. Hanya sebagian dari total coli terdiri dari *E.coli* yang berasal dari tinja dan lainnya terdiri dari bakteri yang berasal dari tanah seperti *Aerobacter Coli.* Oleh sebab itu tes *E.coli* merupakan anjuran untuk tes mikrobiologi.

E.Coli yang umumnya menyebabkan diare terjadi di seluruh dunia. *E.coli* ini di klasifikasikan berdasarkan sifat karakteristik dari Virulensinya dan tiap kelompok menyebabkan penyakit dengan mekanisme yang berbeda. *E.coli* merupakan suatu organisme yang tidak berbahaya yang biasanya hidup di dalam saluaran usus manusia dan hewan. Menurut Suriawaria (1996), bakteri coli dengan konsentrasi 500 koloni dalam 100 ml air dapat menyebabkan gastroenteritis yang segera diikuti oleh demam tifus. E.coli pada keadaan tertentu dapat mengalahkan mekanisme pertahanan tubuh sehingga dapat tinggal dalam blander (cystis) dan pelvis (pyelitis) ginjal dan hati, yang antara lain menyebabkan diarhea, septimia, peritonostis, meningitis dan infeksi-infeksi lainnya.

Pemakaian bakteri *coliform* dalam analisis bakteriologi air didasarkan pertimbangan-pertimbangan antara lain :

a) Bakteri *coliform* berasal dari/banyak terdapat dalam kotoran manusia (binatang berdarah panas).
b) Terdapat dalam jumlah yang sangat banyak dan mudah cara mengidentifikasinya.
c) Lebih tahan hidup di udara terbuka, agak lama dibandingkan dengan kuman-kuman patogen.

2.6.1. Pemeriksaan E.coli

Pemeriksaan golongan Coli (*coliform bacteri*) dapat dilakukan sebagai berikut :

1) Dengan cara "*the multiple tube fermentation technique*".

Ada tiga tahap pemeriksaan yaitu *presumptive test*, *confirm test* dan *completed test*.

a. *Presumptive test* (test pendugaan) :

Presumptive test didasarkan atas kenyataan bahwa *Coliform bacteri* dapat meragikan laktose dengan membentuk gas. Kedalam tabung laktose yang didalamnya terdapat medium laktose dan tabung Durham yang terbalik dituangkan contoh air yang akan diperiksa. Kemudian dieramkan selama 2 x 24 jam pada temperatur 35° ± 0,5°C. Jika dalam waktu 2 x 24 jam terbentuk gas pada tabung Durham, maka *presumptive test* dinyatakan positif yang berarti air yang diperiksa tersebut diduga mengandung *Coliform bacteri*.

Sebaliknya bila tidak terbentuk gas dinyatakan *presumptive test* negatif yang berarti air tidak mengandung Coliform. Jika terjadi *presumptive test* positif, maka dilanjutkan dengan *confirm test* untuk memastikan adanya Coliform di dalam contoh air tersebut.

b. *Confirm test* (tes penegasan) :

Pada *Confirm test* digunakan medium : "*Brilliant Green Laktose Bile Broth* (BGLB)", "*Eosin Metylene Blue Agar* (EMB)" atau Endo Agar.

Semua contoh air dari *presumptive test* positif dipindahkan ke dalam tabung yang berisi BGLB atau digeserkan ke dalam cawan Petri berisi

EMB atau Endo agar. Jika dalam tabung BGLB ternyata terdapat gas setelah dieramkan selama 2 x 24 jam pada temperatur 35°C ± 0,5°C, maka *confirmed test* dinyatakan positif.

Demikian pula bila di dalam medium EMB atau Endo agar terdapat koloni yang tersangka, setelah dieramkan selama 24 jam pada 35°C ± 0,5°C maka test disebut positif.

c. *Completed test* (test lengkap) :

Pada c*ompleted test* digunakan medium : EMB endo agar dan laktose builyon serta agar miring. Semua contoh air dari *confirmed test* positif dilanjutkan dengan *completed test*. Contoh air dari *confirmed test* dengan BGLB digeserkan di atas EMB atau Endo agar, kemudian dieramkan pada 35°C ± 0,5°C selama 24 jam. Dicari koloni *Coliform bacteri* dalam setiap lempeng. Jika ditemukan koloni tersangka, maka dipindahkan ke laktose builyon dan agar miring, kemudian dieramkan pada 35°C ± 0,5°C selama 24 jam atau 48 jam. Dari agar miring dibuat sediaan dan dicat menurut gram untuk melihat adanya spora. *Completed test* dinyatakan positif bila terbentuk gas dalam medium laktose dan bersifat gram negatif serta tidak membentuk spora. Jika di dalam medium laktose tidak terbentuk gas dalam waktu 48 jam, test dinyatakan negatif. Demikian pula apabila tidak ada koloni yang tersangka pada EMB atau Endo agar, dinyatakan test negatif.

Khusus untuk pemeriksaan kuman golongan Coli yang berasal dari tinja (*fecal Coliform*) dilakukan sebagai berikut :

Suhu inkubasi dinaikkan untuk memisahkan kuman golongan Coli yang berasal dari tinja (*fecal Coliform*) dengan kuman golongan Coli yang tidak berasal dari tinja (*non fecal Coliform*). Semua tabung dari test perkiraan (*presumptive test*) yang positif dipindahkan ke dalam tabung-tabung yang berisi medium *Boric Acid Laktose Broth* (BALB) yang telah dipanaskan terlebih dahulu, kemudian diinkubasikan pada suhu 43° ± 0,5°C selama 48 ± 3 jam. Jika dalam waktu 48 ± 3 jam terbentuk gas dalam tabung peragian, dinyatakan positif dan menunjukkan adanya kuman golongan Coli tinja (*fecal Coliform*) dalam contoh air yang diperiksa.

Hasil pemeriksaan kuman golongan Coli (*Coliform*) dengan cara *multiple tube fermentation technique* dinyatakan dengan indexs MPN (*Most Probable Number*) yaitu perkiraan terdekat jumlah kuman golongan Coli. Indexs MPN merupakan indexs dari jumlah golongan Coli yang paling mungkin, yang berarti bukan perhitungan yang sebenarnya.

2) Dengan cara "*the membrane method*".

Cara *membrane method* dikembangkan oleh Jerman selama Perang Dunia kedua. Contoh air yang diperiksa disaring melalui cawan yang di dalamnya terdapat saringan (membran saringan). Setelah penyaringan, membran saringan diletakkan terbalik di atas absorbent yang berisi medium Endo dengan konsentrasi tinggi, kemudian diinkubasikan selama 20 jam pada suhu 35°C ± 0,5°C. Apabila tumbuh koloni dengan

ciri-ciri warna gelap, jingga, mempunyai kilat logam, maka dapat dipertimbangkan bahwa koloni tersebut berasal dari kuman golongan Coli. Jumlah koloni dihitung sehingga dapat periksakan jumlah kuman golongan Coli per 100 ml contoh air.

Media adalah kumpulan zat-zat organik maupun anorganik yang digunakan untuk menumbuhkan bakteri dengan syarat-syarat tertentu, dalam rangka isolasi, memperbanyak penghitungan, dan pengujian sifat fisiologik suatu mikroorganisme.

Untuk mendapatkan suatu lingkungan kehidupan yang cocok bagi pertumbuhan bakteri, maka syarat-syarat media, pembuatan media harus memenuhi dalam hal:

1. Susunan makanan. Media yang digunakan untuk pertumbuhan harus mengandung air, sumber karbon, sumber nitrogen, mineral, vitamin, dan gas.
2. Tekanan osmose. Bakteri membutuhkan media yang isotonis.
3. Derajat keasaman (pH). Bakteri membutuhkan pH sekitar 7 atau netral.
4. Temperatur. Umumnya bakteri patogen membutuhkan temperatur sekitar 37°C, sesuai dengan suhu tubuh.
5. Sterilitas. Apabila media yang digunakan tidak steril maka sulit dibedakan dengan pasti apakah bakteri tersebut berasal dari material yang diperiksa atau hanya merupakan kontaminan. Untuk mendapatkan media yang steril maka setiap tindakan (pengambilan

sampel, penuangan media) serta alat-alat yang digunakan (tabung, petri) harus steril dan dikerjakan secara aseptik. Dengan sterilisasi, bakteri dan kuman akan di basmi semua. Baik botol, cawan Petri, pipet, penyumpit, tutup botol maupun bahan kimia dapat tercemar oleh bakteri yang dipindahkan melalui sidik jari, air liur dan debu yang terbawa angin. Agar supaya bakeri tersebut ini tidak menggangu hasil tes mikrobiologi pada sample air, maka semua peralatan dan bahan kimia yang akan berhubungan dengan sampel air dan media perlu di sterilkan dengan baik (Metoda Penelitian Air,1984).

2.7. Tanaman-tanaman Air Hias dalam *Wastewater Garden* (WWG)

Tanaman yang digunakan dalam w*astewater garden* , merupakan tanaman air yang memiliki kelebihan dapat menstransfer oksigen dari daun sampai ke lapisan akar, karena sistem perakaran menembus lapisan substrat sehingga transport oksigen dapat terjadi lebih dalam dibandingkan dengan masuknya oksigen dengan diffusi secara alami (Merz,2000). Kelima tanaman tersebut adalah melati air (*Echinodorus paleaflius*), Cyperus papyrus (*Cyperus papyrus*), Futoi *(Hippochaetes lymnenalis)*, Pisang air (*Typhonodorum indleyanum*) dan Pickerel rush (*Pontedoria cordata*).

sampel, penuangan media) serta alat-alat yang digunakan (tabung, petri) harus steril dan dikerjakan secara aseptik. Dengan sterilisasi, bakteri dan kuman akan di basmi semua. Baik botol, cawan Petri, pipet, penyumpit, tutup botol maupun bahan kimia dapat tercemar oleh bakteri yang dipindahkan melalui sidik jari, air liur dan debu yang terbawa angin. Agar supaya bakeri tersebut ini tidak menggangu hasil tes mikrobiologi pada sample air, maka semua peralatan dan bahan kimia yang akan berhubungan dengan sampel air dan media perlu di sterilkan dengan baik (Metoda Penelitian Air,1984).

2.7. Tanaman-tanaman Air Hias dalam *Wastewater Garden* (WWG)

Tanaman yang digunakan dalam w*astewater garden* , merupakan tanaman air yang memiliki kelebihan dapat menstransfer oksigen dari daun sampai ke lapisan akar, karena sistem perakaran menembus lapisan substrat sehingga transport oksigen dapat terjadi lebih dalam dibandingkan dengan masuknya oksigen dengan diffusi secara alami (Merz,2000). Kelima tanaman tersebut adalah melati air (*Echinodorus paleaflius*), Cyperus papyrus (*Cyperus papyrus*), Futoi *(Hippochaetes lymnenalis),* Pisang air (*Typhonodorum indleyanum*) dan Pickerel rush (*Pontedoria cordata*).

2.7.1. Melati air (*Echinodorus paleaflius*)

Tanaman Melati air *(Echinodorus paleaflius)* banyak tumbuh di daerah tropis dengan tinggi sekitar 20-70 cm. Jumlah daun yang memiliki beraneka ragam tergantung dari umur tanaman. Bunga melati air *(Echinodorus paleaflius)* berwarna putih engan sedikit rona kuning kecoklatan dibagian tengahnya. Bentuk daun melati air *(Echinodorus paleaflius)* beragam, sangat tergantung varietasnya. Melati air *(Echinodorus paleaflius)* ini memiliki daun yang berbentuk agak bundar dengan bagian tepinya bergelombang. Melati air *(Echinodorus paleaflius)* ini bisa diperbanyak dengan menggunakan pemisahan anakan tunas. Anakan tunas umumnya tumbuh pada pangkalan batang tanaman.

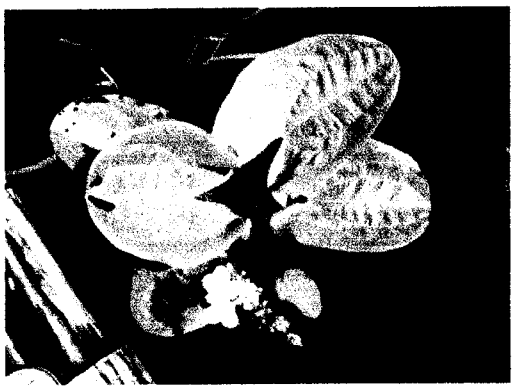
Faktor lingkungan yang menjadi syarat untuk pertumbuhan melati air *(Echinodorus paleaflius)* adalah sebagai berikut :

- Air.

  Ketergantungan hidup tanaman ini dipengaruhi oleh air dimana ketersediaan air harus terjamin dan mencukupi selama pertumbuhan melati air *(Echinodorus paleaflius)*.

- Hidup pada suhu 20-28 °C.
- Hidup pada derajat keasaman (pH) berkisar antara 5,5-8.
- Hidup pada daerah tropis.
- Kebutuhan cahaya : sedang hingga sangat tinggi.

Tanaman melati air *(Echinodorus paleaflius)* ini memiliki keunggulan dalam kegiatan fotosintesis, penyedaan oksigen dan penyerapan sinar matahari (Anonim, 2004).



Gambar 2.8. Melati air

2.7.2. Cyperus papyrus (*Cyperus papyrus*)

Tanaman ini merupakan tanaman yang tumbuh baik di daerah tropis maupun sub tropis. Juga telah dikembangkan pula dengan ukuran dan bentuk yang bervariasi. Tanaman ini biasa dikenal dengan nama tanaman pepayungan. Cyperus berbentuk segitiga, di dalamnya terdapat semacam serbuk berwarna putih. Tinggi tangkainya tidak tanggung-tanggung, bisa menjulang hingga 3-5 m, bergerombol membentuk rumpun yang indah, bagian ujung tangkai ditumbuhi daun-daun halus yang bergerombol sepanjang kira-kira 25 cm, yang menyebar seperti air mancur.

Faktor lingkungan yang menjadi syarat untuk pertumbuhan cyperus adalah sebagai berikut :

- Kebutuhan cahaya

  Tanaman tidak akan dapat melangsungkan proses asimilasi (*fotosintesis*) tanpa adanya cahaya. Proses asimilasi memerlukan cahaya matahari untuk mengubah bahan makanan berupa gas asam arang (CO_2) dari udara dan air (H_2O). Cyperus akan berkembang dengan baik apabila terdapat cahaya matahari atau berada di tempat yang sebagian teduh.

- Kebutuhan suhu

  Tanaman ini cocok atau tumbuh baik pada suhu lingkungan dengan temperatur 20-30 °C.

- Air

  Air berperan sangat penting dalam proses fotosintesa san mengangkut bahan makanan keseluruh organ tanaman. Disamping itu juga, air didalam daun juga menjaga tegangan sel daun (turgor) bertahan tegar.

- Kelembaban

  Kelembaban rata-rata yang diperlukan tanaman unutuk pertumbuhan berkisar antara 50%.

- Udara

  Kondisi lingkungan yang berudara segarsangat penting bagi tanaman cyperus. Dalam lingkungan yang berudara segar, tanaman dapat memperoleh O_2 untuk bernapas dan untuk membakar cadangan makanan agar dapat menghasilkan energi untuk pertumbuhan.

➢ Perbanyak tanaman

Cyperus diperbanyak dengan menggunakan stek batang atau dengan cara memisahkan anakan dari induknya. Perbanyakan cyperus ini dapat dilaksanakan setiap saat, asalkan lingkungannya sesuai dengan tuntutan hidup tanaman.

Tanaman ini mempunyai keunggulan dalam kegiatan fotosintesis, penyediaan oksigen dan penyerapan sinar matahari pada bagian daunnya. Serta tanaman ini dapat dimanfaatkan menjadi daun panir.



Gambar 2.9. Cyperus papyrus

2.7.3. Futoi (*Hippochaetes lymnenalis*)

Kendati sosoknya bergerombol menyerupai semak, futoi tetap tampil cantik dan natural sebagai tanaman kolam marginal atau dipajang soliter dalam sebuah wadah khusus. Batangnya hijau lurus keatas mirip sekumpulan lidi, berbentuk silindris dengan tinggi 1-2 m. Setiap batang memiliki beberapa

Genus : *Heliconia*

Spesies : *Heliconia rostrata*

Heliconia rostrata memiliki bunga berbentuk tabung dengan ovavia di bagian dalamnya. Kelopak bunga terbentuk dari integrasi enam tepala (daun tenda bunga) yang berbeda (kelopak daun dan mahkota daun). Di dalam bunga terdapat stamen yang menghasilkan serbuk sari dan membuahi kepala putik secara terus menerus. Pada umumnya bunga tersembunyi diantara daun-daun berukuran besar yang disebut *wacts*. Tiap-tiap perhiasan bunga memiliki perbedaan dalam hal warna, ukuran, susunan, tekstur, jumlah dan sifat-sifi lain antara satu dengan lainnva. Bunga vang berbentuk seperti tabung sesuai/cocok dengan paruh burung kolibri (seperti gembok dan kunci) yang dalam halini mampu membantu penyerbukan *heliconia neotropic*.

Daun heliconia kurang lebih sama dengan daun pisang. Bagian dasar petiole kasar dan saling melapisi satu sama lain membentuk selaput tipis di sekitar batang. Bagian tanaman yang berada di dalam tanah sebagian besar berupa rhizoma yang merupakan batang dalam tanah (Anonim. 2004).



Gambar 2.11. Pisang-pisangan

2.7.5. Pickerel rush (*Pontedoria cordata*)

Tanaman berbentuk rumpun ini berbunga sepanjang tahun. Bunganya kecil-kecil berwarna keunguan berkerumun pada tandan yang bentuknya meruncing. Tinggi tangkai yang menopang bunga sekitar 90 cm. Daunnya berwarna hijau tua berebntuk hati yang memanjang hingga 30 cm. Pada setiap tangkai terdapat 2-4 helai daun, seolah melindungi bunganya yang cantik. Sangat pas dipajang pada sisi kolam sebagai background karena bungannya tampil mencolok dibanding tanaman air lainnya yang berbentuk rumpun.

Disamping yang berbunga ungu, dijumpai pula hibrida berbunga putih yaitu *pontedoria cordata "alba". Pontedoria cordata* menurut sejarah ditemukan pada abad ke-18 oleh botani bernama Pontedera. Nama *cordata* berasal dari bahasa latin yang berarti berbentuk hati yaitu untuk menggambarkan bentuk daunnya. Dalam rumpun tanaman ini tumbuh tunas-tunas anakan baru. Lewat pemisahan tunas-tunas tersebut tanaman ini bisa diperbanyak.



Gambar 2.12. Pickerel rush

2.7.6. Cattail (*Typha latifolia*)

Tanaman typha tumbuh disepanjang garis danau dan rawa-rawa, sering kali dalam koloni yang padat dan kadang-kadang dianggap sebagai rumput liar dalam perlakuan *wetlands*. Sistem akar tanaman ini, membantu mencegah erosi, dan tanamannya sendiri sering sebagai rumah untuk berbagai serangga, burung dan amphibi. *Typha latifolia* mempunyai kedudukan taksonomi sebagai berikut :

Kingdom	: *Plantae*
Divisi	: *Magnoliophyta*
Kelas	: *Liliopsida*
Ordo	: *Typhales*
Famili	: *Typhaceae*
Genus	: *Typha*
Spesies	: *Typha latifolia*

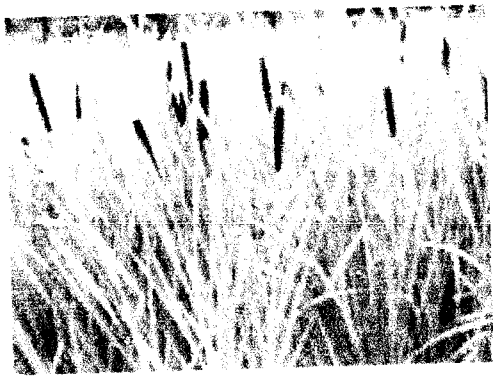
Typha latifolia adalah tumbuhan perennial, dari rhizom yang timbul, dengan tinggi sekitar 1-2,7 m ; memiliki daun yang datar (ceper), berpelepah, berwarna pucat atau keabu-abuan hingga hijau, dengan lebar sekitar 6-23 mm; memiliki benang sari (dengan panjang 7-13 cm) dan putik berwarna coklat pekat (dengan panjang 2,5-20 cm) yang merupakan bagian dari pakunya, biasanya terletak bersebelahan; buahnya memiliki ketebalan 1,2-3,5 cm, permukaannya terlihat seperti berkerikil/berkoral bila dilihat dengan seksama, dengan dimahkotai persistent dan hampir berbulu, putik bunga tanpa cabang berada diantara bulu-bulu; stigma terbuka-ovate, berdaging, persistent; buahnya memiliki panjang kira-kira 1 cm, dengan rambut putih yang timbul berlebihan didekat bagian dasar.

Akar *typha latifolia* mengandung 30 % zat tepung, 7,8 % protein mentah, 1 % gula mentah, 0,7 % glukosa, 0,7 % asam oksalit. Bagian antenanya mengandung 1,5-3,5 5 lemak, 7-12 % protein mentah, 38-48 % karbohidrat. Daunnya mengandung quercetin-3-neohesperidosid, quercetin-dan kaempferol-3-glucoside, quercetin-dan kaempferol-3-galactoside. Serbuk sarinya digunakan baik sebagai pengobatan dan bahan makanan, mengandung 19 % protein mentah, 17,8 % karbohidrat (glukosa, fruktosa, arabinose, rhamnose, xylose) dan 1,1 % lipid. Dalam minyak bijinya, kandngan yang paling banyak mendominasi adalah asam linolenic dan gliseric.

Typha dapat hidup di daerah tropis hingga temperatur dingin, cattail dapat mentoleransi presipitasi tahunan dari 4-40 dm dan temperatur tahunan sekitar 6-28 °C. Cattail menggunakan beberapa pencemar sebagai nutrisi. Apabila

pertanian cattail berada dekat dengan *Sewage Treatment Plants* (STPs), maka cattail dapat membersihkan nitrogen dan phosphorus yang mengganggu pada *effluent sewage treatment plants*. Tanaman cattail menggunakan energi matahari dan karbondioksida untuk menghasilkan zat tepung dan gula melalui fotosintesis.

Tanaman ini dikatakan kaya akan vitamin B1, B2 dan C. Beberapa hewan memakan akar tanaman ini, beberapa manusia memakan mereka juga dan mengatakan bahwa mereka sangat lezat. Biasanya typha dapat dipanen pada musim gugur dan semi, dan sebatang bunga yang masih hijau, muda dapat direbus dan memakannya seperti jagung ditongkolnya (Anonim, 2006).



Gambar 2.113. Typha latifolia

2.8. Penelitian Yang Telah Dilakukan Sebelumnya

Sebelum penelitian ini, telah ada penelitian yang menggunakan *wastewater garden*, yaitu untuk menurunkan konsentrasi BOD dan jumlah E.coli untuk air buangan limbah domestik, yang dilakukan oleh Laboratorium MPL, Perth untuk

kualitas air pada sistem *Wastewater Garden* di Birdwood Downs, Derby, Australia Barat, dengan luas 8 m^2. Tanaman yang dipergunakan adalah heliconia (*bird of paradise*), canna lilies, pandanus palm, coconut palm, plantain, 2 tipe dari elephant ear: papyrus and oleander. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa konsentrasi BOD dan jumlah E.coli dapat diturunkan. Hasil penelitian menunjukkan penurunan konsentrasi BOD yaitu sebesar 95 %, dengan konsentrasi awal 241 mg/l menjadi 12 mg/l, sedangkan pada jumlah E.coli menunjukkan penurunan sebesar 98,2 % dengan jumlah awal 6.285.00 menjadi 116.000. Selain itu, hasil penelitian oleh Laboratorium MPL, Perth untuk sistem *Wastewater Garden* di Emu Creek (Gulgagulganeng), Kununurra, Australia Barat, juga menunjukkan penurunan konsentrasi BOD sebesar 89 %, dengan konsentrasi awal 241 mg/l menjadi 12 mg/l (Nelson, Tredwell, Czech, Depuy, Suraja, Cattin, 2006).

2.9. Hipotesis

Wastewater garden dapat menurunkan konsentrasi BOD dan jumlah E.coli yang terkandung dalam limbah cair *septic tank* Mataram Citra Sembada *Catering*.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Proses berjalannya reaktor dan lokasi pengambilan sampel bertempat di jalan Rajawali I no.12 RT 08 RW 05, Manukan, Condongcatur, Kabupaten Sleman, Yogyakarta. Air limbah diambil dari *septic tank* Mataram Citra Sembada Catering, Kabupaten Sleman, Yogyakarta.

Analisa sampel untuk parameter BOD dan E.Coli dilakukan di laboratorium Kualitas Air Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

3.2. Objek Penelitian

Sebagai objek penelitian adalah konsentrasi BOD dan jumlah E.Coli yang berasal dari limbah cair *septic tank* Mataram Citra Sembada Catering. Limbah diambil 3 hari sekali sampai selama 12 hari.

3.3. Variable penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Variabel bebas (*Independent variable*)
   - Debit yang digunakan.
   - Waktu detensi.

2. Variabel terikat (*Dependent variable*)

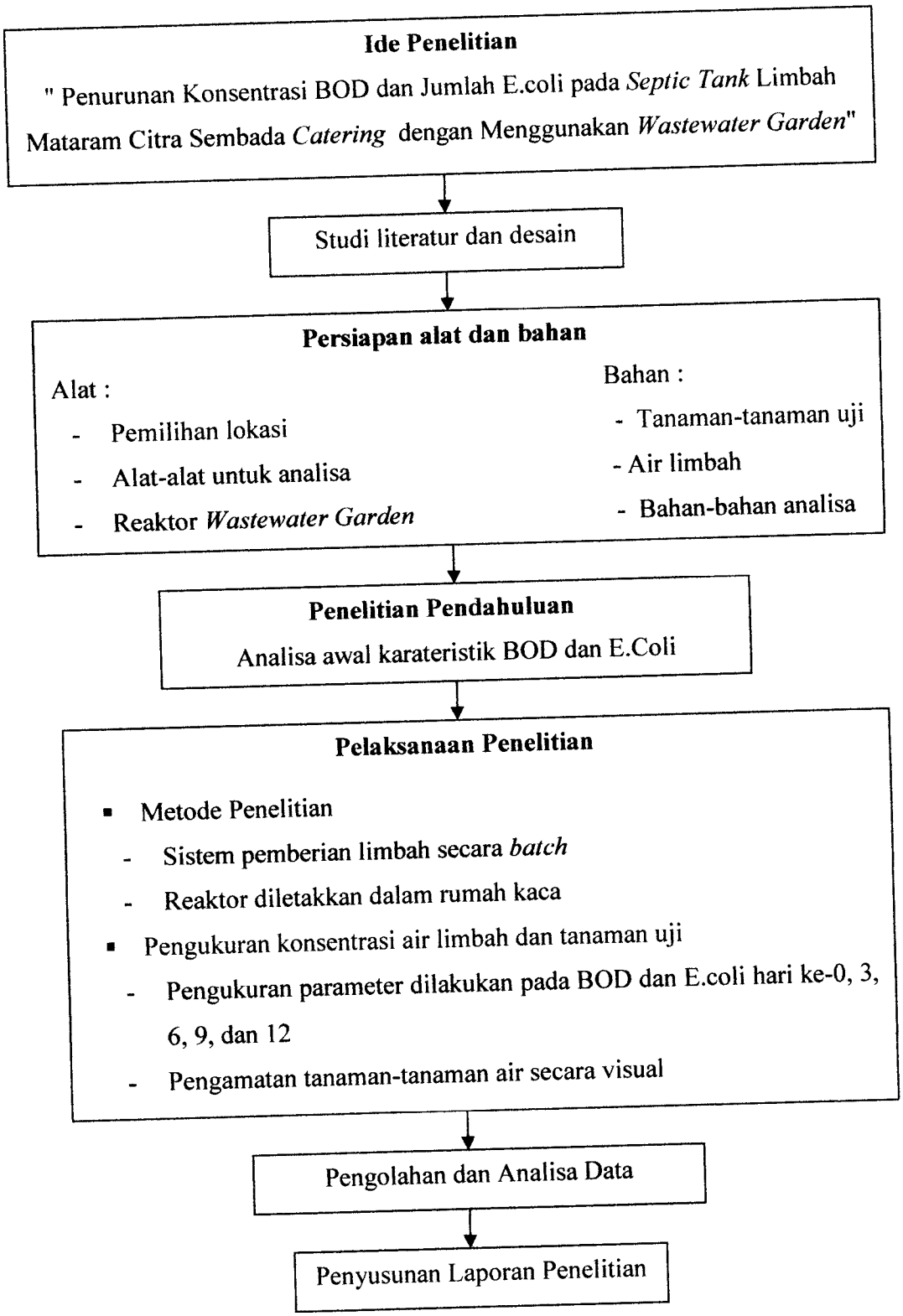
Parameter yang diteliti adalah *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Escherichia Coli* pada air limbah *septic tank* yang berasal dari Mataram Citra Sembada *Catering*.

3.4. Waktu penelitian

Waktu penelitian dilakukan selama 8 bulan, yaitu dimulai dari bulan September 2006 sampai dengan bulan April 2007, yang terdiri dari persiapan penelitian, penanaman tanaman pada reaktor, pengambilan sampel air limbah, pemeriksaan di laboratorium, analisa data serta penyusunan laporan akhir.

3.5. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian menunjukkan rangkaian proses penelitian, mulai dari menemukan ide penelitian sampai pada analisa, pembahasan dan kesimpulan. Adapun kerangka penelitian untuk tugas akhir ini dapat dilihat pada diagram alir penelitian yaitu pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.6. Reaktor *Wastewater Garden*

3.6.1. Desain Wastewater Garden

Perencanaan pembuatan reaktor *wastewater garden* yang akan digunakan dalam penelitian, meliputi :

a. Tanaman dalam reaktor

Tanaman yang digunakan sebanyak 6 jenis, yaitu melati air *(Echinodorus paleaflius)*, cyperus papyrus *(Cyperus papyrus)*, Futoi *(Hippochaetes lymnenalis)*, pisang-pisangan *(Holicoinas rostrata)*, pickerel rush *(Pontedoria cordata)* dan cattail (*Typha latifolia*). Masing-masing berjumlah 5 buah.

b. Media kerikil

Kerikil yang digunakan berdiameter 0,8-1 cm. Pemberian kerikil pada reaktor setinggi 0,8 m.

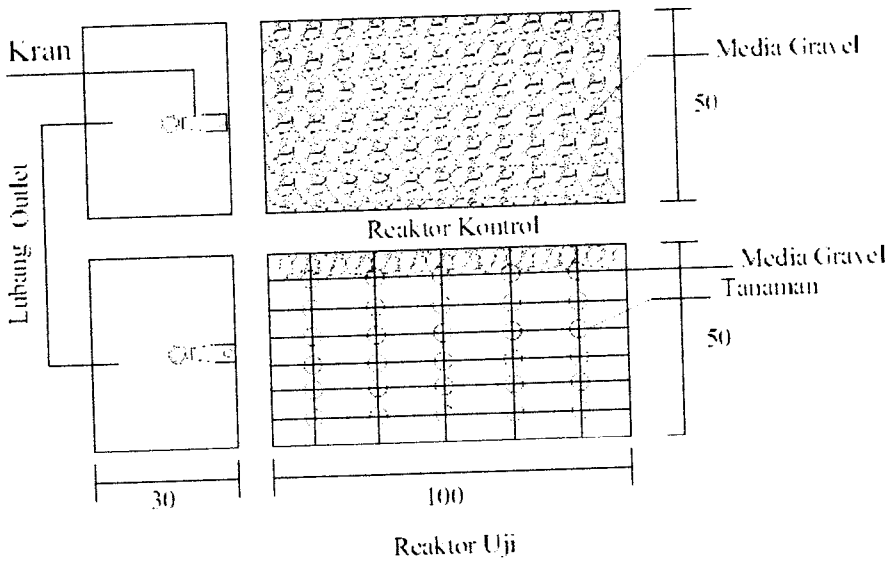
3.6.2. Dimensi reaktor

Adapun perhitungan dimensi reaktor *wastewater garden* adalah sebagai berikut :

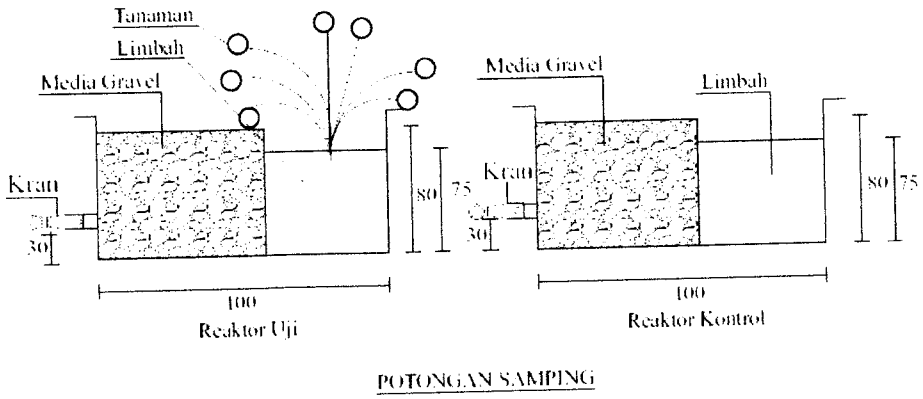
Tabel 3.1 Perhitungan Dimensi Reaktor *Wastewater Garden*

Dimensi	Simbol	Hasil Perhitungan	Satuan	Persamaan yang digunakan
Waktu detensi	td		hr	
Kemiringan	s		m/m	
Ketinggian air	d	0.75	m	
Tebal substrat	h	0.80	m	
Freeboard	fb	0.30	m	
Debit	Q	6000	L/Hr	
Volume basah	Vb	0.375	m^3	
Luas area	A	0.5	m^2	Vb/d
Lebar : Panjang	W : L			
Lebar	W	0.50	m	A = L x W
Panjang	L	1	m	2 x W
Volume reactor	Vr	0.925	m^3	A x (d + h + fb)

(Sumber : Hasil perhitungan)



TAMPAK ATAS



Gambar 3.2 Reaktor tampak atas dan potongan samping

3.6.3. Pembuatan Reaktor *Wastewater Garden*

Pembuatan reaktor menggunakan alat dan bahan sebagai berikut :

1. Alat

Alat-alat yang dipergunakan meliputi :

a. Kayu penyangga
b. Pipa
c. Palu
d. Paku
e. Cangkul
f. Gergaji
g. Lem paralon
h. Isolasi
i. SockGrat/sambungan
j. Kran

2. Bahan

Bahan-bahan yang dipergunakan meliputi :

a. Kerikil
b. Plastik kedap air
c. Seng plastik
d. Bambu
e. Triplek
f. Terpal kedap air
g. Tanaman air
h. Limbah *septic tank*

3.7. Pelaksanaan Penelitian

3.7.1. Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian meliputi pembuatan reactor dan persiapan tanaman-tanaman air yang akan digunakan.

a. Pembuatan reaktor

Reaktor ditanam di dalam tanah dan untuk menghindari air hujan maka reaktor diberi atap dari seng plastik. Cara kerja pembuatan reaktor adalah sebagai berikut :

1. Persiapan rumah tanaman, berfungsi untuk menghindari masuknya air hujan dan juga mengurangi intensitas cahaya matahari secara langsung.
2. Reaktor yang digunakan dalam penelitian berjumlah 2 buah, terdiri dari :
   a. Reaktor uji, dialiri air limbah dengan konsentrasi 100 %, diberikan media kerikil serta ditanami dengan tanaman-tanaman air.

b. Reaktor kontrol, dialiri air limbah dengan konsentrasi 100 %, diberikan media kerikil dan tidak ditanami tanaman-tanaman air.

3. Untuk pembuatan reaktor di dalam tanah, dilakukan penggalian tanah dengan ukuran 1 m x 0,5 m x 1 m.
4. Sebelum dilapisi dengan terpal kedap air, dibuat kerangka reaktor berbahan triplek dengan ukuran 1 m x 0,5 m x 1 m. Pembuatan kerangka reaktor ini bertujuan agar terhindar dari hewan-hewan yang ada di dalam tanah dan batuan-batuan yang dapat merusak dan merobek lapisan kedap air (terpal dan plastik). Dibuat pula lubang *effluent* dengan diameter ½ inchi dan dengan jarak 30 cm dari bagian dasar kerangka. Pembuatan lubang *effluent* dengan jarak 30 cm ini bertujuan agar pengambilan sampel dapat tetap dilakukan selama 12 hari, walaupun terjadi *evaporation* yang tinggi.
5. Kemudian, reaktor dilapisi dengan terpal kedap air dan untuk mengurangi resiko kebocoran, reaktor dilapisi lagi dengan plastik kedap air.
6. Agar terhindar dari masuknya air hujan kedalam reaktor, maka disekeliling reaktor dibuat parit.

b. Persiapan tanaman

Tanaman yang dipergunakan adalah tanaman-tanaman air. Tanaman-tanaman tersebut tidak dipengaruhi oleh umur tanaman, disebabkan karena pada penelitian ini tidak dilakukan penanaman dari awal, sehingga tidak diketahui jelas berapa umur tanaman yang dipergunakan. Tanaman-tanaman yang dipergunakan meliputi melati air, pickerel rush, cattail, futoi, pisang-pisangan dan cyperus papyrus. Masing-masing tanaman berjumlah 6 buah sehingga jumlah tanaman keseluruhan yang akan dipergunakan adalah 30 buah. Tanaman-tanaman tersebut akan ditanam di dalam reaktor dengan jarak 15 x 8 cm.

3.7.2. Pelaksanaan Penelitian

Setelah reaktor telah terpasang dan tidak lagi terdapat kebocoran, maka selanjutnya dapat melaksanakan penelitian.

1. Reaktor yang telah terpasang, diisi dengan media kerikil hingga setengahnya.
2. Limbah yang berasal dari *septic tank* Mataram Citra Sembada Catering diambil dengan ember (ditimba) dan dimasukkan ke dalam jirigen.
3. Air limbah domestik yang berasal dari *septic tank*, dimasukkan kedalam masing-masing reaktor.
4. Pengisian air limbah kedalam reaktor dilakukan setinggi 75 cm.

5. Kemudian, reaktor diisi kembali dengan kerikil setinggi 80 cm. Pastikan air limbah berada dibawah permukaan kerikil.
6. Mengambil sampel limbah untuk diperiksa kadar dari perameter BOD dan E.Coli pada outlet reaktor.

3.7.3. Proses Sampling

1. Proses ini dilakukan dari hari ke-0 hingga 12 hari kemudian.
2. Sebelumnya dilakukan pemeriksaan awal pada limbah cair *septic tank* parameter BOD dan E.coli.
3. Selama 12 hari setiap 3 hari sekali, yaitu pada hari ke-0 , 3 , 6 , 9 dan 12, dilakukan pengambilan sampel untuk pemeriksaan konsentrasi BOD dan E.coli.
4. Sampel diambil dari 2 titik yaitu outlet reactor uji dan outlet reactor kontrol. Titik sampling yang diambil dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Outlet reactor kontrol (sebelah kiri) dan reaktor uji (sebelah kanan)

3.8. Analisa Kualitas Air Limbah

3.8.1. Analisa BOD

Keluaran dari reaktor *wastewater garden* dan reaktor kontrol dianalisa di Laboratorium Teknik Lingkungan UII Yogyakarta. Prinsip pengukuran BOD, pegukuran terdiri dari pengeceran sampel, inkubasi selama 5 hari pada suhu 20° C dan pengukuran oksigen terlarut sebelum dan sesudah inkubasi. Penurunan oksigen terlarut selama inkubasi menunjukkan banyaknya oksigen yang dibutuhkan oleh sampel air. Oksigen terlarut dianalisis dengan menggunakan metode titrasi winkler sesuai dengan Metode Pengujian Kadar Kebutuhan Oksigen Biokimiawi Dalam Air, SK SNI M-10-1990-K.

3.8.2. Analisa Eschericia coli

Untuk *E.Coli* menggunakan standar uji *American Public Health Association* (APHA) 9221-B Ed. 20-1998 .

3.9. Analisa Data

Setelah dilakukan pemeriksaan parameter maka untuk mengetahui efisiensi penurunan kadar *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *E.coli* maka dihitung efisiensinya dengan membandingkan inlet dan outlet dan dinyatakan dalam persen.

Perhitungan efisiensi :

$$E = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\% \qquad \text{.....(3.1)}$$

Dimana :

E = Efisiensi

C_1 = Kadar BOD dan *E.Coli* sebelum *treatment*

C_2 = Kadar BOD dan *E.Coli* sesudah *treatment*

Setelah itu, data yang telah diperoleh akan diolah dengan uji statistik. Dari penelitian ini tergolong analisis lebih dari dua variabel sehingga menggunakan *Uniavarate Analisis of Variance* (UNIANOVA), dengan tingkat signifikansi (α) = 0,05 menggunakan software SPSS 10 ; yang diawali dengan *Test Between-Subjects Factors* dengan tujuan untuk melihat jumlah data antara 2 faktor. Untuk *Test Between-Subjects Factors*, digunakan hipotesa :

H_0 = Tidak ada pengaruh waktu detensi/media terhadap perubahan konsentrasi yang diuji.

H_1 = Ada pengaruh waktu detensi/media terhadaqp perubahan konsentrasi yang diuji.

Dengan dasar pengambilan keputusan :

- $\alpha > 0,05$, maka H_0 diterima.
- $\alpha < 0,05$, maka H_0 ditolak.

3.10. Analisa Pertumbuhan Tanaman

Pada tanaman juga dilakukan pengamatan, pengamatan dilakukan secara visual terhadap tanaman uji yaitu keadaan tanaman dari hari ke-0,3,6,9 dan 12. Akan tetapi untuk menyakinkan keakuratan pengamatan visual maka dilakukan pengukuran tingkat pertumbuhan yaitu panjang daun, lebar daun, tinggi tanaman dan banyaknya daun. Hasil pengamatan ini hanya dipergunakan sebagai data pendukung. Sedangkan, pengamatan sesungguhnya adalah pengamatan terhadap tingkat efisiensi dari sistem yang dipergunakan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

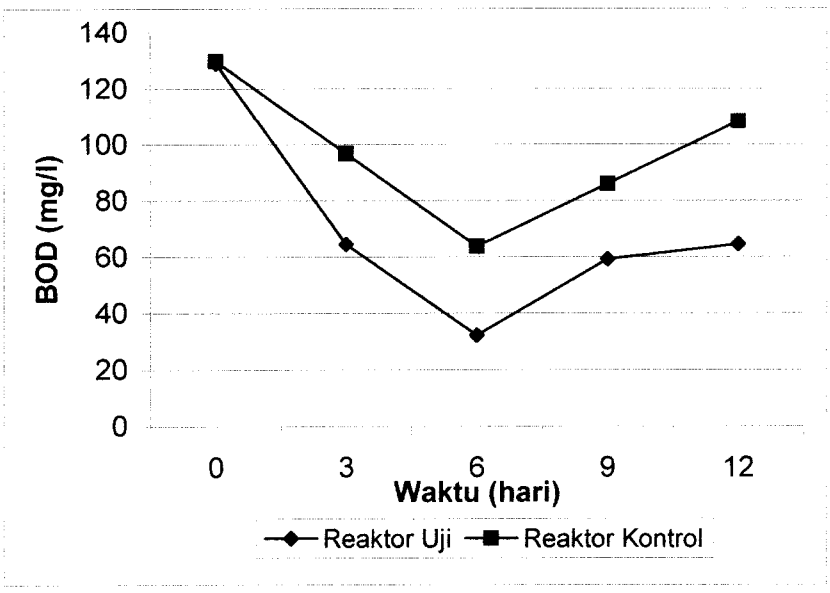
Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui penurunan konsentrasi BOD dan E.coli pada limbah cair *septic tank* Mataram Citra Sembada *Catering* dengan *wastewater garden,* menggunakan 6 jenis tanaman air yaitu melati air *(Echinodorus paleaflius),* cyperus papyrus *(Cyperus papyrus),* Futoi *(Hippochaetes lymnenalis),* pisang-pisangan *(Holicoinas rostrata),* pickerel rush *(Pontedoria cordata)* dan cattail (*Typha latifolia*).

Penelitian diawali dengan membuat reaktor yang ditanam di dalam tanah, berukuran 1m x 0,5 m x 1 m, dilapisi dengan triplek, terpal dan plastik, yang bertujuan agar kedap air. Reaktor terdiri dari reaktor uji (dengan tanaman, media kerikil dan limbah 100 %) dan reaktor kontrol (tanpa tanaman, media kerikil dan limbah 100 %). Dalam reaktor uji terdapat 30 buah tanaman air, yang tiap jenis tanaman terdapat 5 buah dalam reaktor dengan jarak tanam 15 cm x 8 cm. Setiap 3 hari sekali selama 12 hari, air limbah diambil untuk dianalisis di laboratorium kualitas air Teknik Lingkungan.

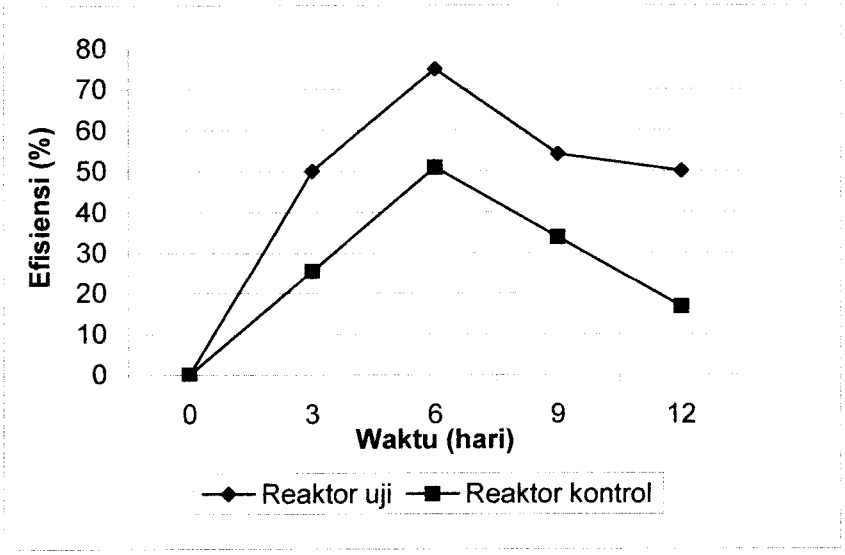
4.1. Analisa Kualitas Limbah Cair

4.1.1. *Biological Oxygen Demand* (BOD)

Biological Oxygen Demand (BOD) adalah banyaknya oksigen terlarut yang digunakan mikroorganisme untuk mengoksidasi bahan organik secara biokimia dalam air (Metcalf and Eddy, 1991). BOD menunjukkan jumlah oksigen yang dikonsumsi oleh proses respirasi mikroba aerob yang terdapat dalam botol BOD yang di inkubasi pada suhu sekitar 20° C selama 5 hari, dalam keadaan tanpa cahaya (Effendi, 2003). Pada penelitian ini, pengujian BOD dilakukan setiap 3 hari sekali selama 12 hari, dengan mengambil titik sampel pada outlet saja. Berikut ini merupakan hasil analisa dan efisiensi penurunan konsentrasi BOD pada kedua reaktor :



Gambar 4.1. Konsentrasi *Biological Oxygen Demand* (BOD)



Gambar 4.2. Efisiensi *Biological Oxygen Demand* (BOD)

Hasil penelitian dari pengolahan limbah cair *septic tank* industri *catering* dengan menggunakan sistem *wastewater garden* ini, menunjukkan terjadi penurunan konsentrasi air limbah dengan menggunakan dua perlakuan, yaitu reaktor uji, dengan tanaman dan diberikan limbah 100 % dan reaktor kontrol, tanpa tanaman dan diberikan limbah 100 %. Antara kedua perlakuan tersebut mempunyai kemampuan yang berbeda dalam menurunkan konsentrasi BOD.

Berdasarkan Gambar 4.1, menunjukkan bahwa untuk reaktor uji, dengan tanaman dan diberikan limbah 100 % mengalami penurunan konsentrasi yaitu sebesar 74,99 % dengan konsentrasi awal limbah 129,03 mg/l menjadi 32,25 mg/l pada hari ke-6. Proses penurunan konsentrasi limbah *septic tank* ini dilakukan oleh adanya peranan dari aktivitas mikroorganisme dan tanaman-

tanaman air dalam reaktor *wastewater garden*. Selain hal tersebut, terdapat faktor lain yang mendukung proses penguraian bahan organik yaitu oksigen. Oksigen dibutuhkan untuk menguraikan bahan organik karbon yang terkandung dalam limbah, secara aerobik, oleh mikroorganisme. Suplai oksigen dalam reaktor uji diperoleh dari proses fotosintesis tanaman, proses difusi dari atmosfer ke permukaan air dan translokasi oksigen menuju lapisan rhizosphere (Merz,2000).

Limbah cair berasal dari *septic tank*, yang kemungkinan masih terjadi dekomposisi limbah secara anaerobic. Sehingga saat berada di reaktor, masih terjadi penguraian secara anaerobik pada hari ke-0, hal ini dapat diketahui dari bau yang tercium. Saat limbah berada didalam reaktor, limbah akan kontak (bersentuhan) dengan media (*gravel*) dan akar tanaman. Bakteri-bakteri akan berkumpul dan berkembang biak pada *gravel* dan akar tanaman tersebut, sehingga jumlahnya cukup untuk meremoval bahan-bahan organik yang terdapat pada limbah (Kristanto,2002).

Proses penurunan BOD terjadi pada hari ke-0 hingga hari ke-6. Hal ini disebabkan karena penguraian bahan organik oleh bakteri. Penguraian tersebut terjadi secara anaerob dan aerob dalam reaktor uji. Pada proses aerobik proses penguraian bahan organik karbon berlangsung cepat dan terjadi proses mineralisasi bahan organik secara sempurna. Sedangkan pada proses anaerobik, bahan organik diremoval oleh bakteri tanpa membutuhkan bantuan oksigen.

Penguraian bahan organik secara aerob :

$$\text{Bahan organik} + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O \quad \text{.....(4.1)}$$

Penguraian bahan organik secara anaerob :

$$\text{Bahan organik} \rightarrow CO_2 + H_2O + H_2S + NH_3 + CH_4 \quad \text{.....(4.2)}$$

Untuk meremoval bahan organik, diperlukan kerjasama antara tanaman dan mikroorganisme didalam *wetland cell*. Proses respirasi mikroorganisme menghasilkan karbondioksida, air dan energi, yang akan digunakan oleh tanaman untuk proses fotosintesis. Karbohidrat dan oksigen yang dihasilkan dari proses fotosintesis dimanfaatkan kembali oleh mikroorganisme untuk menguraikan kembali bahan organik yang tersisa. Demikian seterusnya hubungan simbiosis mutualisme antara mikroorganisme dengan tanaman.

Proses fotosintesis oleh tanaman :

$$6CO_2 + 6H_2O + \text{Energi} \xrightarrow{\text{Sinar matahari}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \quad \text{.....(4.3)}$$

Proses respirasi mikroorganisme :

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{Energi} \quad \text{.....(4.4)}$$

Pada hari ke-6 hingga hari ke-12 terjadi penurunan efesiensi yaitu sebesar 50,02 %. Dengan konsentrasi dari hari ke-6 yaitu 32,25 mg/l menjadi 64,48 mg/l pada hari ke-12. Hal ini kemungkinan disebabkan karena nitrifikasi yang terjadi saat dekomposisi bahan organik. Menurut Delzer dan

McKenzie (2003), untuk beberapa air buangan, khususnya keluaran dari *Wastewater Treatment Plants* yang menggunakan proses pengolahan biologi, nitrifikasi dapat terjadi kurang dari 5 hari jika bakteri ammonia, nitrit dan pengnitrifikasi hadir. Nitrifikasi dalam *wetlands* dapat terjadi secara siklus alami, yang disebabkan adanya aktivitas dari mikroorganisme dalam menguraikan bahan makanannya. Nitrifikasi ini juga memerlukan oksigen, sehingga mengurangi oksigen untuk mengoksidasi bahan organik. Hal tersebut dapat meningkatkan konsentrasi BOD (Alaert dan Santika, 1984). Limbah cair pada umumnya tertahan di dalam *septic tank* selama 2-3 hari dan di dalam *wastewater garden* selama 5-7 hari, selama waktu dimana limbah cair diolah dan dimurnikan oleh tanaman dan mikroorganisme alami (Nelson, Tredwell, Czech, Gove, Made, Cattin, 2006). Sehingga, dapat dilihat diatas, bahwa waktu optimum penurunan limbah yaitu pada hari ke-6.

Berdasarkan Keputusan KepMenLH No.112 tahun 2003 tentang pedoman penetapan Baku Mutu Limbah Domestik, menyatakan bahwa batas maksimum kandungan BOD adalah 100 mg/l. Dari parameter BOD ini, dapat dilihat bahwa keluaran dari reaktor *wastewater garden* telah memenuhi baku mutu yang ditetapkan.

Penelitian yang dilakukan oleh MPL laboratorium, Perth untuk analisa kualitas air keluaran *wastewater garden* di Birdwood Downs homestead, Derby, Australia barat, dengan luas 8 m^2, juga menunjukkan penurunan BOD

hingga 95 % dengan jumlah awal 241 mg/l menjadi 12 mg/l. Tanaman yang dipergunakan adalah heliconia (*bird of paradise*), canna lilies, pandanus palm, coconut palm, plantain, 2 tipe dari *elephant ear*: papyrus and oleander. Kualitas air yang dihasilkan oleh *wastewater garden* berbeda-beda tergantung dari desain, letak lokasi dan tanaman yang dipergunakan (muda atau dewasa) (Nelson,Tredwell,Czech,Depuy,Suraja,Cattin,2006).

Pada Gambar 4.1, terlihat pula penurunan konsentrasi BOD pada reaktor kontrol yaitu sebesar 50,92 % dengan konsentrasi awal limbah 129,8323 mg/l menjadi 63,7161 mg/l pada hari ke-6. Penurunan konsentrasi BOD ini karena adanya peranan dari mikroorganisme saja. Adanya bakteri pengurai yang melekat pada media kerikil menyebabkan terjadinya penguraian bahan organik dalam limbah. Pertumbuhan melekat (*attached growth*) merupakan proses pengolahan secara biologi, dimana pertumbuhan melekat dapat membentuk lapisan biofilm untuk melekatkan mikrooganisme sehingga dapat tumbuh di atas media pendukung. Penguraian ini dapat terjadi secara aerobik dan anaerobik. Pada hari ke-6 hingga hari ke-12 terjadi penurunan efesiensi yaitu sebesar 16,63 %. Dengan konsentrasi dari hari ke-6 yaitu 63,7161 mg/l menjadi 108,2371 mg/l pada hari ke-12. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh nitrifikasi pula, seperti yang terjadi dalam reaktor uji..

Perbedaan efisiensi antara reaktor uji (dengan tanaman) dan reaktor kontrol (tanpa tanaman) dalam menurunkan konsentrasi BOD dalam limbah

cair *septic tank* pada penelitian ini, dapat dilihat pada pada Gambar 4.2. Efisiensi optimum penurunan BOD pada reaktor uji terjadi pada hari ke-6 yaitu sebesar 74.99 %, sedangkan pada reaktor kontrol juga terjadi pada hari ke-6 yaitu sebesar 50.92 %. Reaktor uji dengan tanaman berperan lebih besar dalam penurunan konsentrasi BOD, dibanding dengan reaktor kontrol tanpa tanaman. Dengan bantuan tanaman, bahan organik karbon dapat teremoval lebih cepat karena tidak hanya bakteri saja yang menguraikan bahan organik, melainkan tanaman juga sangat membantu. Sedangkan pada reaktor kontrol yang berperan dalam meremoval bahan organik hanya mikroorganisme saja.

Tabel 4.1 Tabel Tests of *Between-Subjects Effects* konsentrasi BOD

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: BOD

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	8835.396	5	1767.079	13.932	.012
Intercept	69563.240	1	69563.240	548.449	.000
MEDIA	1823.224	1	1823.224	14.375	.019
WAKTU	7012.172	4	1753.043	13.821	.013
Error	507.345	4	126.836		
Total	78905.981	10			
Corrected Total	9342.741	9			

a R Squared = .946 (Adjusted R Squared = .878)

Analisa statistik, dengan menggunakan *Tests of Between-Subjects Effects* digunakan hipotesa :

H_0 = Tidak ada pengaruh waktu detensi/media terhadap perubahan konsentrasi yang diuji.

H_1 = Ada pengaruh waktu detensi/media terhadap perubahan konsentrasi yang diuji.

Dengan dasar pengambilan keputusan :

- $\alpha > 0,05$, maka H_0 diterima. - $\alpha < 0,05$, maka H_0 ditolak.

Tests of Between-Subjects Effects konsentrasi BOD terhadap waktu detensi diperoleh F hitung 13,821 dengan signifikansi 0,013. Oleh karena, probabilitas < 0,05 maka H_0 ditolak, ini berarti waktu detensi mempunyai pengaruh terhadap penurunan konsentrasi BOD. Hal tersebut, dapat juga dilihat dari hasil pengujian laboratorium yang menunjukkan penurunan. Dengan waktu detensi yang lama, akan memberikan kesempatan kontak yang lebih lama antara mikroorganisme yang tumbuh menempel pada tanaman, oksigen yang dikeluarkan oleh akar tanaman dan air limbah. Oksigen ini membantu mikroorganisme untuk menguraikan limbah, sehingga konsentrasi BOD dapat mengalami penurunan. *Test of Between-Subjects Effects* konsentrasi BOD terhadap media, diperoleh F hitung 14,375 dengan signifikansi 0,019. Oleh karena, probabilitas < 0,05 maka H_0 ditolak, ini berarti media mempunyai pengaruh terhadap penurunan konsentrasi BOD. Dapat diambil kesimpulan, bahwa adanya tanaman di reaktor memiliki pengaruh terhadap perubahan konsentrasi bahan organik dalam reaktor. Karena tanaman dalam reaktor dimanfaatkan oleh mikroorganisme untuk tumbuh dan berkembang biak serta

dapat mentransfer oksigen melalui akar, hal itu membantu penurunan konsentrasi BOD.

4.1.2. Jumlah Escherichia coli

Bakteri-bakteri patogen ada bermacam-macam dan konsentrasinya agak rendah, hal ini menyebabkan bakteri-bakteri tersebut susah dideteksi. Analisa mikrobiologi untuk bakteri tersebut berdasarkan "organisme petunjuk" (Bioindicator). Bakteri–bakteri ini menujukkan adanya pencemaran oleh tinja manusia dan hewan berdarah panas, dan mudah dideteksi. Apabila organisme petunjuk tersebut ditemukan dalam sampel air, berarti air tersebut mengandung bakteri patogen. Bakteri jenis *Escherichia Coli* merupakan petunjuk yang paling efesien, karena *E.coli* tersebut hanya dan selalu terdapat dalam tinja. Pengujian E.coli dilakukan setiap 3 hari sekali, dengan mengambil titik sampel pada outlet saja. Berikut ini merupakan hasil analisa jumlah E.coli dan efisiensi penurunannya:

uji, dengan tanaman dan diberi limbah 100% dan reaktor kontrol, tanpa tanaman dan diberi limbah 100 %. Kedua reaktor menggunakan media yang sama yaitu *gravel* (kerikil). Antara dua perlakuan tersebut mempunyai kemampuan yang berbeda dalam menurunkan jumlah E.coli.

Berdasarkan Gambar 4.3, menunjukkan terjadinya penurunan jumlah E.coli pada reaktor uji dan kontrol. Pada reaktor uji, E.coli mengalami penurunan sebesar 93,88 %, dengan jumlah awal yaitu >1898 E.coli menjadi 116 E.coli, pada hari ke-12. Penurunan jumlah E.coli dikarenakan adanya peranan dari mikroorganisme, media *gravel* dan tanaman-tanaman air yang dipergunakan. Pada proses fisik, E.coli yang terkandung dalam limbah cair *septic tank* saat berada dalam reaktor mengalami filtrasi (penyaringan). E.coli akan tersangkut dan tersaring oleh media *gravel* dan struktur akar tanaman air yang memiliki akar serabut. Hal ini, menyebabkan jumlah E.coli dapat berkurang. Selain itu, E.coli dapat mengalami *adherence* (pelekatan), yang mana bakteri patogen/virus akan melekat pada akar dan mati. Penurunan E.coli dapat juga disebabkan karena sedimentasi, E.coli bergabung dengan padatan lainnya dan jatuh ke dasar reaktor untuk mati. E.coli juga mengalami *adsorption* oleh *gravel* dan akar tanaman yang menyebabkan penurunan jumlahnya. Pada proses biologi, penurunan E.coli dapat terjadi karena *predation* yaitu pemakanan oleh mikroorganisme predator. Hal ini disebabkan mikroorganisme mengkonsumsi bakteri-bakteri patogen, yang mana jumlah

mikroorganisme tersebut jauh lebih banyak dibanding E.coli, sehingga E.coli akan lenyap atau terserang oleh mikroorganisme predation. Adapun yang termasuk dalam mikroorganisme predator yaitu protozoa, amouba dan invertebrata. E.coli juga akan mengalami kematian secara alami (*natural die-off*) yang menyebabkan pengurangan jumlahnya. Akibat dari kompetisi dalam memperebutkan makanan, maka mikroorganisme yang jumlahnya lebih sedikit, dalam hal ini yaitu E.coli, akan kalah dalam kompetisi dan akan mengalami kematian karena tidak mendapatkan makanan. Adapun dalam proses kimia, kemungkinan E.coli mengalami penurunan karena kebocoran oksigen yang berasal dari akar yang dapat merusak dinding sel bakteri, akibat dari asam tannic/gallic (*anti bacterial*) yang dihasilkan oleh tanaman dan akibat dari antibiotik milik bakteri yang tinggal pada daerah *rhizosphere* di akar (Clark, 2004).

Penelitian yang dilakukan oleh MPL laboratorium, Perth untuk analisa kualitas air keluaran *wastewater garden* di Birdwood Downs *homestead*, Derby, Australia barat, dengan luas 8 m^2, juga menunjukkan penurunan E.coli hingga 98,2 % dengan jumlah awal 6,285,000 menjadi 116,000. Tanaman yang dipergunakan adalah heliconia (*bird of paradise*), canna lilies, pandanus palm, coconut palm, plantain, 2 tipe dari elephant ear: papyrus and oleander. Kualitas air yang dihasilkan oleh *wastewater garden* berbeda-beda tergantung

dari desain, letak lokasi dan tanaman yang dipergunakan (muda atau dewasa) (Nelson,Tredwell,Czech,Depuy,Suraja,Cattin, 2006).

Pada Gambar 4.2, terlihat pula terjadi penurunan jumlah E.coli pada reaktor kontrol sebesar 89,98 %, dengan jumlah awal yaitu >1898 E.coli menjadi 190 E.coli, pada hari ke-3 hingga hari ke-12. Pada hari ke-0 hingga hari ke-3, E.coli belum terjadi penurunan disebabkan masih banyak tersedianya makanan (bahan organik). Kemudian, pada hari ke-3 hingga hari ke-12 terjadi penurunan. Penurunan tersebut terjadi dikarenakan adanya peranan dari mikroorganisme dan media gravel saja. Proses yang terjadi merupakan proses fisik dan biologi. Pada proses fisik, E.coli yang terkandung dalam limbah cair *septic tank* saat berada dalam reaktor kontrol akan mengalami filtrasi (penyaringan). E.coli akan tersangkut dan tersaring oleh media gravel. Hal ini, menyebabkan jumlah E.coli dapat berkurang. Penurunan E.coli dapat juga disebabkan karena sedimentasi, E.coli bergabung dengan padatan lainnya dan jatuh ke dasar reaktor untuk mati. Pada proses biologi, penurunan E.coli dapat terjadi karena *predation* yaitu pemakanan oleh mikroorganisme predator. Hal ini disebabkan mikroorganisme mengkonsumsi bakteri-bakteri patogen, yang mana jumlah mikroorganisme tersebut jauh lebih banyak dibanding E.coli, sehingga E.coli akan lenyap atau terserang oleh mikroorganisme predation. Adapun yang termasuk dalam mikroorganisme predator yaitu protozoa, amouba dan invertebrata. E.coli juga

akan mengalami kematian secara alami (*natural die-off*) yang menyebabkan pengurangan jumlahnya. Akibat dari kompetisi dalam memperebutkan makanan, maka mikroorganisme yang jumlahnya lebih sedikit, dalam hal ini yaitu E.coli, akan kalah dalam kompetisi dan akan mengalami kematian karena tidak mendapatkan makanan.

Perbedaan efisiensi antara reaktor uji (dengan tanaman) dan reaktor kontrol (tanpa tanaman) dalam menurunkan jumlah E.coli dalam limbah cair *septic tank* pada penelitian ini, dapat dilihat pada Gambar 4.4. Efisiensi optimum penurunan jumlah E.coli pada reaktor uji, terjadi pada hari ke-12 yaitu sebesar 93.88 %, sedangkan pada reaktor kontrol terjadi pada hari ke-12 sebesar 89.98 %. Tanaman juga berperan dalam penurunan jumlah E.coli. Tanaman berperan sebagai filtrasi mekanik yaitu pada akar tanaman yang serabut, sebagai *adherence* (pelekatan), yang mana bakteri patogen/virus akan melekat pada akar dan mati. Penyebab lainya yaitu *adsorption*, akibat dari asam tannic/gallic (*anti bacterial*) yang dihasilkan oleh tanaman dan akibat dari antibiotik milik bakteri yang tinggal pada daerah *rhizosphere* di akar.

Tabel 4.2. Tabel *Tests of Between-Subjects Effects* jumlah E.coli

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: E.COLI

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4940628.500	5	988125.700	5.234	.067
Intercept	5710824.900	1	5710824.900	30.248	.005
MEDIA	335988.900	1	335988.900	1.780	.253
WAKTU	4604639.600	4	1151159.900	6.097	.045
Error	755205.600	4	188801.400		
Total	11406659.000	10			
Corrected Total	5695834.100	9			

a R Squared = .867 (Adjusted R Squared = .702)

Dari analisa statistik, dengan menggunakan *Tests of Between-Subjects Effects* digunakan hipotesa :

H_0 = Tidak ada pengaruh waktu detensi/media terhadap perubahan konsentrasi yang diuji.

H_1 = Ada pengaruh waktu detensi/media terhadap perubahan konsentrasi yang diuji.

Dengan dasar pengambilan keputusan :

- $\alpha > 0,05$, maka H_0 diterima.
- $\alpha < 0,05$, maka H_0 ditolak.

Tests of Between-Subjects Effects jumlah E.coli terhadap waktu detensi diperoleh Fhitung 6,097 dengan signifikansi 0,045. Oleh karena, probabilitas < 0,05 maka H_0 ditolak, ini berarti waktu detensi mempunyai pengaruh terhadap penurunan jumlah E.coli. Hal tersebut, dapat juga dilihat dari hasil pengujian laboratorium yang menunjukkan penurunan. Dengan waktu detensi yang lama,

akan memberikan kesempatan *gravel* dan akar tanaman sebagai media filtrasi, sehingga penurunan E.coli dapat terjadi. Selain itu, semakin lama waktu detensinya akan mengakibatkan kompetisi antar mikroorganisme dan mikroorganisme dengan populasi terendah akan kalah, dalam hal ini E.coli. *Test of Between-Subjects Effects* jumlah E.coli terhadap media, diperoleh Fhitung 1,780 dengan signifikansi 0,253. Oleh karena, probabilitas > 0,05 maka H_0 ditolak, ini berarti media tidak mempunyai pengaruh terhadap penurunan jumlah E.coli. Dapat diambil kesimpulan bahwa adanya tanaman di reaktor tidak memiliki pengaruh terhadap perubahan jumlah E.coli dalam reaktor. Hal ini dapat dilihat dari hasil efesiensi yang didapat, antara reaktor uji dan kontrol menunjukkan efisiensi yang hampir berdekatan, walaupun pada reaktor dengan tanaman menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi.

4.2. Analisa Pertumbuhan Tanaman dan Kondisi Air Limbah

Pada tanaman reactor uji dilakukan pengamatan, yang dilakukan secara visual. Akan tetapi, untuk menyakinkan keakuratan pengamatan visual maka dilakukan juga pengamatan dengan cara pengukuran, yang meliputi tingkat pertumbuhan (panjang daun, lebar daun, tinggi tanaman dan banyaknya daun). Hasil pengamatan ini hanya dipergunakan sebagai data pendukung. Sedangkan, pengamatan sesungguhnya adalah pengamatan terhadap tingkat efisiensi dari

sistem yang dipergunakan. Sedangkan pada kondisi limbah dilakukan pengamatan secara visual dan melalui penciuman

4.2.1. Analisa Pertumbuhan Tanaman

4.2.1.1. Analisa kuantitatif (pengukuran)

Hasil pengukuran terhadap tinggi tanaman, lebar daun, panjang daun, banyak daun dan banyak batang dapat dilihat pada tabel data pengukuran tanaman, pada lampiran.

4.2.1.2. Analisa kualitatif (visual)

Pada reaktor uji (*wastewater garden*) ini terdapat 6 jenis tanaman air yang dipergunakan yaitu melati air, cyperus, pisang-pisangan, pickerel rush, cattail dan futoi. Secara kualitatif analisa pertumbuhan tanaman dapat dilihat dari keadaan daun dan batangnya, baik itu berupa penambahan luas daun (panjang dan lebar), penambahan tinggi batang dan kondisi batang dan daun.

4.2.1.2.1 Kondisi pertumbuhan daun tanaman

Dari ke-6 jenis tanaman yang dipergunakan, yang memiliki daun hanya 3 jenis tanaman saja yaitu pisang-pisangan, melati air dan pickerel rush. Kondisi pertumbuhan daun pada tanaman yang berada di reaktor *wastewater garden* adalah sebagai berikut :

➢ Hari ke-0

Kondisi daun pada hari ke-0 masih normal. Daunnya tampak segar, hijau dan sehat.

➢ Hari ke-3

Kondisi daun pada hari ke-3 masih segar, hijau dan sehat. Ukuran daun yang terdiri dari panjang dan lebar daun, mengalami penambahan yang dapat dilihat pada table data pengukuran tanaman (lampiran). Hal ini disebabkan tanaman mendapatkan nutrisi dari limbah *septic tank*, yang banyak mengandung unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman.

➢ Hari ke-6

Kondisi daun pada hari ke-6 masih segar, hijau dan sehat. Ukuran daun yang terdiri dari panjang dan lebar daun, mengalami penambahan dari hari ke-3, yang dapat dilihat pada tabel data pengukuran tanaman (lampiran). Hanya saja, pada daun melati air terserang hama ulat, yang mengakibatkan daunnya berlubang.

➢ Hari ke-9

Kondisi daun pada hari ke-9 rata-rata masih segar, hijau dan sehat. Ukuran daun yang terdiri dari panjang dan lebar daun, mengalami penambahan dari ukuran hari ke-6, yang dapat dilihat pada table data pengukuran tanaman (lampiran). Salah satu dari kelima tanaman melati air yang dipergunakan pada reaktor daunnya terlihat layu. Tanaman

melati air tersebut memiliki 5 buah daun, dengan 2 buah daunnya terlihat layu dan berwarna kecoklatan. Sedangkan 3 buah daunnya yang lain masih tampak berwarna hijau. Hal ini kemungkinan disebabkan cara penanaman yang salah dan kurang mendapat nutrisi. Selain itu, tanaman yang berdaun layu tersebut memiliki fisik yang lebih kecil dan akar yang lebih pendek, dan terganggunya proses penyerapan unsur hara yang disebabkan batang dan akar tanaman tertimbun banyak kerikil. Selain itu, daun melati air yang terserang hama ulat pada hari ke-6, terlihat memiliki lubang semakin banyak.

- Hari ke-12

  Kondisi daun pada hari ke-9 rata-rata masih segar, hijau dan sehat. Satu batang melati air yang daunnya terlihat layu dan berwarna kecoklatan pada hari ke-9, akhirnya mati. Selain itu, daun melati air yang terserang hama ulat pada hari ke-6, terlihat memiliki lubang semakin banyak.

4.2.1.2.2. Kondisi pertumbuhan batang tanaman

Kondisi pertumbuhan batang pada tanaman yang berada di reaktor *wastewater garden* adalah sebagai berikut :

- Hari ke-0

  Kondisi batang pada hari ke-0 masih normal. Batangnya tampak segar, hijau dan sehat.

- Hari ke-3

  Kondisi batang pada hari ke-3 masih tampak segar, hijau dan sehat. Terjadi penambahan tinggi pada batang tanaman, yang dapat dilihat pada tabel data pengukuran tanaman (lampiran). Hal ini disebabkan tanaman mendapatkan nutrisi dari limbah *septic tank*, yang banyak mengandung unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman.

- Hari ke-6

  Kondisi batang pada hari ke-6 rata-rata masih tampak segar, hijau dan sehat. Terjadi penambahan tinggi pada batang tanaman dari ukuran hari ke-3, yang dapat dilihat pada tabel data pengukuran tanaman (lampiran).

- Hari ke-9

  Kondisi batang pada hari ke-9 rata-rata masih tampak segar, hijau dan sehat. Terjadi penambahan tinggi pada batang tanaman dari ukuran hari ke-6, yang dapat dilihat pada tabel data pengukuran tanaman (lampiran). Akan tetapi, salah satu dari kelima tanaman melati air yang dipergunakan pada reaktor, daunnya terlihat kecoklatan. Tanaman melati air tersebut memiliki 5 buah batang, dengan 2 buah batangnya

terlihat layu dan berwarna kecoklatan, sedangkan ke-3 batang lainnya masih terlihat hijau. Hal ini kemungkinan disebabkan cara penanaman yang salah dan kurang mendapat nutrisi.

- Hari ke-12

  Kondisi batang pada hari ke-12 rata-rata masih segar, hijau dan sehat. Satu batang melati air yang daunnya terlihat layu dan berwarna kecoklatan pada hari ke-9, akhirnya mati .

4.3.2. Kondisi Air Limbah

Kondisi limbah pada reaktor uji dan kontrol adalah sebagai berikut :

Tabel 4.3. Kondisi Air Limbah pada Reaktor Uji

Hari ke-	Kondisi Air Limbah pada Reaktor Uji		
	Kondisi Air	Bau	Warna
0	Sudah terjadi pembusukan	Berbau menyengat	Putih keruh
3	Terjadi pembusukan	Berbau, tidak menyengat	Putih keruh
6	Terjadi pembusukan	Berbau	Agak bening
9	Terjadi pembusukan	Agak bau	Bening
12	Terjadi pembusukan	Tidak berbau	Bening

Tabel 4.4. Kondisi Air Limbah pada Reaktor Kontrol

Hari ke-	Kondisi Air Limbah pada Reaktor Kontrol		
	Kondisi Air	Bau	Warna
0	Sudah terjadi pembusukan	Berbau menyengat	Putih keruh
3	Terjadi pembusukan	Berbau, tetapi tidak menyengat	Putih keruh
6	Terjadi pembusukan	Berbau	Agak keruh
9	Terjadi pembusukan	Agak bau	Agak bening
12	Terjadi pembusukan	Tidak berbau	Agak bening

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan yang mengacu pada tujuan penelitian, yaitu :

1. Pengolahan limbah cair *septic tank* industri catering dengan menggunakan *wastewater garden* mampu menurunkan konsentrasi BOD dengan efisiensi optimum sebesar 74,99 %, pada hari ke-6 dan menurunkan jumlah E.coli dengan efisiensi optimum sebesar 93,88 %, pada hari ke-12.
2. Waktu detensi mempengaruhi pengolahan air limbah, karena dengan waktu detensi yang cukup akan memberikan kontak lebih lama antara mikroorganisme, oksigen yang dikeluarkan akar tanaman dan air limbah. Waktu detensi optimum terjadi pada hari ke-6 untuk BOD dan hari ke-12 untuk E.coli.
3. Fenomena yang terjadi di dalam *wastewater garden* dalam menurunkan BOD dan jumlah E.coli adalah tanaman, mikroorganisme dan media *gravel* berperan dalam mentransfer oksigen yang diperlukan mikroorganisme dan penyerap unsur hara yang terkandung dalam limbah, sebagai pengurai limbah dan media filtrasi.

5.2. Saran

Saran untuk penelitian berikutnya adalah :

1. Perlu dilakukan kajian lebih lanjut tentang kemampuan tanaman-tanaman yang dapat digunakan di dalam wa*stewater garden* untuk menyerap dan menurunkan konsentrasi limbah domestik.
2. Perlu diperhatikannya faktor lingkungan yang dapat menggangu kerja sistem *wastewater garden* saat mengolah limbah.
3. Untuk penelitian selanjutnya, mengenai pemanfaatan *wastewater garden* sebagai pengolah limbah, agar menggunakan tanaman dengan jenis yang berbeda dan jumlahnya lebih banyak, serta jarak tanaman yang lebih rapat, untuk menyempurnakan pengolahan limbah cair industri *catering*. Selain itu penggunaan *wastewater garden* ini dapat juga digunakan untuk penelitian pengolahan limbah industri lainnya.
4. Disarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut tentang bakteri yang berperan dalam *wastewater garden*, dalam proses pengolahan limbah cair industri catering.

DAFTAR PUSTAKA

Alaerts G., dan S.S Santika., 1984, *Metode Penelitian Air,* Usaha Nasional, Surabaya.

Anonim, 2004, *Holiconia*, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Heliconia

Anonim, 2006, *Typha*, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Typha.

Anonim, 2004, *Echinodorus*, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Echinodorus.

Anonim, 2004, *Gallic Acids*, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Gallic_acid.

Anonim, 2004, *Tannic Acids*, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Tannic_acid.

Arceivala, 2001, *Wastewater Treatment for Pollution Control Second Edition*, Tata McGrawHill Publishing Company Limited, New Delhi, hal 238-266.

Bapeldada propinsi Bali, 2004, Presentasi Praktek Kerja Lapangan STTL, Bali.

Chatib, B., 1986, Pengolahan Air Limbah Secara Biologi, ITB, Bandung.

Christman, S., 1999, *Typha Latifolia*, http://www.FLORIDATA.com/Typha.

Clark, J., 2004, *Fecal Coliform Abatement by Treatment Constructed Wetlands*, htttp://www.google.com/Constructed Wetlands.htm.

Delzer, G.C., McKenzie, S.W., 2003, *Five Day Biochemical Oxygen Demand*, USGS TWRI Book 9-A7.

Effendi, H., 2003, *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkunngan Perairan*, Penerbit Kanisius, Yogyakarta.

Faisal, 2005, *Penurunan Konsentrasi Limbah Cair Industri Tapioka dengan Reaktor Constructed Wetland Menggunakan Eceng Gondok, Skripsi*, Jurusan Teknik

Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Gilman, E.F., Meerow, A., 1999, *Heliconia Rostrata*, Fact Sheet FPS-248, University of Florida, Cooperation Extantion Service, Institute of Food and Agriculture Sciences.

Gopal, B., 1999, *Natural and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment Potencisls and Problem*, dalam Fauzi Arnis.M, 2006, Tugas Akhir, *Tingkat Penyerapan Nitrat dan Fosfat dari Limbah Cair Pabrik Tahu dengan Menggunakan Tanaman Kangkung Air pada Sistem Constructed Wetlands*, Universitas Islam Indonesia, Jurusan Teknik Lingkungan, Yogyakarta.

Halverson, N.V., 2004, *Review of Constructed Subsurface Flow vs. Surface Flow Wetlands*, WSRC-TR-2004-00509, Westinghouse Savannah River Company, Savannah River Site, Aiken, SC 29808.

Istiningrum, R.B., 2002, *Penentuan Kualitas Air Limbah Berdasarkan Parameter Suhu, pH, DO, BOD, COD dan TSS di IPAL Yogyakarta*, Laporan Praktek Kerja Lapangan, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Jenie, B.S.L., Rahayu, W.P., 1993, *Penanganan Limbah Industri Pangan*, Penerbit Kanisius, Yogyakarta.

Kadlec, R.H. and R.L. Knight, 1996. *Treatment Wetlands*, Lewis Publ., Boca Raton, FL.

Khaira, N.I., 2005, *Analisa Kandungan BOD dalam Inlet dan Outlet Air Limbah IPAL Yogyakarta, Laporan Praktek Kerja Lapangan*, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Kristanto, .P., 2002, *Ekologi Industri*, Penerbit Andi Yogyakarta, Yogyakarta.

Lay, B.W., 1994, *Analisis Mikroba di Laboratorium*, Raja Gravindo Persada, Jakarta.

Marianto, L.A., 2001, *Merawat dan Menata Tanaman Air*, AgroMedia Pustaka, Jakarta.

Merz, S.K., 2000, *Guidelines for Using Free Water Surface Construstec Wetlands to Treat Municipal Sewage*, Departement of Natural Resources, Brisbane.

Metcalf, and Eddy, 1991, *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, 3th Edition, McGraw-Hill, New York.

Metcalf, and Eddy, 2003, *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, 4th Edition, McGraw-Hill, New York.

Nelson, M.,Ph.d, Dr., Czech, A., Dr, Cattin, F., Thillo, M.V., 2002, *Wastewater Gardens® (WWG) An Effective, Ecological and Low-Cost Solution for Sewage and Wastewater Treatment In Communities, Businesses, Hotels, Schools and Homes*, http://www..PCRF.org/WWG.htm.

Nelson, M.,Ph.d, Tredwell, R., Dr., Czech, Gove, D., Made, S., A., Dr, Cattin, F., 2006, *Worldwide Applications of Wastewater Gardens and Ecoscaping: Decentralised Systems which Transform Sewage from Problem to*

Productive, Sustainable Resource, Paper for International Conference on Decentralised Water and Wastewater Systems, Environmental Technology Centre, Murdoch University, Fremantle, W.A.

Oktaviani, K., 2005, *Optimasi Penentuan BOD Sampel Air Sungai Code di Badan Tenaga Nuklir Nasional Jogjakarta, Laporan Praktek Kerja Lapangan*, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Reed, S.C., E.J.Middlebrooks, and R.W.Crites., 1987, *Natural System for Waste Management and Treatment*, McGraw Hill, New York.

Scheper, J, 1998, *Cyperus Papyrus*, http://www.FLORIDATA.com/Cyperus .

Scott, N, 2004, *Algae, Cynobacteria and Water Quality*, PFRA or Agriculture and Agri-Food Canada of any of product or service mentioned herein, in www.agr.gc.ca.

Siswoyo, E., 2002, *Seminar Nasional Pengelolaan Lingkungan Untuk Menunjang Pembangunan Berkelanjutan*, PPLH-UII, Yogyakarta.

Stoicescu, D, 2004, *Wastewater Gardens - A lesson from Indonesia Health and Environmental Problems*, http ://www.pcrf.org/wastewatergarden.htm. (diakses 10 Desember 2006).

Sugiharto, 1987, *Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah*, Universitas Indonesia Press, Jakarta.

Suriawiria, U,1993, *Mikrobiologi Air dan Dasar-dasar Pengolahan Air Buangan Secara Biologis*, Penerbit ALUMNI Bandung.

Tjokrokusumo, K.R.T., 1995, *Penghantar Engineering Lingkungan*, Jilid 2, YLH, STTL, Yogyakarta.

U.S. Environmental Protection Agency, 1988, *Design Manual, Constructed Wetland and Aquatic Plant System for Municipal Wastewater Treatment*, EPA/625/1-88/022, Center for Environmental Research Information, Cincinnati, OH 45268.

U.S. Environmental Protection Agency, 1993, *Subsurface Flow Constructed Wetlands For Wastewater Treatment*, EPA 832-R-93-008, Office of water (4204).

Vymanzal, 1998, dalam Siswoyo, E., 2002, Seminar Nasional Pengelolaan Lingkungan Untuk Menunjang Pembangunan Berkelanjutan, PPLH-UII, Yogyakarta.

Wood, J.A., 1993, dalam Siswoyo, E., 2002, *Seminar Nasional Pengelolaan Lingkungan Untuk Menunjang Pembangunan Berkelanjutan*, PPLH-UII, Yogyakarta.

Wardana, 1995, *Analisis Mengenai Dampak Pencemaran Lingkungan*. Penerbit: Andi Offset, Yogyakarta.

LAMPIRAN
1

DATA HASIL PENGUKURAN DAN EFISIENSI

Hasil Analisa Konsentrasi BOD

Waktu (hari)	Reaktor Uji			Reaktor Kontrol		
	Inlet (mg/l)	Outlet (mg/l)	Efisiensi (%)	Inlet (mg/l)	Outlet (mg/l)	Efisiensi (%)
0	129.0323	129.0323	0	129.8323	129.8323	0
3	129.0323	64.5161	50.00004	129.8323	96.7742	25.4622
6	129.0323	32.2581	74.99998	129.8323	63.7161	50.9243
9	129.0323	59.2191	54.10521	129.8323	85.9766	33.7787
12	129.0323	64.4839	50.02499	129.8323	108.2371	16.6331

Hasil Analisa Jumlah Escherichia coli

Waktu (hari)	Reaktor Uji			Reaktor Kontrol		
	Inlet MPN/100ml	Outlet MPN/100ml	Efisiensi (%)	Inlet MPN/100ml	Outlet MPN/100ml	Efisiensi (%)
0	>1898	>1898	0	>1898	>1898	0
3	>1898	438	76.9231	>1898	>1898	0
6	>1898	271	85.7218	>1898	438	76.9231
9	>1898	139	92.6765	>1898	271	85.7218
12	>1898	116	93.8883	>1898	190	89.9895

LAMPIRAN
2

ANALISA STATISTIK UNIANOVA

Univariate Analysis of Variance of BOD

Between-Subjects Factors

		N
MEDIA	1.00	5
	2.00	5
WAKTU	.00	2
	3.00	2
	6.00	2
	9.00	2
	12.00	2

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: BOD

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	8835.396	5	1767.079	13.932	.012
Intercept	69563.240	1	69563.240	548.449	.000
MEDIA	1823.224	1	1823.224	14.375	.019
WAKTU	7012.172	4	1753.043	13.821	.013
Error	507.345	4	126.836		
Total	78905.981	10			
Corrected Total	9342.741	9			

a R Squared = .946 (Adjusted R Squared = .878)

Post Hoc Tests

WAKTU

Multiple Comparisons
Dependent Variable: BOD
Tukey HSD

(I) WAKTU	(J) WAKTU	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.00	3.00	48.7871	11.2622	.054	-1.2790	98.8533
	6.00	81.4452	11.2622	.009	31.3791	131.5113
	9.00	56.8345	11.2622	.033	6.7683	106.9006
	12.00	43.0718	11.2622	.081	-6.9943	93.1379
3.00	.00	-48.7871	11.2622	.054	-98.8533	1.2790
	6.00	32.6581	11.2622	.177	-17.4081	82.7242
	9.00	8.0473	11.2622	.943	-42.0188	58.1134
	12.00	-5.7154	11.2622	.982	-55.7815	44.3508
6.00	.00	-81.4452	11.2622	.009	-131.5113	-31.3791
	3.00	-32.6581	11.2622	.177	-82.7242	17.4081
	9.00	-24.6107	11.2622	.338	-74.6769	25.4554
	12.00	-38.3734	11.2622	.114	-88.4395	11.6927
9.00	.00	-56.8345	11.2622	.033	-106.9006	-6.7683
	3.00	-8.0473	11.2622	.943	-58.1134	42.0188
	6.00	24.6107	11.2622	.338	-25.4554	74.6769
	12.00	-13.7627	11.2622	.744	-63.8288	36.3035
12.00	.00	-43.0718	11.2622	.081	-93.1379	6.9943
	3.00	5.7154	11.2622	.982	-44.3508	55.7815
	6.00	38.3734	11.2622	.114	-11.6927	88.4395
	9.00	13.7627	11.2622	.744	-36.3035	63.8288

Based on observed means.
* The mean difference is significant at the .05 level.

Homogeneous Subsets

BOD
Tukey HSD

WAKTU	N	Subset	
		1	2
6.00	2	47.9871	
9.00	2	72.5978	
3.00	2	80.6452	80.6452
12.00	2	86.3605	86.3605
.00	2		129.4323
Sig.		.114	.054

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = 126.836.
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.
b Alpha = .05.

Univariate Analysis of Variance of E.Coli

Between-Subjects Factors

		N
MEDIA	1.00	5
	2.00	5
WAKTU	.00	2
	3.00	2
	6.00	2
	9.00	2
	12.00	2

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: E.COLI

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4940628.500	5	988125.700	5.234	.067
Intercept	5710824.900	1	5710824.900	30.248	.005
MEDIA	335988.900	1	335988.900	1.780	.253
WAKTU	4604639.600	4	1151159.900	6.097	.054
Error	755205.600	4	188801.400		
Total	11406659.000	10			
Corrected Total	5695834.100	9			

a R Squared = .867 (Adjusted R Squared = .702)

Post Hoc Tests

WAKTU

Multiple Comparisons
Dependent Variable: E.COLI
Tukey HSD

(I) WAKTU	(J) WAKTU	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.00	3.00	730.0000	434.5128	.528	-1201.6339	2661.6339
	6.00	1543.5000	434.5128	.101	-388.1339	3475.1339
	9.00	1693.0000	434.5128	.076	-238.6339	3624.6339
	12.00	1745.0000	434.5128	.069	-186.6339	3676.6339
3.00	.00	-730.0000	434.5128	.528	-2661.6339	1201.6339
	6.00	813.5000	434.5128	.448	-1118.1339	2745.1339
	9.00	963.0000	434.5128	.329	-968.6339	2894.6339
	12.00	1015.0000	434.5128	.295	-916.6339	2946.6339
6.00	.00	-1543.5000	434.5128	.101	-3475.1339	388.1339
	3.00	-813.5000	434.5128	.448	-2745.1339	1118.1339
	9.00	149.5000	434.5128	.996	-1782.1339	2081.1339
	12.00	201.5000	434.5128	.987	-1730.1339	2133.1339
9.00	.00	-1693.0000	434.5128	.076	-3624.6339	238.6339
	3.00	-963.0000	434.5128	.329	-2894.6339	968.6339
	6.00	-149.5000	434.5128	.996	-2081.1339	1782.1339
	12.00	52.0000	434.5128	1.000	-1879.6339	1983.6339
12.00	.00	-1745.0000	434.5128	.069	-3676.6339	186.6339
	3.00	-1015.0000	434.5128	.295	-2946.6339	916.6339
	6.00	-201.5000	434.5128	.987	-2133.1339	1730.1339
	9.00	-52.0000	434.5128	1.000	-1983.6339	1879.6339

Based on observed means.

Homogeneous Subsets

E.COLI
Tukey HSD

WAKTU	N	Subset 1
12.00	2	153.0000
9.00	2	205.0000
6.00	2	354.5000
3.00	2	1168.0000
.00	2	1898.0000
Sig.		.069

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = 188801.400.
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.
b Alpha = .05.

LAMPIRAN
3

DATA PENGUKURAN PERTUMBUHAN
TANAMAN

Hari ke	Nama Tanaman	Tinggi batang					Lebar daun					Panjang daun					Jumlah daun					Jumlah batang					Keterangan	
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Mati	Hidup
0	Melati air	30	25.8	16.4	22.7	20.2	9	9	4.5	8	5	11.5	11.5	6	11.5	7	5	6	7	6	4	5	6	7	6	4	0	5
	Pickerel	35	34	40	16.5	25	9	7	9.5	7	6	13	11	15	10	10	5	5	7	4	4	5	5	7	4	4	0	5
	Futoi	81	80	75	81	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	7	4	6	9	0	5
	Cyperus	70	72	66	70	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	7	4	6	9	0	5
	Cattail	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	87	115	95	95	105	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	5
	Pisang air	56	75	33	33	60	14	16	6.8	11	12.5	40	50	25	32	48	5	4	5	4	5	1	1	1	1	1	0	5
3																												
	Melati air	30.3	26.5	17	23.5	21	9	9	4.7	8	5.7	11.5	11.5	6	11.5	7	4	3	7	7	3	4	3	7	7	3	0	5
	Pickerel	24	27.6	33.5	17.2	25.3	9.2	7	10	7	6	13.4	11	16	8	7	5	5	7	4	4	5	5	7	4	4	0	5
	Futoi	82	81	76	82	71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	7	4	6	6	0	5
	Cyperus	71	73	70	71	72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	5	7	3	5	5	7	4	6	9	0	5
	Cattail	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	110	122	118.2			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	5
	Pisang air	56.5	76	34	33.5	61	15	17	7	11	13	41	50.5	27	32.5	48.5	5	4	5	4	5	1	1	1	1	1	0	5
6																												
	Melati air	31	27	18	24.3	21.7	9	9	4.8	8	5.7	12	11.7	6	11.5	7.3	6	3	3	8	8	6	3	3	8	8	0	5
	Pickerel	24.5	28.4	33.8	17.9	25.7	9.5	7	10	8	6.3	14	11	17.2	12	10	6	5	8	5	4	6	5	8	5	4	0	5
	Futoi	83	82	77	83	72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	7	4	7	7	0	5
	Cyperus	72	74	71	72	74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	8	5	7	10	0	5
	Cattail	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	110	122.5	118.4	117.7	13						-	-	-	-	-	0	5
	Pisang air	57	77	35	34	62	15	16	7.3	11	14.3	41.5	54	28	33	49	5	4	5	4	5	1	1	1	1	1	0	5
9																												
	Melati air	31.7	27.6	18.5	25.8	22.3	9	9	5	8	5.8	12.3	12	6.2	12.4	7.8	6	3	0	8	8	6	3	0	8	8	1	4
	Pickerel	25.7	29.1	34.2	18.6	26.4	9.4	7	9.7	8	6.6	14.7	11.8	17.5	9.2	9.3	6	5	8	5	4	6	5	8	5	4	0	5
	Futoi	84	83	77.5	84	72.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		7	8	5	8	7	0	5
	Cyperus	72.4	74.4	72	72.2	74.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		5	8	6	7	11	0	5
	Cattail	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	111	122.7	118.7	120.5						-	-	-	-	-	-	0	5
	Pisang air	57	77	35	34	62	15	16	7.5	11	14.5	42	54	28	33	49	5	4	5	4	5	1	1	1	1	1	0	5

Hari Ke	Nama Tanaman	Tinggi batang					Lebar daun					Panjang daun					Jumlah daun					Jumlah batang					Keterangan	
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Mati	Hidup
12																												
	Melati air	32	26	19.1	26	23.5	9	9	5.3	8	8.7	12	11.3	6.5	12.5	8	6	5	0	9	8	6	5	0	9	8	1	4
	Pickerel	26	29.5	35	19.3	27	9.7	7	10	5	7	15.3	12	18	9.5	9.5	6	5	8	5	5	6	5	8	5	5	0	5
	Futoi	85	83.5	74	85	73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	8	5	8	11	0	5
	Cyperus	73.1	75	72.8	73	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	9	6	8	11	0	5
	Cattail	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	115	123	119	121	87	11	13	10	7	-	-	-	-	-	-	0	5
	Pisang air	57.1	77.2	35	34.1	62.3	14	17	7.4	11	14.5	41	50.5	28	33	51	5	4	5	4	5	1	1	1	1	1	0	5

LAMPIRAN
4

DOKUMENTASI



Gambar Reaktor Uji dan Kontrol Hari ke-0



Gambar Reaktor Uji dan Kontrol Hari ke-3



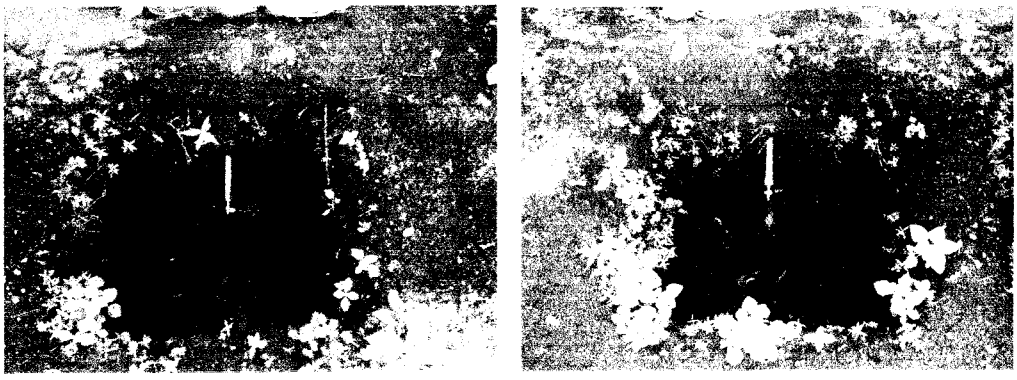
Gambar Reaktor Uji dan Kontrol Hari ke-6



Gambar Reaktor Uji dan Kontrol Hari ke-9



Gambar Reaktor Uji dan Kontrol Hari ke-12



Gambar Outlet reaktor uji dan kontrol

LAMPIRAN
5

KEPMENLH NO.112 TAHUN 2003

Lampiran
Keputusan Menteri Negara
Lingkungan Hidup,
Nomor : 112 Tahun 2003
Tanggal : 10 Juli 2003

BAKU MUTU AIR LIMBAH DOMESTIK

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6 - 9
BOD	mg/l	100
TSS	Mg/l	100
Minyak dan Lemak	mg/l	10

Menteri Negara
Lingkungan Hidup,

ttd

Nabiel Makarim,MPA,MSM.

Salinan sesuai dengan aslinya
Deputi MENLH Bidang Kebijakan
Dan Kelembagaan Lingkungan Hidup,

Hoetomo, MPA.