

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Limbah Restoran (*Catering*)

Industri restoran (*catering*) merupakan salah satu industri yang bergerak di bidang penyediaan makanan dan minuman, baik yang berskala besar maupun kecil. Keberadaan industri restoran (*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 restoran (*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. Karakteristik Limbah Cair

Secara umum karakteristik limbah yang dihasilkan dari industri restoran (*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. Karakteristik fisik

Yang termasuk dalam karakteristik 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 tersebut 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. Karakteristik kimia

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

1) Bahan organik

Yang berisikan protein \pm 40-60 % , karbohidrat \pm 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 oksigen. 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 lemak. Gliserid dari asam lemak 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. Karakteristik 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) Protista.
- 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 umurnya 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 chamber 1*) berkisar 70 % ($\frac{2}{3}$) dari total volume desain, karena sebagian besar dari lumpur atau *sludge* dan scum akan terjadi di ruang ini, dan ruang kedua 30 % ($\frac{1}{3}$) 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) yang merupakan 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 :

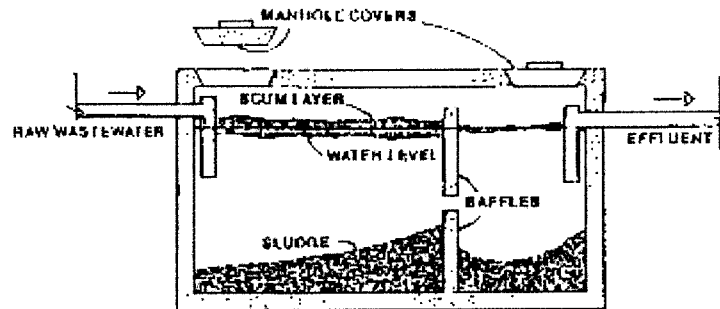
- Endapan lumpur atau *sludge*, khususnya partikel yang tidak terendapkan pada ruangan pertama.
- Supernatan yang seterusnya menjadi *effluent* untuk dibuang ke alam atau diresapkan kedalam tanah.

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)*

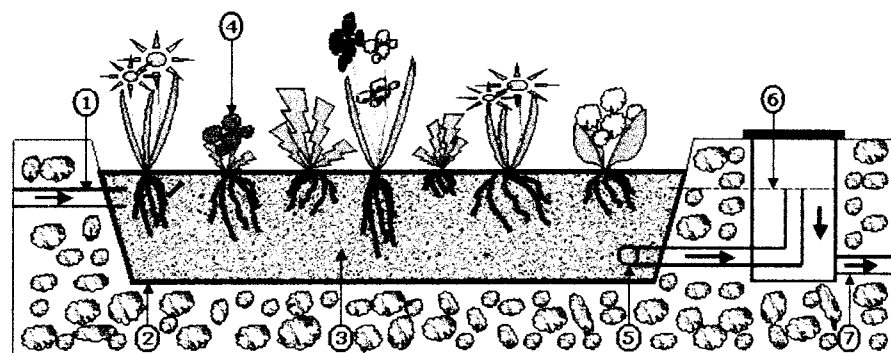
Wastewater garden adalah sesuatu yang baru, ekologis dan sebuah solusi dengan biaya yang rendah untuk pengolahan limbah cair. *Wastewater garden* terdiri dalam sebuah penciptaan *wetland* yang artifisial dan di atasnya tumbuh berbagai jenis tanaman atau taman. Sumber air dan nutrisi untuk taman ini berasal 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 nutrisi 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*, *photooksidasi* 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), BOD₅ loading rate, hydraulic-loading rate.

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

Parameter Desain	Unit	Tipe sistem
		<i>Subsurface Flow</i> (SSF)
<i>Hydraulic-detention time</i>	D	4-15
kedalaman basin	ft	1.0 - 2.5
BOD ₅ loading rate	lb/acre-d	< 60
<i>Hydraulic-loading rate</i>	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 pemukiman 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 m² 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* ketika 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.

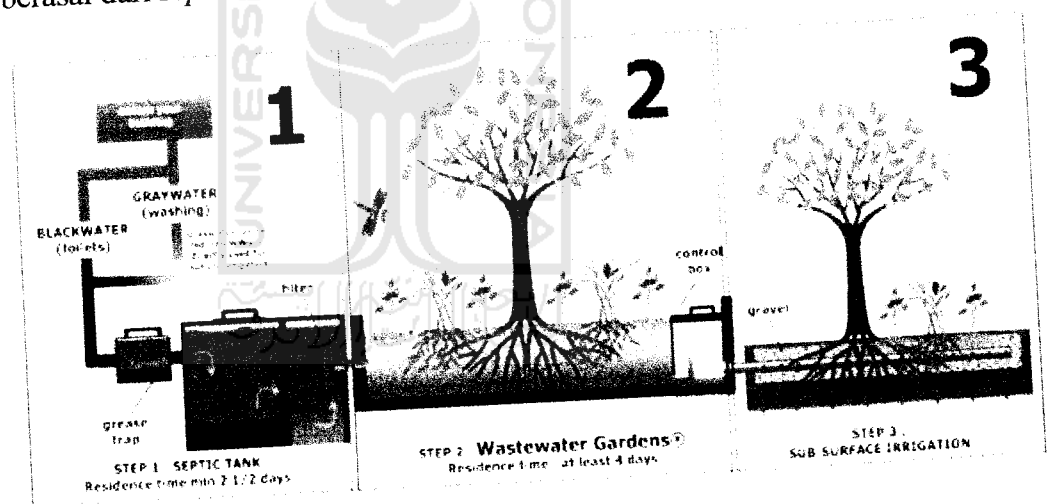
e. Saluran hujan (*drainage*)

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 sengaja 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

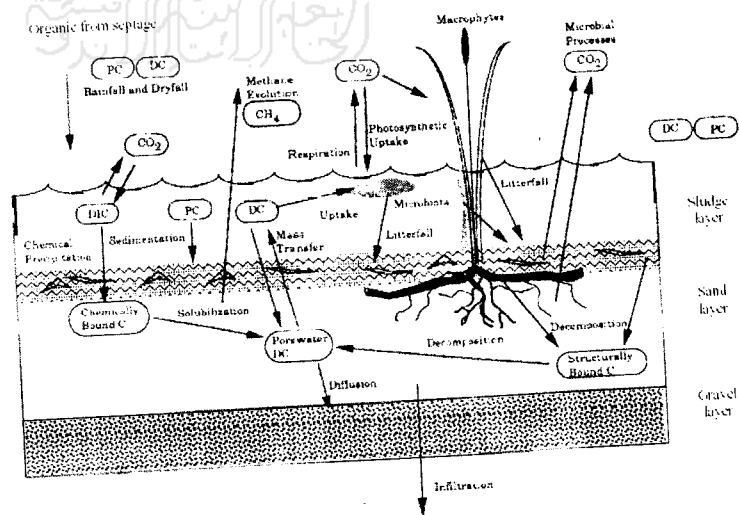
Kadar padatan pada air limbah ini dapat diturunkan dengan proses fisik yaitu sedimentasi. Pada *wetland cell* ini air limbah mengalir melewati media gravel dengan waktu detensi yang cukup, kedalaman media dan

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 :



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 nutrisi 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 mentransfer 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 difusi 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 substrat 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	<ul style="list-style-type: none"> • Sebagai tempat pertumbuhan bakteri • Sebagai media untuk proses filtrasi
2	Batang dan daun yang berada di permukaan air	<ul style="list-style-type: none"> • 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 aerobik*, 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

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

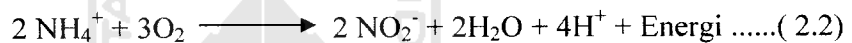
Komunitas mikroba dalam *wastewater garden* digunakan sebagai indikator pengukuran secara langsung dalam proses pengolahan air limbah, yaitu jenis mikroorganismenya dari bakteri, virus, ragi, mikroskopis fungi, protozoa, alga. Proses hubungan antara komunitas mikroba ini dalam *wetland cell* merupakan 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 mikroorganismenya dalam memanfaatkan air limbah dalam pertumbuhannya. Nitrogen dan karbon merupakan sumber energi bagi mikroba, dimana karbon digunakan untuk membentuk biomassa dari mikroba ($C_5H_7O_2N$) sebagai nutrisi, proses fotosintesis yang dilakukan oleh protozoa juga memberikan respons yang cepat untuk meningkatkan jumlah nutrisi 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 nutrisi.

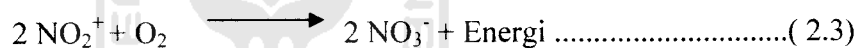
Proses *nitrifikasi* (oksidasi amonium menjadi nitrat dan nitrit secara biologis) dan *denitrifikasi* (oksidasi nitrit menjadi nitrat) dalam *wetland* juga dapat terjadi secara siklus alami, yang disebabkan adanya aktivitas

dari mikroorganismenya dalam mengurai bahan makanannya, yaitu komunitas bakteri *heterotroph* (mikroorganismenya yang menggunakan karbon organik sebagai energi) dan *autotroph* (mikroorganismenya 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*.

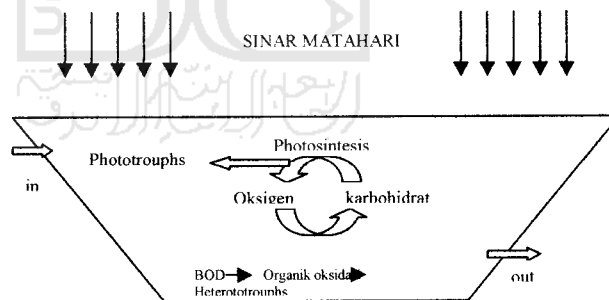
- Oksidasi amonium menjadi nitrit peranan bakteri *Nitrosomonas sp*



- Oksidasi nitrit menjadi nitrat peranan bakteri *Nitrobacter sp*

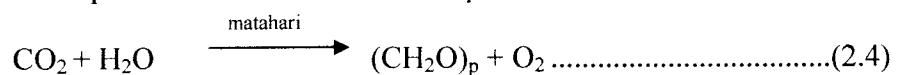


- Pertumbuhan bakteri *heterotroph* dan *autotroph* dalam *wetland*

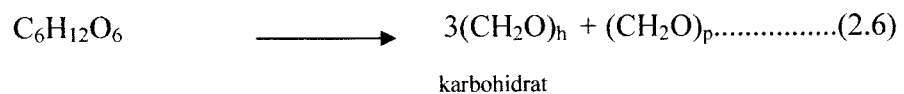
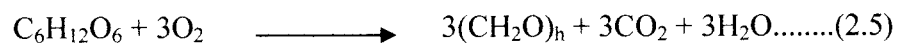


Gambar 2.6. Siklus Pertumbuhan Bakteri *heterotroph* dan *autotrophy*

Reaksi pertumbuhan bakteri Phototrophs:



Reaksi pertumbuhan bakteri Heterototrounbs:



Semua jenis mikroorganisme yang ada dalam *wetland cell* secara umum beraktivitas untuk mengasimilasi nutrisi untuk pertumbuhannya, seperti amonium dapat bergabung membentuk asam amino oleh bakteri *autotroph* dan *heterotroph* (Kadlec and Knight, 1996), asam amino ditransformasikan ke dalam 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 nutrisi.

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 beraktivitas 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 20⁰C - 30⁰C (Wood,1993 dalam Siswoyo, 2002).

2.4.4. Keunggulan *Wastewater Garden* (WWG)

Ada 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 (\pm 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 efisiensi 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 wetlands* 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 biasanya 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 *refitting* 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 permasalahan 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 sebagai kompos, yang mana akan membunuh bakteri patogen manapun yang berpotensi, 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 m² 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	
	<i>Nama Indonesia</i>	<i>Nama Latin</i>
1	Mata Panah	<i>Sagitaria japonica</i>
2	Futoi	<i>Hippochaetes lymenalis</i>
3	Melati air	<i>Echinodorus paleaflus</i>
4	Keladi	<i>Calladium sp</i>
5	Blue Diamond	<i>Scizocentro elegans</i>
6	Kala Air	<i>Zantedeschia aethiopica</i>
7	Tipa	<i>Typha angustifolia</i>
8	Lotus	<i>Lotus sp</i>
9	Cyperus papirus	<i>Cyperus papyrus</i>
10	Pickerel rush	<i>Pontedoria cordata</i>
11	Kiapu	<i>Pistia stratiotes</i>
12	Eceng gondok	<i>Eichornia crassipes</i>
13	Pisang air	<i>Typhonodorum indleyanum</i>
14	Anggrek air	<i>Iris</i>
15	Canna presiden kuning	<i>Canna flacida</i>
16	Pisang-pisangan	<i>Holiconia rostrata</i>

Sumber: Marianto, 2001 dan Bapeldada Bali, 2004

2.4. BOD (*Biological Oxygen Demand*)

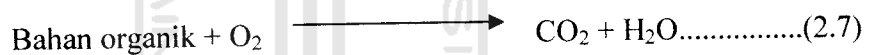
Biological Oxygen Demand (BOD) adalah banyaknya oksigen terlarut yang digunakan mikroorganisme untuk mengoksidasi bahan organik secara biokimia dalam air (Metcalf and Eddy, 1991)

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 °C

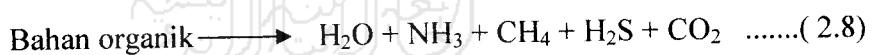
dengan waktu inkubasi 5 hari karena pada waktu ini proses terurainya bahan organik terjadi. Bahan organik yang dapat diurai oleh BOD tergolong dalam senyawa organik yang mudah terurai umumnya berasal dari limbah domestik.

Air buangan sebagian besar mengandung karbon organik yang dapat didegradasikan dengan konsentrasi BOD₅ tinggi serta bahan yang membutuhkan oksigen untuk oksidasi. Siklus karbon didominasi oleh tanaman, dimulai pada proses pertumbuhan dan penyerapan nutrisi, proses kematian, dan pada proses degradasi, yang proses ini akan melepaskan nutrisi, 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:



Penguraian bahan organik oleh bakteri anaerobik:



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 atmosfer 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 terdapat pada tanaman.

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

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp (- K_T t) \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana:

- C_e = *effluent* BOD₅ (mg/L)
- C_o = *influent* BOD₅ (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:

$$t = \frac{L W n d}{Q} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana:

- L = panjang (m)
- W = lebar (m)
- n = void ratio, 0,65 – 0,75 (porositas)
- d = kedalaman air (m)
- Q = debit rata-rata ($\text{flow}_{in} + \text{flow}_{out}$)/2 (m³/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 ($^{\circ}\text{C}$) dapat ditentukan dengan persamaan:

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

Dimana:

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

Persamaan yang dipergunakan untuk memperkirakan hubungan $\text{BOD}_{\text{effluent}}$ dapat juga menggunakan persamaan:

$$\text{BOD}_{\text{effluent}} = (A \times \text{BOD}_{\text{influent}}) + (B \times \text{HLR}) \dots\dots(2.12)$$

Dimana:

A = 0,192

B = 0,097

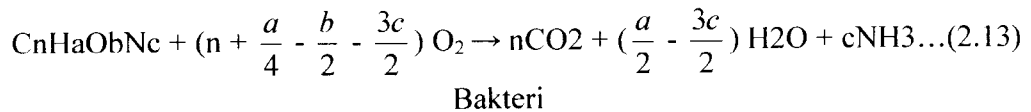
BOD = *biochemical oxygen demand* (mg/L)

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 organik 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 :



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 :

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

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

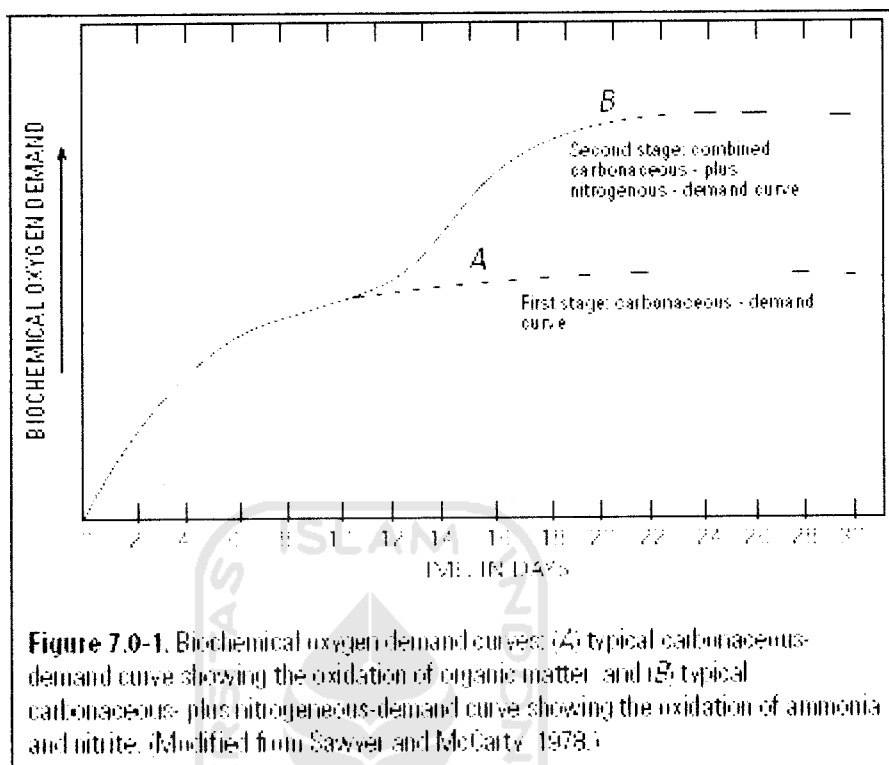
t = lama waktu reaksi.

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 :

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



Gambar 2.7. Kurva *Biological 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 menjadi nitrat, *nitrogenous oxygen demand* biasanya dimulai setelah sekitar 6 hari. Untuk beberapa air buangan, khususnya keluaran dari *Wastewater Treatment Plants* yang

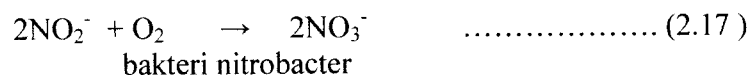
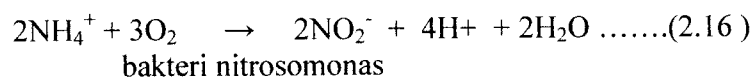
menggunakan proses pengolahan biologi, nitrifikasi dapat terjadi kurang dari 5 hari jika bakteri ammonia, nitrit dan pengnitrifikasi hadir. Pada kasus ini, bahan kimia yang dapat mencegah nitrifikasi harus ditambahkan ke dalam sampel jika tujuannya hanya untuk menghitung *carbonaceous* yang diperlukan. Hasilnya dilaporkan sebagai *carbonaceous* BOD (CBOD), atau CBOD₅ 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 :



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 mikroorganismenya.

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 menunjukkan 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 efisien, 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 saluran 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 bladder (cystitis) dan pelvis (pyelitis) ginjal dan hati, yang antara lain menyebabkan diareha, 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 bacteria*) 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 bacteria* 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 $35^{\circ} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. 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 bacteria*.

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 $35^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, 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 $35^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ maka test disebut positif.

c. *Completed test* (test lengkap) :

Pada *completed 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 $35^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ 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 $35^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ 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 $43^{\circ} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ 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 index MPN (*Most Probable Number*) yaitu perkiraan terdekat jumlah kuman golongan Coli. Index MPN merupakan index 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 $35^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. 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 bakteri tersebut ini tidak mengganggu 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 *wastewater 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 paleaflus*), 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 bakteri tersebut ini tidak mengganggu 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 *wastewater garden* , merupakan tanaman air yang memiliki kelebihan dapat menstansfer 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*).

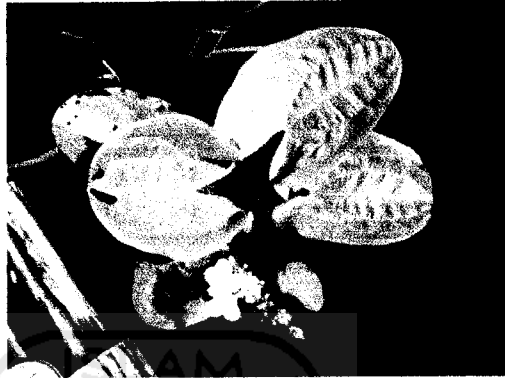
➤ Hidup pada suhu 20-28 °C.

➤ Hidup pada derajat keasaman (pH) berkisar antara 5,5-8.

➤ Hidup pada daerah tropis.

➤ Kebutuhan cahaya : sedang hingga sangat tinggi.

Tanaman melati air (*Echinodorus paleaflus*) ini memiliki keunggulan dalam kegiatan fotosintesis, penyediaan 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 dan 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 untuk pertumbuhan berkisar antara 50%.

➤ **Udara**

Kondisi lingkungan yang berudara segar sangat 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. Perbanyak 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

ruas yang jelas. Agar batangnya tetap hijau jangan ditempatkan di bawah naungan.

Tanaman yang tak berbunga ini juga sering dipakai untuk mempercantik rangkaian bunga potong. Futoi bisa diperbanyak dengan stik batang dan pemisahan rumpun. Jika menggunakan stik batang, potonglah ruas yang tumbuh pada batang futoi. Benamkan potongan tersebut langsung pada media tanam (Mariano, 2001).



Gambar 2.10. Futoi

2.7.4. Pisang-pisangan (*Heliconia rostrata*)

Heliconia rostrata memiliki kedudukan taksonomi sebagai berikut :

Kingdom	: <i>Plantae</i>
Divisi	: <i>Magnoliophyta</i>
Kelas	: <i>Liliopsida</i>
Ordo	: <i>Zingiberales</i>
Famili	: <i>Heliconiaceae</i>

Genus : *Heliconia*

Spesies : *Heliconia rostrata*

Heliconia rostrata memiliki bunga berbentuk tabung dengan ovaria 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-sifat lain antara satu dengan lainnya. Bunga yang berbentuk seperti tabung, sesuai/cocok dengan paruh burung kolibri (seperti gembok dan kunci) yang dalam hal ini 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 berbentuk 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.



© 2004 Floridata.com

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 amfibi. *Typha latifolia* mempunyai kedudukan taksonomi sebagai berikut :

Kingdom	: <i>Plantae</i>
Divisi	: <i>Magnoliophyta</i>
Kelas	: <i>Liliopsida</i>
Ordo	: <i>Typhales</i>
Famili	: <i>Typhaceae</i>
Genus	: <i>Typha</i>
Spesies	: <i>Typha latifolia</i>

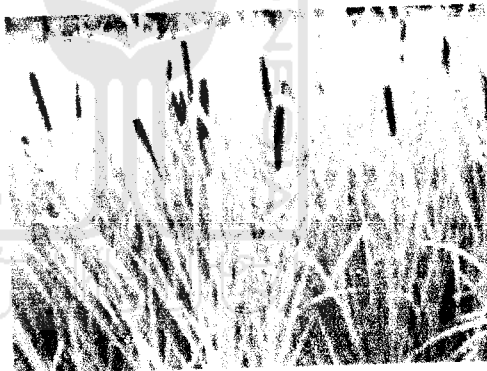
Typha latifolia adalah tumbuhan perennial, dari rhizom yang timbul, dengan tinggi sekitar 1-2,7 m ; memiliki daun yang datar (ceper), berpelepah, berwarna pucat atau keabu-abuan hingga hijau, dengan lebar sekitar 6-23 mm; memiliki benang sari (dengan panjang 7-13 cm) dan putik berwarna coklat pekat (dengan 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 % 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, rhamnase, xylose) dan 1,1 % lipid. Dalam minyak bijinya, kandungan 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 m². 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*.