

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *Greywater*

*Greywater* adalah air limbah yang dihasilkan dari kegiatan domestik seperti cuci piring dan mandi, yang dapat didaur ulang di tempat untuk keperluan seperti pertanian dan lain-lain sesuai dengan kandungannya. *Greywater* berbeda dengan air dari toilet, yang disebut sebagai *blackwater* untuk menunjukkan limbah tersebut berisi kotoran manusia. Karakteristik *Greywater* pada umumnya banyak mengandung unsur Nitrogen, Fosfat, dan Potasium. Unsur-unsur tersebut merupakan nutrisi bagi tumbuhan, sehingga jika *Greywater* dialirkan begitu saja ke badan air permukaan maka akan menyebabkan eutrofikasi pada badan air tersebut. Eutrofikasi adalah sebuah peristiwa dimana badan air menjadi kaya akan materi organik, sehingga menyebabkan pertumbuhan ganggang yang pesat pada permukaan badan air tersebut (Metcalf dan Eddy, 1991). Peristiwa eutrofikasi ini dapat menurunkan kualitas badan air permukaan karena dapat menurunkan kadar oksigen terlarut di badan air. Sebagai akibatnya, makhluk hidup yang hidup di badan air tersebut tidak dapat tumbuh dengan baik atau mungkin mati. Parameter terhadap karakteristik air limbah *Greywater* harus diketahui agar dapat ditentukan alternatif metode pengolahan yang tepat. Dengan maksud agar *effluent* dari hasil pengolahan tersebut dapat digunakan kembali.

Menurut Morel & Diener (2006), dalam bukunya yang berjudul *Greywater Management* beberapa karakteristik dari *greywater* secara umum yakni:

##### 2.1.1 Karakteristik Fisik

Temperatur

Temperatur *Greywater* tidak pernah melampaui suhu air biasa dengan rerata suhu berkisar antara 18 – 30° C. Untuk suhu air yang agak tinggi dapat bersumber dari kegiatan mandi ataupun bersumber dari kegiatan memasak dari

dapur. Suhu tinggi tersebut tidak memberikan dampak pada proses pengolahan secara biologis karena proses aerobik dan anaerobik terjadi dalam kisaran suhu 15 – 50° C, dengan suhu optimal berkisar antara 25 – 35° C (Crites and Tchobanoglous, 1998).

#### Warna dan bau

*Greywater* mempunyai karakteristik warna abu – abu yang kadang agak gelap dan berbau. Bau pada *Greywater* diakibatkan karena adanya material organik. Warna gelap dikarenakan banyaknya komposisi air limbah *Greywater* yaitu air sisa cuci pakaian, air sisa cuci piring dan air bekas mandi (Tias, 2013).

#### *Suspended Solid*

Konsentrasi padatan tersuspensi (*suspended solid*) dalam *Greywater* berkisar pada 50 – 300 mg/L, namun dapat juga mencapai 1500 mg/L dalam kasus lain (Del Porto and Steinfeld, 2000). Konsentrasi tertinggi padatan tersuspensi umumnya didapati dalam *Greywater* dapur dan laundry.

### 2.1.2 Karakteristik Kimia

#### pH, DO (*dissolved oxygen*) dan COD (*chemical oxygen demand*)

Kadar pH bertujuan untuk menunjukkan apakah cairan bersifat asam atau basa. Dalam pengolahan, serta untuk menghindari dampak negatif, juga untuk tujuan pemanfaatan kembali, *Greywater* harus menunjukkan kisaran 6,5 – 8,4 (FAO, 1985; USEPA, 2004). Pengaruh negatif yang terjadi dari keasaman ataupun kesadahan nilai pH dalam air dapat mengakibatkan penurunan ketersediaan unsur hara bagi tanaman, serta dapat meningkatkan dampak unsur beracun. Pada keadaan pH dengan tingkat alkali yang tinggi, nutrisi mikro seperti unsur besi, seng, tembaga dan mangan akan menjadi kurang atau sedikit tersedia untuk dapat diserap tanaman. Hal tersebut terjadi akibat adanya proses pengendapan. Pada keadaan pH dengan tingkat keasaman yang tinggi unsur kalsium, fosfor, dan magnesium akan menjadi tidak tersedia untuk diserap. Pada keadaan pH yang asam juga mengakibatkan unsur mangan dan aluminium dapat menjadi lebih larut dalam air, sehingga akan bersifat racun untuk tanaman.

Organisme akuatik dapat hidup dalam suatu perairan yang mempunyai nilai pH dengan kisaran toleransi antara asam lemah sampai basa lemah. pH yang ideal bagi kehidupan organisme akuatik umumnya berkisar antara 7 sampai 8,5. Kondisi perairan yang bersifat terlalu asam maupun basa akan membahayakan kelangsungan hidup organisme karena akan menyebabkan terjadinya gangguan metabolisme dan respirasi. Disamping itu pH yang sangat rendah akan menyebabkan mobilitas berbagai senyawa logam berat yang bersifat toksik semakin tinggi, yang tentunya akan mengancam kelangsungan hidup organisme akuatik. Sementara pH yang tinggi akan menyebabkan keseimbangan amoniak meningkat dan dapat bersifat toksik bagi organisme (Andhika, 2013)

Kandungan oksigen terlarut (*Dissolved oxygen/DO*) merupakan banyaknya oksigen terlarut dalam suatu perairan. Oksigen terlarut merupakan suatu faktor yang sangat penting di dalam ekosistem perairan, terutama sekali dibutuhkan untuk proses respirasi sebagian besar organisme air. Kelarutan oksigen di dalam air sangat dipengaruhi terutama oleh suhu.

Kelarutan maksimum oksigen di dalam air terdapat pada suhu 0° C yaitu sebesar 14,16 mg/L O<sub>2</sub>. Konsentrasi oksigen terlarut menurun sejalan dengan meningkatnya suhu air. Peningkatan suhu menyebabkan konsentrasi oksigen menurun dan sebaliknya suhu yang semakin rendah meningkatkan konsentrasi oksigen terlarut. Nilai DO yang berkisar antara 5,45 – 7 mg/L cukup baik bagi proses kehidupan biota perairan. Makin rendah nilai DO menunjukkan semakin tinggi tingkat pencemaran suatu ekosistem perairan tersebut (Andhika, 2013).

*Chemical Oxygen Demand* (COD) menjelaskan kadar jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi kandungan organik dalam air limbah *Greywater*. Tingginya kadar COD diperairan menunjukkan berkurangnya kadar oksigen terlarut dalam perairan, akibat aktifitas oksidasi kandungan organik dalam air. Hal ini juga menunjukkan tingginya kandungan organik di dalam perairan.

### 2.1.3 Nitrogen

*Greywater* pada umumnya mengandung sedikit nutrien dibandingkan air limbah yang bersumber dari toilet. Meskipun demikian, nutrien seperti Nitrogen

dan Fosfor merupakan parameter penting yang bermanfaat bagi tanaman, dan dengan dilakukan pengolahan dengan bantuan tanaman, dapat mengurangi dampak negatif bagi lingkungan perairan.

Kandungan Nitrogen dalam air limbah relatif rendah. Limbah dapur adalah sumber utama Nitrogen dari *Greywater* domestik, untuk limbah *Greywater* dari kegiatan mandi dan laundry umumnya ditemukan dalam konsentrasi rendah. Nitrogen di *Greywater* bersumber dari amonia yang terkandung dalam produk pembersih serta protein dalam daging, sayuran, sampo yang terdapat kandungan protein dan produk rumah tangga lainnya (Del Porto and Steinfeld, 2000). Kadar Nitrogen di air limbah *Greywater* rumah tangga berkisar 5 – 50 mg/L, pernah ditemukan juga kadarnya mencapai 76 mg/L pada *Greywater* dari dapur (Siegrist, Witt dan Boyle, 1976).

Senyawa Nitrogen memberikan dampak penting bagi pertanian. Pada konsentrasi tertentu dan dalam bentuk ammonium, Nitrogen merupakan unsur hara yang diperlukan pada beberapa jenis tanaman air. Senyawa Nitrogen yang berbentuk gas  $\text{NH}_3$  jarang terdapat dalam air, jikapun ada akan berubah menjadi  $\text{NH}_4^+$ . Kelompok nitrogen lain yang cukup berbahaya yakni nitrit dan nitrat karena dapat mengikat hemoglobin dalam darah dan menggantikan  $\text{O}_2$  dan kelompok nitrogen yang juga cukup berbahaya yakni nitrogen amoniak. Jika kadar nitrogen amoniak di lingkungan dalam konsentrasi 50 ppm tanpa menggunakan perlindungan apapun dapat menyebabkan iritasi pada mata dan dapat menyebabkan gangguan pernafasan.

Penyerapan kadar Nitrogen sangat bermanfaat bagi tanaman. Misalnya saja untuk membentuk protein, lemak dan berbagai persenyawaan organik yang membantu meningkatkan mutu tanaman penghasil daun – daunan. Selain itu juga diperlukan untuk pembentukan atau pertumbuhan bagian vegetatif tanaman, seperti daun, batang dan akar, berperan penting dalam proses fotosintesis. Penurunan senyawa N dalam tiap unit bergantung pada metabolisme  $\text{NH}_4\text{-N}$ . Penurunan  $\text{NH}_4\text{-N}$  dalam unit uji ini terkait dengan proses nitrifikasi amonium menjadi nitrat, dimana nitrat merupakan senyawa stabil dalam daur ulang Nitrogen yang nantinya akan diserap tumbuhan sebagai nutrisi. Amonia sebagai

Nitrogen ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) diubah melalui dua proses, yaitu penyerapan ke atas media di permukaan pembuluh batang tumbuhan diikuti oleh proses nitrifikasi kepada Nitrit – Nitrogen ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) dan Nitrat – Nitrogen ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ). Selain itu terjadi juga proses asimilasi Nitrogen, proses ini merupakan proses biologis yang mengubah bentuk Nitrogen anorganik menjadi susunan organik yang digunakan untuk pembentukan dinding sel dan jaringan. Mikroorganisme mengasimilasi *nutrient* untuk pertumbuhan, seperti amonium dapat bergabung membentuk asam amino oleh bakteri *autotroph* dan *heterotroph* (Tias, 2013). Asam amino ditransformasi menjadi bentuk protein, purin dan pirimidin yang digunakan sebagai sumber energi tanaman tersebut.

### 2.1.3.1 Siklus Nitrogen

Proses transformasi Nitrogen terdiri dari mineralisasi (*aminonification*), nitrifikasi, denitrifikasi, fiksasi nitrogen, asimilasi (penyerapan oleh tanaman dan bakteri), serta proses lain yang mendukungnya (Lee dan Lin, 1999). Proses mineralisasi, penyerapan oleh tanaman, nitrifikasi dan *dissimilatory nitrate reduction to ammonium* (DNRA) merupakan proses perubahan dari satu bentuk ke bentuk lain dari Nitrogen. Proses denitrifikasi dan *ammonia volatilisation* merupakan proses *export* dan menghasilkan jumlah kehilangan Nitrogen dari sistem. Fiksasi Nitrogen merupakan proses yang penting yaitu proses penangkapan Nitrogen dari atmosfer menuju daratan dan ekosistem air (Merz, 2000).

#### Mineralisasi (Ammonifikasi)

Mineralisasi merupakan proses transformasi bahan organik menjadi bahan anorganik (Merz, 2000). Mineralisasi merupakan proses transformasi N organik secara biologis menjadi  $\text{NH}_4^+$  yang terjadi selama proses degradasi bahan organik berlangsung (Gambrell, 1978). Mineralisasi terjadi melalui penguraian jaringan organik yang mengandung asam amino oleh mikroba, hidrolisis dari urea dan asam urat, dan melalui ekskresi yang dikeluarkan secara langsung oleh tanaman dan hewan (Kadlec dan Knight, 1996).

Mineralisasi dapat terjadi pada kondisi aerobik maupun anaerobik, tetapi pada proses an-aerobik terjadi sangat lambat dikarenakan berkurangnya bakteri heterotropik pada lingkungan tersebut. Proses mineralisasi dipengaruhi oleh temperatur (optimum pada 40-60° C), pH (optimal pada pH 6,5 dan 8,5), perbandingan karbon dan nitrogen (C/N ratio) dari substrate, tersedianya nutrisi didalam tanah, dan sifat dari tanah seperti struktur dan tekstur tanah (Reddy dan Patrick, 1984). Proses mineralisasi bahan organik akan melepaskan ion amonia dan dikontrol oleh pH. Pada pH tinggi (misal diatas 9) arah kesetimbangan menuju ke amonia (jumlah amonia yang terbentuk akan semakin bertambah). Amonia mudah menguap pada pH tinggi, sehingga hilangnya gas amonia dapat melalui penguapan, tetapi dalam kondisi alamiah proses hilangnya amonia berlangsung minimal.

#### Nitrifikasi

Setelah ion  $\text{NH}_4^+$  terbentuk melalui proses mineralisasi masih ada beberapa perjalanan dari nitrogen yang akan terjadi, diantaranya diserap oleh akar tanaman, atau digunakan oleh mikroorganisme an-aerobik dan diubah menjadi bahan organik, terjadi proses *ion exchange* oleh partikel tanah, atau akan mengalami proses nitrifikasi (Mitsc dan Gosselink, 1993). Nitrifikasi merupakan proses oksidasi secara biologi dari ammonium-N menjadi nitrat-N dengan nitrit-N ( $\text{NO}_2^-$ ) sebagai produk intermediate (Lee dan Lin, 1999).

Sebagian besar mikroorganisme yang menggunakan karbon organik sebagai sumber energi (*heterotroph*) dapat melakukan oksidasi kandungan Nitrogen. Tetapi nitrifikasi secara *autotroph* umumnya mendominasi proses amonium menjadi nitrat (Merz, 2000). Proses nitrifikasi dilakukan dengan bantuan dua grup bakteri kemoautotrophik yang dapat melakukan proses oksidasi. Langkah pertama (Mitsc dan Gosselink, 1993) yaitu oksidasi amonium menjadi nitrit :



Proses ini dilakukan dengan bantuan bakteri *Nitrosomonas sp.* Langkah kedua yaitu oksidasi nitrite menjadi nitrate :



Proses ini dilakukan oleh bakteri *Nitrobacter sp.*

Bakteri nitrifikasi memerlukan karbon dioksida sebagai sumber karbon dan akan berhenti berkembang serta melakukan proses nitrifikasi apabila persediaan karbon dioksida terbatas (Merz,2000). Pertumbuhan bakteri nitrifikasi relatif sangat lambat dibandingkan dengan bakteri heterotropik, oleh karena itu diperlukan area permukaan yang luas untuk perkembangan *biofilm* yang merupakan cara untuk mengoptimalkan proses nitrifikasi.

Proses nitrifikasi dikontrol oleh beberapa faktor diantaranya: suplai dari ammonium, suplai dari oksigen, suplai dari karbon dioksida, kepadatan populasi dan bakteri nitrifikasi, temperatur, pH dan alkalinitas. (Merz, 2000).

#### Denitrifikasi

$\text{NO}_3^-$  lebih aktif bergerak dibandingkan  $\text{NH}_4^+$  didalam larutan. Jika  $\text{NO}_3^-$  mengalami asimilasi oleh tanaman, mikroba atau mengalir menuju air tanah dengan pergerakan yang cepat, tetapi  $\text{NO}_3^-$  mengalami proses denitrifikasi (Lee dan Lin,1999). Denitrifikasi adalah proses reduksi dari  $\text{NO}_3^-$  secara biologi menjadi bentuk gas seperti molekul  $\text{N}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ , dan  $\text{N}_2\text{O}$  (Novonty dan Olem, 1994). Proses dissimilatori denitrifikasi terjadi selama proses respirasi dari bakteri heterotroph (Merz, 2000). Pada kondisi an-aerobik (bebas oksigen) serta adanya substrat organik (karbon), organisme denitrifikasi seperti *bacillus*, *micrococcus*, *alcaligenes* dan *spirillum* dapat menggunakan nitrat sebagai elektron akseptor selama proses respirasi. Organisme ini mengoksidasi bahan karbohidrat dengan dikonversi oleh  $\text{NO}_3^-$  menjadi karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ), air ( $\text{H}_2\text{O}$ ), dan N dalam bentuk gas dan bahan oksida gas lainnya yang dihasilkan dalam proses denitrifikasi (Reddy, 1984)



Beberapa hal yang dapat mempengaruhi kecepatan denitrifikasi meliputi ada dan tidak adanya oksigen, siap sedianya bahan karbon, temperatur, kelembapan tanah, pH, keberadaan mikroba denitrifikasi, tekstur tanah, dan adanya genangan air (Reddy, 1984).

#### Fiksasi Nitrogen

Fiksasi nitrogen merupakan proses yang sangat penting baik secara khusus ataupun umum. Proses utamanya adalah untuk menjaga keseimbangan kehilangan N pada saat denitrifikasi. Fiksasi nitrogen adalah proses dimana gas  $N_2$  di atmosfer di difusikan ke dalam larutan dan di reduksi lagi menjadi bahan N organik oleh bakteri *autotroph*, dan *heterotroph*, alga biru-hijau, dan tanaman tinggi lainnya (Kadlec dan Knight, 1996). Fiksasi Nitrogen dapat dihambat dengan konsentrasi N yang tinggi, umumnya proses fiksasi nitrogen tidak terjadi pada ekosistem yang kaya akan nitrogen. Energi yang dibutuhkan untuk melakukan proses fiksasi nitrogen sangat tinggi dan biasanya dihasilkan oleh beberapa aktivitas fotosintesis.

#### 2.1.4 Fosfor

Di negara – negara dimana penggunaan deterjen yang mengandung Fosfor belum dilarang, maka kegiatan mencuci piring dan sabun cuci deterjen adalah sumber utama Fosfor dalam *Greywater*. Konsentrasi Fosfor biasanya ditemukan dalam kisaran dari 4 – 14 mg/L didaerah yang menggunakan deterjen nonfosfor (Eriksson dkk, 2002). Namun dalam kasus lain, negara yang menggunakan deterjen dengan fosfor, kandungan fosfor dalam air limbah dapat berkisar antara 45 – 280 mg/l (Friedler, 2004).

Bahan tambahan pada deterjen merupakan salah satu pendukung dari penyebab pencemaran lingkungan, salah satunya adalah polifosfat. Fosfor dalam deterjen merupakan salah satu sumber utama pencemaran fosfor dalam air. Kehadiran fosfat dalam air limbah dalam bentuk orthofosfat seperti  $HPO_4$ ,  $PO_4$ . Polyfosfat seperti  $Na_2 HPO_4$  yang terdapat di dalam detergen dan fosfat organik. Fosfat dalam air dapat berbentuk :

- Orthofosfat, adalah senyawa monomer seperti  $\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{HPO}_4$  dan  $\text{PO}_4$ ,
- Polifosfat, juga disebut *Condensed Phosphate* merupakan senyawa polimer seperti  $(\text{PO}_3)_6$ ,  $\text{P}_3\text{O}_{10}$
- Fosfat organik adalah fosfor yang terikat dengan senyawa-senyawa organis, sehingga tidak berada dalam larutan secara lepas (Alaerts dan Santika, 1984)

Didalam perairan alami, kadar fosfor hanya sedikit sekali. Jika kadar fosfor lebih dari 1 mg/L maka dapat menyebabkan eutrofikasi pada suatu perairan. Proses eutrofikasi dapat menyebabkan perairan memiliki konsentrasi hara yang sangat tinggi dan kandungan oksigen yang rendah. Pada kondisi seperti ini, hanya beberapa jenis tumbuhan dan hewan tertentu saja yang dapat tumbuh dan berkembang. Akibatnya, kadar nitrit dan fosfor dalam air bertambah dan mengakibatkan alga mendominasi perairan. Dengan mendominasinya alga maka akan menutup perairan dan menghalangi sinar matahari, akibatnya oksigen terlarut akan menurun sehingga mematikan ikan dan biota air lainnya. Selain itu kelebihan fosfor juga dapat menimbulkan kekurangan Fe, Cu dan Zn. Bila kadar fosfor dalam air sangat rendah ( $< 0,01$  mg/L) pertumbuhan ganggang dan tanaman akan terganggu, yang dinamakan oligotrop.

Kebutuhan P bagi tumbuhan sangat besar tetapi sedikit lebih kecil dibawah kebutuhan akan Nitrogen. Proses penurunan kandungan Fosfor total pada unit uji terjadi karena adanya proses penyerapan Fosfor oleh akar tumbuhan, enzim fosfatase yang dihasilkan oleh berbagai mikroba dimana P organik diubah/dilepas menjadi Fosfat anorganik karena akar tumbuhan akan menyerap larutan fosfor dalam bentuk larutan ion fosfat anorganik ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  atau  $\text{HPO}_4^{2-}$ ). Penguraian senyawa fosfor juga dapat terjadi akibat pembusukan bagian tumbuhan. Pengaruh tumbuhan disini sangatlah kecil, proses penurunan Fosfor total lebih dipengaruhi adanya penyerapan oleh media pasir yang merupakan sistem yang efektif dalam penyerapan kandungan Fosfor. Mekanisme penyisihan Fosfor di dalam sistem *constructed wetland* adalah penyerapan oleh tumbuhan, beberapa reaksi ikatan kimia dan pengendapan yang terjadi dalam sedimen. Pengendapan merupakan mekanisme penyisihan Fosfor yang sangat penting karena kecepatan penyisihan Fosfor melalui mekanisme ini lebih tinggi dibandingkan penyerapan oleh

tumbuhan. Pembuangan bagian tumbuhan merupakan bagian yang penting dalam menyisihkan Fosfor melalui cara kimia (Jenie dan Rahayu 1999).

#### 2.1.4.1 Total Fosfor

Tingginya busa yang terdapat di dalam pengolahan limbah tidak hanya timbul dari *Surface active agent* pada deterjen. Bahan tambahan pada deterjen mendukung adanya penyebab kerusakan lingkungan. Salah satunya adalah Polifosfat. Fosfor pada detergen dianggap sumber utama parameter Fosfor dalam air. Kehadiran Fosfor dalam air limbah berbentuk Orthophosfat (seperti  $\text{HPO}_4$ ,  $\text{PO}_4$ ). Kandungan Fosfor dalam air limbah dipakai dalam penentuan perencanaan perlakuan air limbah secara biologi dalam hubungannya dengan kebutuhan Fosfor untuk mendukung pertumbuhan mikroba.

Fosfor dalam air dapat berbentuk Orthophosfat, Poliphosfat dan Fosfat organis. Berikut adalah bentuk dari Fosfor yang terdapat dalam air :

1. Orthophosfat adalah senyawa monomer seperti  $\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{HPO}_4$  dan  $\text{PO}_4$ .
2. Poliphosfat / *Condensed Phosphates* merupakan senyawa polimer seperti  $(\text{PO}_3)_6$  (Heksameta fosfat),  $\text{P}_3\text{O}_{10}$  (Tripolifosfat)
3. Fosfor organis adalah fosfor yang terikat dengan senyawa-senyawa organis, sehingga tidak berada dalam larutan secara terlepas.

Didalam perairan alami, kandungan Fosfor hanya sedikit sekali. Apabila kadar fosfat lebih dari 1 mg/L dapat menyebabkan eutrofikasi pada suatu perairan (Mason, 1981). Proses eutrofikasi menyebabkan perairan mempunyai konsentrasi hara yang tinggi, dan kandungan oksigen terlalu rendah. Pada kondisi ini, hanya jenis-jenis hewan dan tumbuhan tertentu yang dapat berkembang. Akibat dari bertambahnya kandungan nitrat dan fosfat dalam air, alga akan mendominasi perairan. Dengan tertutupnya suatu perairan oleh tumbuhan air, maka transmisi sinar matahari terhalangi akibatnya oksigen terlarut akan menurun sehingga mematikan ikan dan kehidupan air yang lain (Benefield dan Randall, 1980).

Selain itu, pertumbuhan alga yang berlebihan menimbulkan beberapa masalah seperti :

- Memberikan warna yang kurang menyenangkan berupa warna hijau biru atau hijau.
- Menimbulkan buih masif yang terapung yang dapat menghambat navigasi atau mengganggu penggunaan air.
- Pada saat pembusukan, menimbulkan bau yang dapat menyingkirkan penduduk dari area yang berangkutan.
- Penggunaan oksigen terlarut di perairan yang bersangkutan pada saat berlangsungnya dekomposisi dan akibatnya terjadi kematian organisme-organisme akuatik setempat akibat berkurang kadar oksigen terlarut.
- Menjerat atau menyangkut pada peralatan tangkap ikan atau alat pengambilan air.
- Mereduksi “*carrying capacity*” sistem distribusi air.
- Merusak area pemandian atau pemanfaatan air yang lain.

Bila kadar Fosfor pada air alam sangat rendah ( $<0,01$  mg /L), pertumbuhan tanaman dan ganggang akan terhalang. Keadaan ini dinamakan oligotrop. Selain itu, kelebihan P dapat menimbulkan kekurangan Fe, Cu, dan Zn pada tanaman karena terbentuknya Zn Fosfor yang tidak larut (Rinsema, 1983). Sedangkan dalam ilmu kesehatan, keberadaan fosfat dalam tubuh manusia atau hewan belum ada penelitian secara lebih lanjut.

Sumber Fosfor pada air limbah adalah berasal dari :

1. Pemakaian detergen
2. Air seni

Kandungan Phosfat dalam air seni adalah sebesar 2,47 mg/hari.

3. Tinja

Kandungan Phosfat dalam tinja adalah sebesar 1,37 mg/hari.

4. Sisa Makanan

## **2.2 *Constructed wetland***

### **2.2.1 *Horizontal – flow planted filter***

*Constructerd wetland* tipe aliran horizontal dengan tanaman, terdiri dari *bed* yang di lapisi bahan kedap air dan diisi dengan pasir atau kerikil. Bahan

pengisi (media) alternatif biasanya seperti pasir, yang diketahui murah dan dapat mengurangi biaya bila di terapkan sebagai substrat atau media untuk pertumbuhan tanaman.

Aliran *Greywater* masuk pada penerapan *constructed wetland* dengan tipe ini adalah dengan memasuki zona inlet secara horisontal dengan mengenai bagian bawah (akar) vegetasi. Aliran air mengalir dibawah permukaan dikendalikan dengan *swivelling elbow* sederhana yang diletakan 10 – 15 cm dibawah permukaan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.1.

Sedangkan permukaan diusahakan tetap horisontal untuk mencegah terjadinya erosi, sehingga bagian bawah untuk *outlet* dibuat dengan kemiringan sebesar 0,5 – 1 % dari *inlet*. Ukuran butiran dari media harus memungkinkan aliran mengalir lancar tanpa terganggu, berukuran tidak terlalu besar yang dapat mengganggu efisiensi pengolahan, teruntuk media kerikil ukuran butir yang seragam sebesar 20 – 30 mm dirasa optimal untuk digunakan. Sedangkan untuk media dengan butiran kasar ukuran yang baiknya digunakan sebesar 40 – 80 mm.

Untuk dapat bekerja dengan baik, teknik ini membutuhkan *hydraulic retention time* berkisar antara 3 – 7 hari, dengan *hydraulic loading rate* dan *organic loading rate* secara berturut adalah 5 – 8 cm/hari dan 6 – 10 gr BOD/m<sup>2</sup>/hari. Produksi *Greywater* rerata dan HRT yang tinggi maka, teknologi ini membutuhkan 1 -3 m<sup>2</sup> lahan untuk tiap orang.

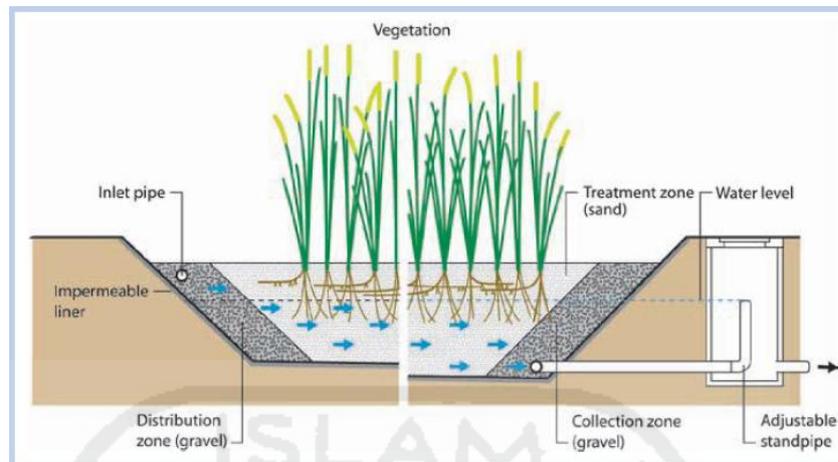
Pengurangan kadar nutrien dalam *Greywater* menggunakan metode ini menunjukkan bahwa tanaman dapat mengurangi sebagian kecil kandungan nutrien air limbah, yaitu sebesar 15 – 40% kandungan nitrogen dan 30 – 50% fosfor (Harindra, 2001). Tetapi dilaporkan juga bahwa metode ini dapat mengurangi kandungan Nitrogen sampai sebesar 70% di penelitian lainnya (Crites dan Tchobanoglous, 1998).

Pengaplikasian teknologi ini cocok untuk daerah beriklim tropis dan subtropis. Bila di terapkan pada daerah beriklim dingin cenderung bermasalah akibat dapat terjadinya pembekuan disaat musim dingin.

**Tabel 2.1** Kriteria Desain *Horizontal – flow planted filter (horizontal-flow constructed wetlan)*

<b>Perinsip Kerja</b>	Mengalirkan air limbah <i>Greywater</i> dengan aliran mendatar dan <i>continously</i> melewati filter berupa media tanam. Pada bagian perakaran, tanaman menyediakan lingkungan yang baik untuk tumbuh kembang mikroba dan juga terjadi transfer oksigen ke zona akar. Bahan organik akan tersaring dan didegradasi oleh mikroorganisme dalam kondisi aerobik maupun anaerobik.
<b>Kriteria Desain</b>	HRT = 3-7 hari; HLR = 5-8 cm/hari; OLR = 6-10 g BOD/m <sup>2</sup> /hari; kedalaman media = 0,6 m; media tanam: pasir kasar, kerikil, PET; luas area: 1-3 m <sup>2</sup> /orang
<b>Efisiensi Removal</b>	BOD = 80-90%; TSS = 80-95%; TN = 15-40%; TP = 30-45%; FC ≤ 2-3 log; LAS > 90%
<b>Penerapan</b>	Sebagai pengolahan lanjutan setelah pengolahan awal dalam <i>spetic tank</i> . Hasil olahan dapat digunakan kembali untuk keperluan irigasi, resapan air tanah atau dibuang ke badan air.
<b>Kelebihan</b>	Efisien menurunkan kandungan organik terlarut dan tersuspensi; aliran mengalir di bawah media; tidak mengeluarkan bau; tidak menjadi tempat perkembangbiakan nyamuk; dapat dibangun dengan mudah dan murah menyesuaikan kadaan material di lokasi tempat tinggal; memungkinkan digunakan untuk pertanian.
<b>Kelemahan</b>	Membutuhkan tempat yang luas, membutuhkan pengetahuan dan pengalaman dalam membangun, media tanam yang berkualitas tidak murah, ada risiko penyumbatan bila <i>Greywater</i> tidak diolah sempurna di awal ( <i>Pretreatment</i> ).
<b>Contoh Negara yang Menerapkan</b>	Eropa, USA, Australia, Peru, Malaysia, Jordan dan Sri Lanka

Sumber: Morel and Diener, 2006



Gambar 2.1 *Constructed wetland Horizontal-flow planted filter*

Sumber: Morel and Diener, 2006

### 2.2.2 *Vertical-flow planted filter*

Dapat dilihat pada gambar 2.2, desain *constructed wetland* dengan aliran vertikal, dilaksanakan dengan bergantung pada *hydraulic and organic loads*. Efisiensi removal BOD, COD dan patogen metode ini disebutkan lebih tinggi di bandingkan dengan *constructed wetland* aliran horisontal. Namun untuk pengurangan kadar padatan tersuspensi masih lebih baik metode aliran horisontal (Cooper, 1999). Rata –rata efisiensi removal berkisar antara 75 – 95% untuk kandungan BOD dan 65 – 85% untuk TSS. Removal untuk kandungan patogen total *coliforms* berkisar antara 2 – 3 log dan dapat meningkat sampai 5 log berdasarkan *report* penelitian di Nepal (Shrestha, 1999). Diketahui juga pengolahan dengan metode ini dapat terjadi penurunan nilai pH. Namun hal tersebut dapat di atasi dengan penambahan lapisan pecahan batu kapur dengan ketebalan 0,3 m sebagai *buffer zone* ketika mengolah air limbah dari dapur (Harindra, 2001).

Aliran vertikal menunjukkan hasil yang baik untuk kegiatan nitrifikasi (perubahan amonia menjadi nitrat) dibandingkan aliran horizontal dalam suplai oksigen. Umumnya dilaporkan bahwa kegiatan nitrifikasi yang terjadi hampir sempurna dengan efisiensi removal ammonia melebihi 90% (Cooper, 1999). Lain

halnya dengan proses denitrifikasi dengan metode ini menunjukkan tidak terlalu banyak, hal ini membuat besaran removal total nitrogen agak rendah.

Pengurangan Fosfor dalam aliran vertikal ini bergantung pada kapasitas serapan fosfor media. Umumnya fosfor ditahan oleh Ca, Al dan Fe. Namun, material yang biasa digunakan sebagai substrat (*pea gravel, coarse sand*) biasanya tidak memiliki konsentrasi tinggi dari elemen tersebut, karena itu, pengurangan kadar fosfor menjadi rendah dan kandungan tersebut tetap akan hilang namun dengan waktu agak lama. Pengurangan kadar fosfor dengan aliran vertikal (dengan atau tanpa tanaman) tidak melebihi 35% (von Sperling and Chemicharo, 2005).

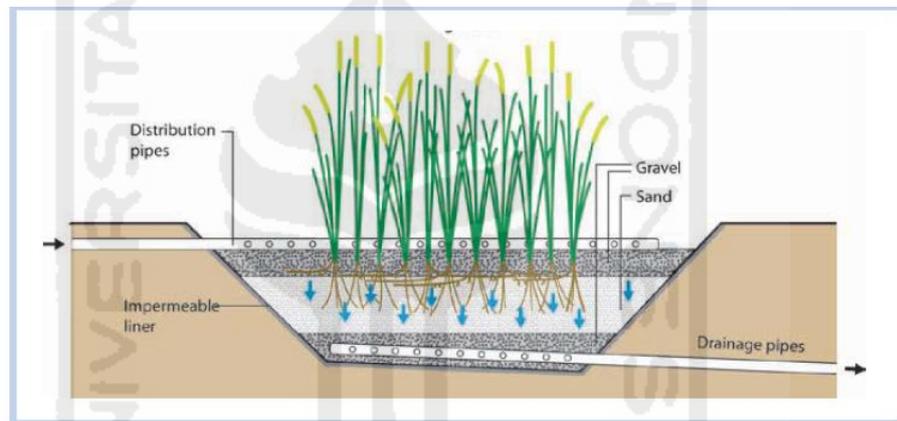
*Constructed wetland* pada dasarnya dapat di aplikasikan dengan berbagai media yang sesuai. Mengingat akan kebutuhan tekanan untuk pengaliran, maka di perlukan penyesuaian lokasi dengan bahan alami yang dapat digunakan, serta tidak mempengaruhi kegiatan pengaliran dengan gravitasi. Untuk penerapan di lahan datar diperlukan pompa, maka dari itu diperhatikan juga pasokan listrik dan perawatannya.

**Tabel 2.2** Kriteria Desain *Vertical – flow planted filter (vertical-flow constructed wetland)*

<b>Perinsip Kerja</b>	Pengaliran dilakukan dengan mengalirkan pada bagian atas media tanam, kemudian air akan merembes masuk kedelam media tanam dan diharapkan terjadi proses fisik, biologi dan kimia untuk mengolah kandungan air limbah. Pengolahan <i>Greywater</i> dilakukan pada jaringan drainase.
<b>Kriteria Desain</b>	HLR = 10-20 cm/hari; OLR = 10-20 g BOD/m <sup>2</sup> /hari; kedalaman media = 0,8-1,2 m; media tanam: pasir, kerikil, pecahan bata; luasan: 0,5-3 m <sup>2</sup> /orang
<b>Efisiensi Removal</b>	BOD = 75-95%; TSS = 65-85%; TN = <60%; TP = <35%; FC ≤ 2-3 log; MBAS ≤ 90%, TB ≤ 50%.
<b>Penerapan</b>	Sebagai pengolahan kedua maupun lanjutan setelah pengolahan awal didalam tangki septik. Hasil olahan dapat digunakan kembali untuk kegiatan irigasi atau dialirkan pada badan air.
<b>Kelebihan</b>	Efisien menurunkan kandungan organik terlarut dan tersuspensi; nutrien dan patogen; pengaliran dibawah permukaan juga tidak menimbulkan bau;

	tanaman dapat dijadikan sebagai taman hias.
<b>Kelemahan</b>	Pengaliran membutuhkan bantuan tekanan baik dengan pompa maupun dengan <i>Siphon</i> ; dapat terjadi penyumbatan dan menurunkan kemampuan pengolahan; material media tanam berkualitas masih mahal dan tidak selalu tersedia; butuh pengetahuan dan pengalaman untuk desain, pembangunan serta pemantauan.
<b>Contoh Negara yang Menerapkan</b>	Eropa, USA, Australia, Israel, Nepal dan Sri Lanka

Sumber: Morel and Diener, 2006



**Gambar 2.2** *Constructed wetland Vertical-flow planted filter*

Sumber: Morel and Diener, 2006

### 2.3 Akuaponik

Aquaponik adalah salah satu alternatif dalam bidang pertanian, dimana kegiatan bercocok tanam tidak dilakukan di atas tanah. Aquaponik melibatkan dua kegiatan berupa hidroponik dan akuakultur. Dalam pengolahan air limbah *greywater* telah banyak menerapkan berbagai alternatif yang bersifat ramah lingkungan atau dikeanal dengan ecosan (*Ecological sanitation*). Teknik akuaponik pada umumnya kegiatan yang mengintegrasikan budidaya ikan secara tertutup yang dipadukan dengan tanaman dalam proses ini, tanaman memanfaatkan unsur hara dari kotoran ikan, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.3.

Kotoran dalam kolam dapat menjadi racun bagi ikan. Amonia yang terakumulasi dalam kolam dioksidasi menjadi nitrit oleh bakteri *Nitrosomonas* lalu nitrit tersebut dioksidasi oleh bakteri *Nitrobacter* menghasilkan nitrat. Nitrat inilah yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman, jadi dengan menggunakan sistem akuaponik, zat yang semula racun bagi ikan dapat dimanfaatkan untuk produksi tanaman. Tanaman dalam teknik akuaponik berperan sebagai biofilter yang akan mengurangi zat racun tersebut menjadi zat yang tidak berbahaya sekaligus menyuplai oksigen pada air yang digunakan untuk pemeliharaan ikan. Dengan teknik ini akan terjadi simbiosis mutualisme atau siklus yang saling menguntungkan. Keuntungan yang diperoleh adalah efisiensi penggunaan air dan pengurangan pencemaran limbah.

Akuaponik merupakan sistem berkelanjutan yang mengkombinasikan akuakultur dan hidroponik dalam lingkungan yang simbiotik. Akuaponik terdiri atas dua komponen penting yaitu, bagian hidroponik tempat tanaman tumbuh dan bagian akuakultur tempat ikan di pelihara. Untuk sistem pengaliran dilakukan dengan cara resirkulasi.

Dalam akuakultur normal, ekskresi ikan akan terakumulasi di air membentuk sedimen dan dapat meningkatkan toksisitas air jika tidak dibuang. Sedimen dari kotoran ikan dan pakan yang tidak dimakan dapat terakumulasi pada sistem pemeliharaan tertutup tanpa sirkulasi. Berbeda dengan sistem air resirkulasi, ekskresi ikan diberikan pada tanaman agar dipecah menjadi nitrit dan nitrat melalui proses alami. Ekskresi ini dimanfaatkan oleh tanaman sebagai nutrisi. Kemudian air bersirkulasi kembali ke sistem akuakultur.

Akuaponik memiliki sistem tambahan seperti biofilter yang menjadi tempat bagi bakteri nitrifikasi untuk mengubah amonia dari kotoran ikan menjadi nitrat yang dapat digunakan oleh tumbuhan. Tanaman di tanam di sistem akuaponik dengan akar terendam dalam air. Hal ini membuat tanaman menyerap senyawa nitrogen yang bersifat racun bagi ikan sehingga akar berfungsi sebagai penyaring. Dari sistem hidroponik, air dibersihkan dan diaerasi sebelum kembali ke sistem akuakultur. Demikian siklus ini berlanjut terus – menerus dengan bantuan oleh

pompa air. Teknik ini dapat di terapkan di taman kota dan perumahan (Budiana, 2015).



**Gambar 2.3** *Aquaponic System*

Sumber <http://www.livinggreenandfrugally.com>

#### 2.4 Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*)

Genjer (*Limnocharis flava*) merupakan tanaman yang hidup di rawa atau kolam berlumpur yang banyak airnya. Tanaman ini berasal dari Amerika, terutama bagian negara beriklim tropis. Genjer juga dapat dimanfaatkan sebagai tanaman pangan. Genjer biasanya ditemukan tumbuh bersama – sama dengan enceng gondok (van Bergh, 1994).

Genjer dalam bahasa internasional dikenal sebagai *limnocharis sawahflower rush*, *sawah – lettuce*, *velvetleaf*, *yellow bur – head* atau *cebolla de chuco*. Tumbuhan ini tumbuh di permukaan perairan dengan akar yang masuk ke dalam lumpur. Tinggi tanaman genjer dapat mencapai setengah meter, memiliki daun tegak atau miring, tidak mengapung, batangnya panjang dan berlubang, serta bentuk helai daunnya bervariasi. Genjer memiliki mahkota bunga berwarna kuning dengan diameter 1,5 cm dan kelopak bunga berwarna hijau.

Tanaman genjer dapat bereproduksi secara vegetatif dan dengan biji. Biji yang terkandung dalam kapsul matang atau folikel merupakan biji yang ringan. Kapsul yang kosong dapat berkembang menjadi tanaman vegetatif yang membentuk tanaman inang atau dapat mengapung untuk menetap di tempat lain. Tanaman ini selalu berbunga sepanjang tahun di wilayah dengan kelembaban

yang cukup. Namun tanaman ini dapat menjadi tanaman tahunan dimana kelembaban bersifat musiman.

Adapun klasifikasi tanaman genjer adalah:

- Kingdom : *Plantae*
- Subkingdom : *Tracheobionta*
- Superdivisi : *Spermatophyta*
- Divisi : *Magnoliophyta*
- Kelas : *Liliopsida*
- Subkelas : *Alismatidae*
- Ordo : *Alismatales*
- Famili : *Limnocharitaceae*
- Genus : *Limnocharis*
- Spesies : *L. flava (L.) Buch*



**Gambar 2.4** Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*)

## 2.5 Studi Terdahulu

Berikut adalah beberapa penelitian terdahulu yang telah dirangkum dengan sumber referensi dan hasil penelitian tersebut.

**Tabel 2.3** Studi Terdahulu

NO	Referensi	Hasil
1.	Kamarudzaman A. N. dkk, 2011.	-Sistem yang ditanam <i>Limnocharis flava</i> dan <i>Scirpus atrovirens</i> menunjukkan hasil yang lebih baik dibanding dengan unit Kontrol tanpa tanaman. <i>Limnocharis flava</i> menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan tanaman <i>Scirpus atrovirens</i> .  -Persen <i>removal</i> dari <i>Limnocharis flava</i> untuk NH <sub>3</sub> -N 61,3% dan PO <sub>4</sub> -P 52%.  -Persen <i>removal</i> dari <i>Scirpus atrovirens</i> untuk NH <sub>3</sub> -N 38,7% dan PO <sub>4</sub> -P 48%.
2.	Wijetunga dkk, 2009.	-Tanaman yang digunakan dalam penelitian adalah <i>Ipomoea aquatica</i> , <i>Limnocharis flava</i> , <i>Monochoria vaginalis</i> dan <i>Colocasia spp.</i>  -Efisiensi <i>removal</i> untuk COD tertinggi diperlihatkan oleh <i>Limnocharis flava</i> sebesar 68,39%. Sistem dengan tanaman ini juga lebih efektif menurunkan kadar TSS.
3.	Kamariah, 2006.	-Tanaman yang digunakan dalam penelitian adalah <i>Limnocharis flava</i> dan <i>Eichhornia crassipes</i> .  -Penurunan kadar yang diuji dengan <i>Constructed wetland</i> yang ditanami tanaman tersebut adalah 98,7% NH <sub>3</sub> -N,

		<p>90,2% <math>\text{PO}_4^{3-}</math>, 98,7% Fe, 92,5% Mn, dan 94,3% SS.</p> <p>-Penyerapan terbesar terdapat pada bagian akar tumbuhan.</p>
4.	Siswanto dkk, 2013.	<p>-Pengolahan menggunakan <i>constructed wetland</i> tipe FWS dengan tanaman bambu air. Penurunan kadar COD mencapai 55,9%</p> <p>-Penurunan kadar TSS mencapai 85%</p>
5.	Tias, 2013.	<p>-Penurunan konsentrasi Nitrogen didapati sebesar 77,28%</p> <p>-Penurunan konsentrasi total P didapati sebesar 57%.</p> <p>-Tanaman yang disiram dengan <i>Greywater</i> menunjukkan tingkat kesuburan yang baik.</p>