

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Balai Yasa Yogyakarta**

Balai yasa merupakan tempat untuk melakukan perawatan, pemeliharaan, serta perbaikan dan modifikasi sarana perkeretaapian. Berbeda dengan depot lokomotif yang perawatannya dapat dilakukan harian, selama enam bulanan, ataupun selama satu tahunan. Balai yasa tidak berada di bawah daerah operasi (DAOP), tetapi langsung berada di bawah kantor pusat PT Kereta Api Indonesia dan berbentuk unit pelaksana teknis (UPT).

Balai Yasa Yogyakarta atau lebih dikenal dengan sebutan Balai Yasa Pengok merupakan salah satu Balai Yasa di Indonesia yang berada di Yogyakarta. Balai yasa ini khusus digunakan untuk perbaikan dan perawatan lokomotif diesel elektrik maupun hidraulik. Selain itu, Balai Yasa Yogyakarta melayani perawatan kereta rel diesel elektrik serta melayani pemeliharaan kereta pembangkit maupun kereta makan pembangkit, termasuk di antaranya perbaikan generator hingga pengecatan kereta.

#### **2.2 Air Limbah**

Air limbah atau juga biasa dikenal dengan air kotor berasal dari limbah rumah tangga, air limbah industri, limbah manusia dan hewan, air limpasan hujan, dan infiltrasi air tanah. Air limbah pada dasarnya merupakan aliran air bekas pakai dari suatu komunitas (Lin, 2007)

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 tahun 2001, air limbah ialah sisa dari suatu usaha dan atau kegiatan yang berwujud cair. Air limbah dapat berasal dari rumah tangga (domestik) maupun industri.

Kualitas air limbah kerap mengandung banyak kotoran-kotoran yang tersuspensi maupun terlarut dalam air yang secara alami dapat mengganggu penggunaan air untuk tujuan-tujuan tertentu. Parameter-parameter yang digunakan untuk pengukuran kualitas air, meliputi parameter kimia, fisika dan biologi. Parameter fisika merupakan parameter kualitas air yang dapat diamati secara langsung, seperti kekeruhan, warna air, bau dan suhu. Parameter kimia meliputi, alkalinitas, keasaman,

karbohidroksida, kesadahan, ammonia, nitrat, fosfor, dan nitrogen. Sedangkan parameter biologi pada air limbah dilakukan dengan pengamatan populasi organisme mikro, seperti tumbuhan perintis, protozoa, ganggang hijau, dan bakteri (Ayuwanjani, 2008).

Air limbah yang tidak mengalami pengolahan terlebih dahulu dan dibuang secara terus-menerus akan memberikan dampak negatif terhadap kesehatan lingkungan, baik pada di daerah penghasil limbah maupun diluarnya. Contoh yang sering terjadi adalah tercemarnya daerah pantai karena bermuaranya sungai-sungai yang tercemar pada daerah tersebut (Supriyatno, 2000).

### **2.3 Logam Berat**

Logam berat ialah unsur logam dengan berat molekul tinggi. Dalam kadar rendah logam berat pada umumnya sudah beracun bagi tumbuhan dan hewan, termasuk manusia. Termasuk logam berat yang sering mencemari habitat ialah Hg, Cr, Cd, As, dan Pb (American geological Institute, 1976).

Logam berat itu terbagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Logam berat esensial: yaitu logam yang dalam jumlah tertentu dan sangat dibutuhkan oleh organisme. Apabila jumlahnya berlebihan, logam tersebut dapat menimbulkan efek toksik. Contohnya adalah Zn, Cu, Fe, Co, Mn, dan lain sebagainya.
2. Logam berat tidak esensial; yakni logam yang keberadaannya masih belum diketahui manfaatnya bahkan bersifat toksik, seperti Hg, Cd, Pb, Cr, dan lain-lain (Widowati dkk., 2008).

Logam berat merupakan salah satu kontaminan di lingkungan. Selain aktivitas alam, hampir semua aktivitas manusia juga berpotensi memberi kontribusi untuk menghasilkan logam berat sebagai dampak samping. Migrasi kontaminan ini ke daerah yang tidak terkontaminasi sebagai debu atau lindi melalui tanah dan penyebaran endapan yang mengandung lumpur adalah beberapa contoh kejadian yang berkontribusi terhadap kontaminasi ekosistem (Gaur et. al, 2004).

Kehadiran logam berat dalam lingkungan menjadi masalah yang cukup serius, mengingat debit mereka yang semakin meningkat, sifat toksik logam berat,

serta masuknya logam berat ke badan air yang dapat mempengaruhi kualitas air (Bashyal et. al, 2010, Purwaningsih, 2009).

Menurut Darmono (1995), faktor yang menyebabkan logam berat termasuk dalam kelompok zat pencemar dikarenakan adanya sifat-sifat logam berat yang tidak dapat terurai (*non degradable*) dan mudah diabsorpsi.

Organisme pertama yang terpengaruh akibat penambahan polutan logam berat ke tanah atau habitat lainnya adalah organisme dan tanaman yang tumbuh ditanah atau habitat tersebut. Dalam ekosistem alam terdapat interaksi antar organisme baik interaksi positif maupun negatif yang menggambarkan bentuk transfer energi antar populasi dalam komunitas tersebut. Dengan demikian pengaruh logam berat tersebut pada akhirnya akan sampai pada hierarki rantai makanan tertinggi yaitu manusia. Logam-logam berat diketahui dapat mengumpul didalam tubuh suatu organisme dan tetap tinggal dalam tubuh untuk jangka waktu lama sebagai racun yang terakumulasi (Saeni, 1997).

### **2.3.1 Besi (Fe)**

Besi (Fe) merupakan salah satu elemen kimiawi yang dapat ditemui pada hampir setiap tempat-tempat di bumi, pada semua lapisan geologis dan semua badan air. Konsentrasi besi yang tinggi dapat menodai kain dan perkakas dapur (Febrina et al., 2015).

Logam Fe adalah logam esensial yang dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan keberadaannya oleh makhluk hidup, akan tetapi apabila jumlahnya berlebih dapat menimbulkan efek toksik. Kandungan logam Fe yang tinggi berdampak pada kesehatan manusia diantaranya bisa menyebabkan keracunan (muntah), cacat lahir, gangguan usus, gangguan ginjal, sembelit, diabetes, gangguan pencernaan, pusing, mudah lelah, hepatitis, hipertensi, insomnia, bahkan kanker (Parulian, 2009).

Supriyantini dkk. (2015), menjelaskan apabila buangan industri mengandung logam berat Fe akan bersifat racun terhadap makhluk hidup. Hal ini senada dengan karakter logam berat yang sulit diuraikan, sehingga dapat terakumulasi dengan mudah pada badan air dan secara alamiah sulit dihilangkan.

### 2.3.2 Timbal (Pb)

Timbal (Pb) adalah salah satu jenis logam berat yang sering juga disebut dengan istilah timah hitam. Memiliki titik lebur yang rendah, mudah dibentuk, memiliki sifat kimia yang aktif sehingga biasa digunakan untuk melapisi logam agar tidak timbul perkaratan. Timbal merupakan logam yang lunak berwarna abu-abu kebiruan mengkilat dan memiliki bilangan oksidasi +2 (Sunarya, 2007).

Timbal (Pb) terdapat dalam berbagai bentuk di alam dan kini merupakan salah satu jejak logam yang sebarannya paling luas dan merata. Tanah dan tanaman dapat terkontaminasi oleh Timbal melalui knalpot mobil, debu, dan gas dari berbagai sumber industri (Tangahu *et al.*, 2011).

Berikut adalah tabel yang menunjukkan sifat fisika pada Timbal.

Sifat Fisika Timbal	Keterangan
Nomor atom	82
Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	11,34
Titik lebur (°C)	327,46
Titik didih (°C)	1.749
Kalor peleburan (kJ/mol)	4,77
Kalor penguapan (kJ/mol)	179,5
Kapasitas pada 25°C (J/mol.K)	26,65
Konduktivitas termal pada 300K (W/m K)	35,5
Ekspansi termal 25°C (µm/ m K)	28,9
Kekerasan (skala Brinell=Mpa)	38,6

Timbal merupakan salah satu logam berat yang sangat berbahaya bagi makhluk hidup karena bersifat karsinogenik, dapat menyebabkan mutasi, terurai dalam jangka waktu lama dan toksisitasnya tidak berubah (Brass & Strauss, 1981).

Pb dapat menjadi toksik akut bagi manusia ketika hadir dalam jumlah yang tinggi. Dikarenakan Pb tidak dapat terurai secara alami, begitu tanah terkontaminasi, tanah tersebut akan menjadi sumber paparan Pb jangka panjang. Pencemaran logam memiliki dampak yang berbahaya pada sistem biologis dan tidak akan mengalami biodegradasi.

Timbal (Pb) dapat masuk ke dalam tubuh melalui pernapasan, makanan, dan minuman. Dalam tubuh Timbal terikat pada molekul protein dan hal ini menyebabkan hambatan pada aktivitas kerja sistem enzim. Timbal tidak dibutuhkan oleh manusia sehingga bila makanan atau minuman tercemar oleh logam tersebut, tubuh akan mengeluarkannya sebagian dan sisanya akan terakumulasi dalam tubuh yang dapat menyebabkan gangguan dan kerusakan pada saraf, batu ginjal, dan otak.

Logam Pb sebagian besar diakumulasi oleh organ tanaman yaitu daun, batang, akar dan umbi-umbian (bawang merah). Smith (1981) juga menerangkan gejala akibat pencemaran logam berat adalah: klorosis, nekrosis, pada ujung dan sisi daun serta busuk daun yang lebih awal. Logam Pb dalam bentuk anorganik dan organik memiliki toksitas yang sama pada manusia misalnya pada bentuk organik seperti tetraetil-Timbal dan tetrametil Timbal (TEL dan TML). Logam Pb dalam tubuh dapat menghambat aktivitas kerja enzim. Namun yang paling berbahaya adalah toksitas Pb yang disebabkan oleh gangguan absorpsi kalsium (Ca).

### **2.3.3 Tembaga (Cu)**

Tembaga dengan nama kimia *cuprum* dilambangkan dengan Cu. Unsur logam ini berbentuk kristal dengan warna kemerahan. Dalam tabel periodik, Tembaga menempati posisi dengan nomor atom (NA) 29 dan mempunyai bobot atau berat atom (BA) 63,546 (Palar, 1994).

Tembaga merupakan unsur esensial bagi organisme karena merupakan bagian penyusun dari enzim-enzim katalis pada reaksi oksidasi-reduksi dalam jalur metabolisme (Waisel *et al.*, 1991). Unsur tembaga di alam dapat ditemukan dalam bentuk logam bebas, akan tetapi lebih banyak ditemukan dalam bentuk persenyawaan atau sebagai senyawa padat dalam bentuk mineral (Palar, 1994).

Logam ini banyak digunakan pada pabrik yang memproduksi alat-alat listrik, gelas dan zat warna yang biasanya bercampur dengan logam lain seperti alloy dengan perak, kadmium, timah putih, dan seng (Merian, 1994).

Logam Cu merupakan salah satu logam berat esensial untuk kehidupan makhluk hidup sebagai elemen mikro. Logam ini dibutuhkan sebagai unsur yang berperan dalam pembentukan enzim oksidatif dan pembentukan kompleks Cu-

protein yang dibutuhkan untuk pembentukan hemoglobin, kolagen, pembuluh darah dan myelin (Darmono, 1995).

Logam Cu dapat masuk ke dalam semua strata lingkungan, apakah itu pada strata perairan, tanah ataupun udara (lapisan atmosfer). Tembaga yang masuk ke dalam strata lingkungan dapat datang dari bermacam-macam sumber. Tetapi sumber-sumber masukan logam Cu ke dalam strata lingkungan yang umum dan diduga paling banyak adalah dari kegiatan-kegiatan perindustrian, kegiatan rumah tangga dan dari pembakaran serta mobilitas bahan-bahan bakar (Palar, 1994).

Tembaga tidak mutlak bersifat mobil walaupun dapat mengalami translokasi dari daun tua ke daun-daun yang lebih muda dan juga pada tanaman gandum yang diberi Cu dapat berpindah dari daun ke biji, tetapi bila tanaman mengalami defisiensi mobilitas Cu akan rendah.

Tembaga adalah logam yang secara jelas mengalami proses akumulasi dalam tubuh hewan seiring dengan pertambahan umurnya, dan ginjal merupakan bagian tubuh ikan yang paling banyak terdapat akumulasi Tembaga. Paparan Tembaga dalam waktu yang lama pada manusia akan menyebabkan terjadinya akumulasi bahan-bahan kimia dalam tubuh manusia yang dalam periode waktu tertentu akan menyebabkan munculnya efek yang merugikan kesehatan penduduk (Widowati, 2008).

Gejala yang timbul pada manusia yang keracunan Cu akut adalah: mual, muntah, sakit perut, hemolisis, nefrosis, kejang, dan akhirnya mati. Pada keracunan kronis, Cu tertimbun dalam hati dan menyebabkan hemolisis. Hemolisis terjadi karena tertimbunnya H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dalam sel darah merah sehingga terjadi oksidasi dari lapisan sel yang mengakibatkan sel menjadi pecah. Defisiensi suhu dapat menyebabkan anemia dan pertumbuhan terhambat (Darmono, 2005).

#### **2.4 Total Suspended Solid (TSS)**

*Total Suspended Solid* (TSS) adalah materi atau bahan tersuspensi yang mempengaruhi kekeruhan air. *Total Suspended Solid* (TSS) terdiri atas lumpur, pasir halus serta jasad-jasad renik yang umumnya disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi yang terbawa oleh badan air (Effendi, 2003).

*Total Suspended Solid* (TSS) yang terdapat pada air terdiri atas partikel organik dan anorganik. Padatan organik berupa serat tumbuhan, sel alga, bakteri, dll. Sementara padatan anorganik berasal dari lempung, tanah, lumpur, dll.

*Total Suspended Solid* (TSS) merupakan faktor penting yang dapat mempengaruhi kualitas perairan sehingga menyebabkan perubahan secara fisika, kimia dan biologi (Bilotta and Brazier, 2008).

Jumlah *Total Suspended Solid* (TSS) sangat berpengaruh terhadap kualitas perairan yang mana akan mengakibatkan kekeruhan sehingga akan mengurangi jumlah cahaya matahari yang masuk ke badan air. *Total Suspended Solid* (TSS) yang tinggi pada perairan pun dapat membuat kandungan oksigen terlarut dalam air berkurang dan membuat kualitas perairan menurun. *Total Suspended Solid* (TSS) merupakan salah satu parameter pencemar perairan yang secara langsung memperlihatkan perubahan yang terjadi di perairan dan sangat berguna dalam analisis kualitas perairan dan limbah domestik yang tercemar serta dapat digunakan untuk mengevaluasi mutu air, maupun menentukan efektifitas suatu unit pengolahan.

## **2.5 Amonia**

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia, amonia merupakan gas yang tidak berwarna baunya menusuk, terdiri atas unsur nitrogen dan hidrogen, mudah sekali larut dalam air, senyawanya banyak dipakai dalam pupuk, obat-obatan, dsb.

Amoniak berupa gas tajam tidak berwarna dan mempunyai titik didih 33,5°C. Secara fisik cairan NH<sub>3</sub> mirip seperti air dalam perilaku fisiknya dimana bergabung sangat kuat melalui ikatan hidrogen. (Cotton, 1989).

Amonia memiliki rumus kimia NH<sub>3</sub>, bersumber dari air seni dan tinja, serta oksidasi zat organik dan secara mikrobiologis bersumber langsung dari alam atau dari air limbah industri dan domestik. Kadar amonia yang melebihi batas di dalam air menyebabkan terganggunya ekosistem perairan. Jika amonia terlarut di perairan, maka konsentrasi amonia di perairan pun akan meningkat dan dapat menyebabkan keracunan bagi semua organisme perairan (Murti *et al.*, 2014)

Amoniak di perairan dapat menghilang melalui proses volatilisasi karena tekanan parsial amoniak dalam larutan meningkat dengan semakin meningkatnya

pH. Amoniak dan garam-garamnya bersifat mudah larut dalam air. Amoniak banyak digunakan dalam proses produksi urea, industri bahan kimia serta industri bubur dan kertas (pulp & paper). Tinja dari biota akuatik yang merupakan limbah aktivitas metabolisme juga banyak mengeluarkan amoniak. Sumber amoniak yang lain adalah reduksi gas nitrogen yang berasal dari proses difusi udara atmosfer, limbah industri dan kosmetik.

Amoniak yang terdapat pada air dapat tereduksi melalui proses volatilisasi karena tekanan parsial amoniak dalam larutan meningkat dengan semakin meningkatnya pH. Sering dijumpai penggunaan amonia untuk proses produksi industri bahan kimia, industri *pulp and paper*, dan urea. Feses dari hewan air pun juga mengeluarkan amonia.

Sifat amonia dapat berubah menjadi racun apabila terdapat pada tubuh manusia melebihi batas normal yang dapat ditoleransi. Resiko terbesar yang dapat terjadi pada manusia akibat terlalu banyak terpapar uap dari amonia seperti iritasi kulit, saluran pernafasan, dan mata. Pada kasus tertentu, paparan amonia yang terlalu tinggi bersifat sangat fatal bagi manusia.

## **2.6 Tanaman Vetiver**

Tanaman vetiver merupakan tanaman menahun yang masuk ke dalam keluarga Poaceae. Tumbuhan ini memiliki rimpang atau rizoma yang pendek dan besar dan struktur akar yang sangat halus. Struktur akar yang panjang membuat tanaman vetiver sangat toleran terhadap kekeringan dan sangat sulit dicabut ketika terkena aliran air yang sangat kuat. Tanaman vetiver juga sangat tahan terhadap hama, penyakit, dan api. Tanaman ini dikenal sangat toleran pada logam berat. Terdapat laporan mengenai pemakaian tanaman ini untuk fitoremediasi tanah yang terkontaminasi logam berat, fenol, radionuklida, dan limbah nuklir (Janngam *et.al.*, 2010)





**Gambar 2.1** Tanaman Vetiver

Tanaman ini bersifat hiperakumulator karena mampu tumbuh pada tanah yang tercemar logam berat. Tanaman ini memiliki akar yang sangat kuat dan panjang yang dapat mencapai 3 m sehingga sering digunakan sebagai tanaman konservasi tanah.

Tanaman vetiver pertama kali dikenali pada tahun 1995 karena memiliki sifat absorbent yang kuat yang cocok untuk pembuangan air lindi dan limbah yang diperoleh dari *landfill* dan instalasi pengolahan air limbah di Queensland, Australia. Ilmuwan Tiongkok kemudian mengkonfirmasi hal ini pada tahun 1997 dan sejak saat itu telah berhasil digunakan di Australia, Tiongkok, dan Thailand (Truong, 2000).

## **2.7 Constructed Wetland**

*Wetland* atau lahan basah merupakan area transisi antara tanah dan air. Istilah ‘*wetland*’ meliputi cakupan yang luas pada lahan yang basah termasuk rawa-rawa, padang tanaman basah, serta lahan basah di sepanjang jalur sungai (USEPA, 1995).

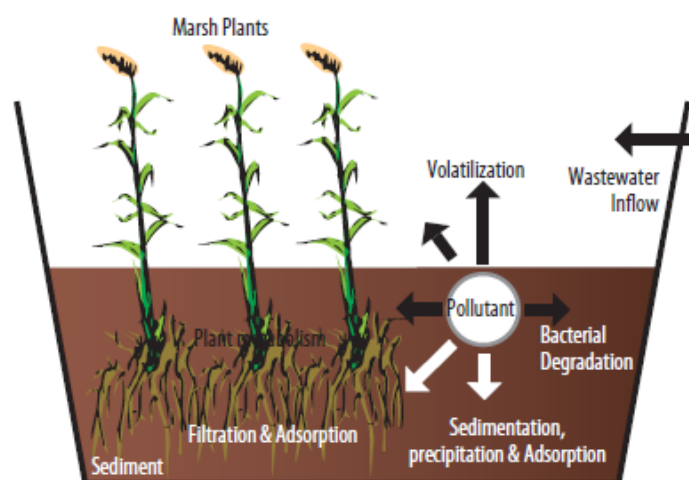
*Constructed wetland* merupakan suatu lahan basah buatan untuk mengolah limbah domestik atau limbah perindustrian, air bekas, dan air hujan serta dapat pula digunakan untuk reklamasi lahan pasca tambang. *Constructed Wetlands* adalah suatu rekayasa sistem pengolahan limbah yang dirancang dan dibangun dengan

melibatkan tanaman air, tanah atau media lain, dan kumpulan mikroba terkait (Greg, Young dan Brown, 1998).

*Wetland* memberikan bermacam manfaat. Meski tidak semua *wetland* menyediakan semua fungsi dan nilai, sebagian besar lahan basah dapat memberikan beberapa. Pada keadaan yang sesuai, *constructed wetland* dapat memberikan:

- Peningkatan kualitas air
- Penampung air banjir dan desinkronisasi antara air hujan dan air limpasan
- Peredaran nutrisi perairan dan material lainnya
- Habitat untuk ikan dan kehidupan liar lainnya
- Rekreasi
- Sarana pendidikan dan penelitian
- Meningkatkan estetika (USEPA, 1995)

*Constructed wetland* merupakan rangkaian rumit air limbah, substrat, vegetasi dan susunan mikroorganisme (bakteri terpenting). Tumbuhan memainkan peran yang penting karena tumbuhan memberikan permukaan dan lingkungan yang sesuai untuk pertumbuhan mikroba dan filtrasi. Polutan pencemar dihilangkan pada *wetland* melalui beberapa proses fisika, kimia, dan biologi yang rumit seperti yang digambarkan pada gambar 2.2



**Gambar 2. 2** Mekanisme penyisihan polutan

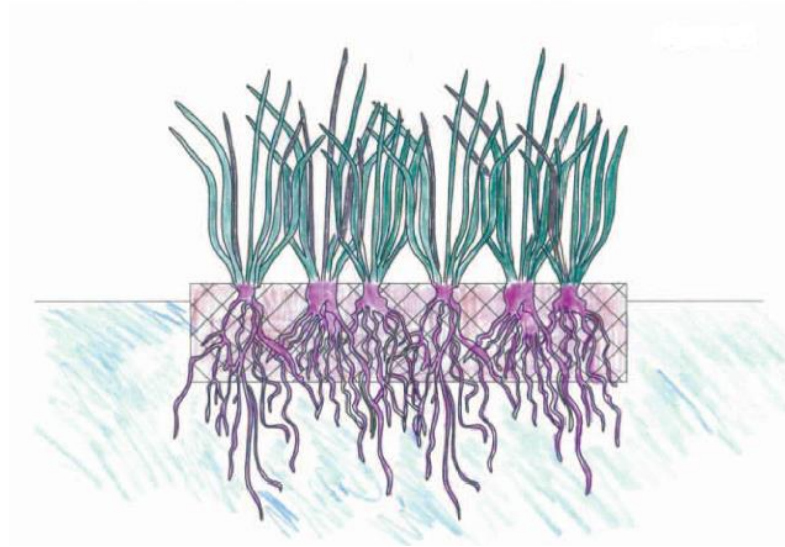
(Sumber : UN-HABITAT, 2008)

### 2.7.1 Floating Treatment Wetland

Pengolahan *Floating Wetland* berbeda dari pengolahan lahan basah secara konvensional, dimana mikroba dan tumbuhan tumbuh di dalam platform mengambang, dan akar tumbuhan memanjang ke dalam air untuk mengambil nutrisi hidroponik. Sebaliknya, akar tanaman pada metode konvensional tumbuh ke dalam tanah dan tidak bersentuhan langsung dengan air yang kaya nutrisi. Akar dari tanaman yang mengambang juga menyediakan area tambahan untuk mendukung pertumbuhan mikroba (Stewart, et al., 2008).

*Floating Treatment Wetland* terdiri dari alas terapung yang berpori yang ditanam dengan *Emergent Macrophyte* (tanaman air berakar dengan daun yang muncul ke permukaan). Beberapa penelitian telah mengidentifikasi kemampuan *Floating Treatment Wetland* dalam penyisihan nutrisi serta logam (Stewart et al., 2008; Van De Moortel et al., 2010; Tanner and Headley, 2011).

*Floating Treatment Wetland* mungkin dapat menunjukkan solusi terhadap masalah keterbatasan lahan karena teknik ini tidak mengklaim lahan apapun. Pada *Floating Treatment Wetland*, *Emergent Macrophytes* tumbuh pada alas yang terapung yang diletakkan pada permukaan air. Berlawanan dengan sistem *wetland* konvensional lainnya, *Emergent Macrophytes* tidak berlabuh atau tumbuh pada dasar dari *wetland*, melainkan akarnya menggantung pada kolom air yang mana tanaman akan secara langsung menyerap nutrisi. Keuntungan lainnya dari *Floating Treatment Wetland* adalah kemampuannya untuk beradaptasi dengan fluktuasi ketinggian air, serta nilai estetika (khususnya ketika menggunakan tanaman yang berbunga), ketersediaannya sebagai habitat untuk invertebrata, ikan, dan burung (Keizer-Vlek et al., 2014).



**Gambar 2. 3** Ilustrasi Floating Treatmet Wetland  
(Sumber : Stewart, 2008)