

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Definisi Limbah**

Limbah adalah sisa suatu usaha dan atau kegiatan. Limbah merupakan sesuatu benda yang mengandung zat yang bersifat membahayakan atau tidak membahayakan kehidupan manusia, hewan serta lingkungan, dan umumnya muncul karena hasil perbuatan manusia, termasuk industrialisasi. ( UU RI.No.23/97,1997 pasal 1 )

Secara umum limbah dibagi dua, yaitu :

- Limbah ekonomis, yaitu limbah yang dapat dijadikan produk sekunder untuk produk yang lain dan atau dapat mengurangi pembelian bahan baku.
- Limbah non ekonomis, yaitu limbah yang dapat merugikan dan membahayakan serta menimbulkan pencemaran lingkungan.

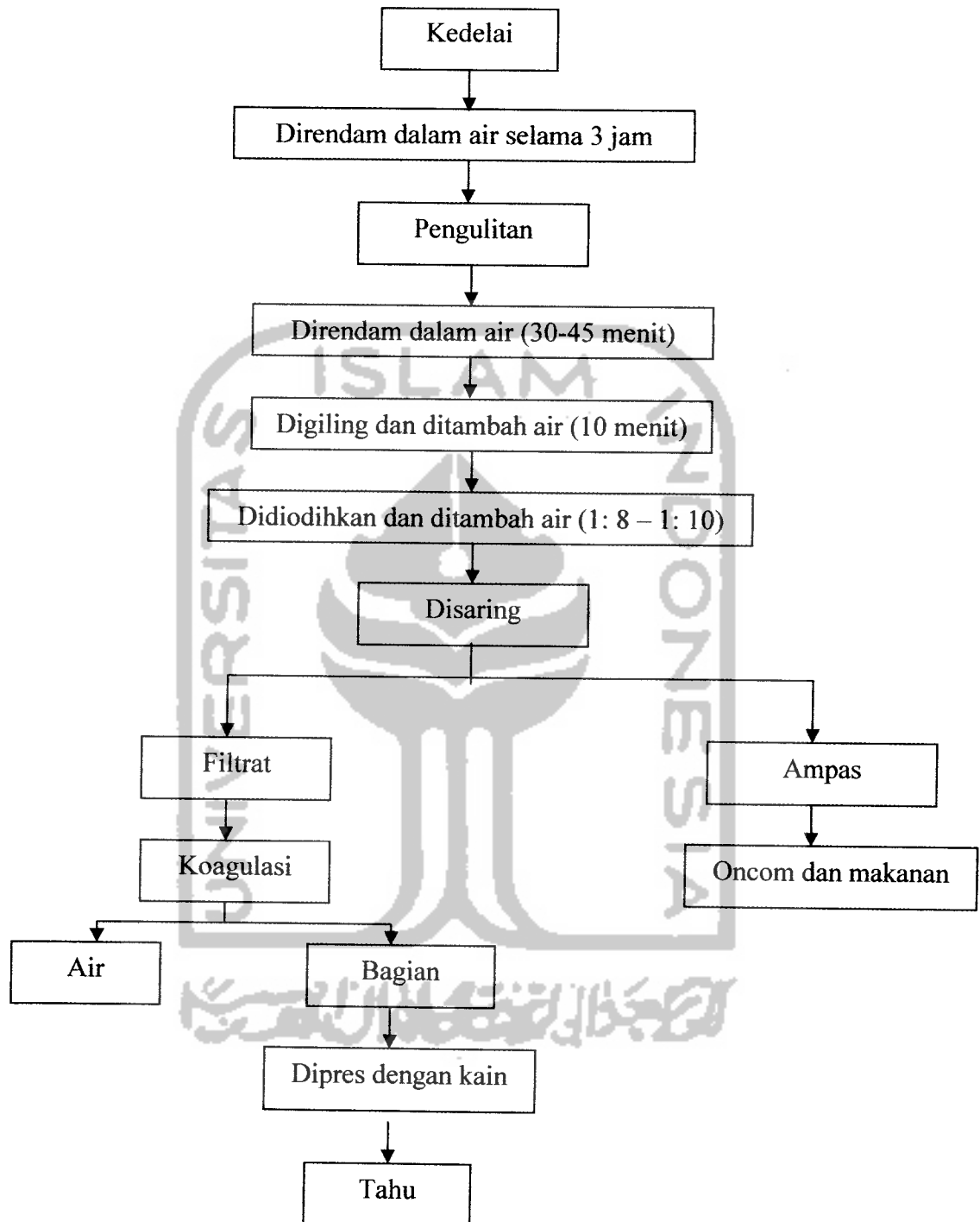
#### **2.2 Gambaran Umum Proses Pembuatan Tahu**

Tahu adalah hasil olahan dari ekstrak kedelai, dimana ekstraknya diperlakukan dengan kalsium sulfat atau batu tahu, atau bisa juga dengan asam asetat (asam cuka). Tahu merupakan makanan yang kaya akan protein, karena bahan utamanya adalah ekstrak kedelai.

Karena tingginya kadar air dan protein dalam tahu, maka mudah terjadi pembusukan oleh organisme pembusuk. Adapun proses pembuatan tahu adalah sebagai berikut :

- Merendam kedelai dalam air bersih selama  $\pm$  3 jam untuk memudahkan penggilingan
- Merendam kembali kedelai selama 30 – 45 menit untuk menghilangkan kulit dan kotoran lainnya
- Melakukan pemecahan dan penggilingan kedelai dengan penambahan air selama 10 menit
- Mendidihkan kedelai yang sudah halus selama 30 – 45 menit dan dilakukan penambahan air secara bertahap sebanyak 8 – 10 kali jumlah kedelai
- Menyaring kedelai yang telah dididihkan, ampasnya dibuat oncom dan makanan ternak dan filtratnya dikoagulasikan dengan asam cuka, dibungkus dengan kain tipis dan dipres untuk meniriskan air dan memadatkan tahu
- Membungkus hasil koagulasi tersebut dengan kain tipis, lalu dipres untuk memadatkan dan meniriskan airnya
- Setelah tiris dan padat, tahu dipotong kecil-kecil dan siap dipasarkan.

Secara lebih jelas mengenai proses pembuatan tahu dapat dilihat pada gambar di bawah ini



**Gambar 2.1. Diagram alir proses pembuatan tahu**

### 2.3 Limbah Pabrik Tahu

Tahu dan tempe merupakan makanan yang digemari masyarakat, baik masyarakat kalangan bawah hingga atas. Keberadaannya sudah lama diakui sebagai makanan yang sehat, bergizi dan harganya murah. Hampir di tiap kota di Indonesia dijumpai industri tahu dan tempe. Umumnya industri tahu dan tempe termasuk kedalam industri kecil yang dikelola rakyat.

Air banyak digunakan sebagai bahan pencuci dan merebus kedelai untuk proses produksinya. Akibat dari besarnya pemakaian air pada proses pembuatan tahu, limbah yang dihasilkan juga cukup besar.

Limbah pabrik tahu mempunyai kandungan bahan organik yang sangat tinggi dan mempunyai pH asam. Kandungan organik yang sangat tinggi ini jika langsung dibuang ke badan air akan berakibat terjadinya pencemaran badan air tersebut yang cukup berat, sehingga akan mengganggu komunitas di badan air tersebut. Namun bagi tanaman tertentu kandungan organik tersebut justru bisa berfungsi sebagai makanan yang sangat berguna bagi pertumbuhannya.

Bahan-bahan organik yang terkandung di dalam buangan industri tahu pada umumnya sangat tinggi. Senyawa-senyawa organik didalam air buangan tersebut dapat berupa protein, karbohidrat, lemak dan minyak. Di antara senyawa-senyawa tersebut lemak dan minyak lah yang jumlahnya paling besar (Nurhasan dan Pramudyanto, 1987), yang mencapai 40-60% protein, 25-50 karbohidrat, dan 10 lemak (Sugiharto, 1987). Uji BOD merupakan parameter yang sering digunakan untuk

mengetahui tingkat pencemaran bahan organik, baik dari industri maupun rumah tangga (Greyson, 1990; Welch, 1992).

Air buangan industri tahu kualitasnya tergantung dari proses yang digunakan. Apabila air prosesnya baik maka kandungan bahan organik pada air buangannya biasanya

Besarnya kandungan bahan organik dari pabrik tahu dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

**Tabel 2.1. Kandungan Organik Limbah Tahu**

Parameter	Nilai
BOD <sub>5</sub> <sup>20</sup>	3550 mg/L
N total	69,28 mg/L
P total	39,83 mg/L
K	616 mg/L
pH	4,9

Sumber : Data Sekunder

## 2.4 *Constructed Wetlands*

### 2.4.1 *Definisi Constructed Wetland*

Definisi dari *wetlands* secara umum adalah tanah dimana kejenuhan air merupakan faktor dominan dari perkembangan tanah dan tipe dari tanaman dan binatang yang hidup padanya. Definisi lain dari *wetlands* adalah tanah transisi antara bagian daratan dan sistem perairan dimana keberadaan air merupakan suatu keharusan, atau tanah yang diselimuti atau digenangi dengan air. *Constructed Wetland* juga dapat didefinisikan sebagai suatu ekosistem lingkungan yang berupa tanah jenuh air yang dapat ditumbuhi oleh tanaman air dan pada bagian permukaannya dapat dimanfaatkan oleh aktivitas mikroorganisme atau komunitas hewan (Cowardin dkk, 1979).

Pengolahan limbah dengan *Constructed wetland* memanfaatkan aktivitas mikroorganisme dalam tanah dan tanaman dalam area tersebut. Dalam 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*, *phooksida* dan *plant uptake* (Metcalf & Eddy, 1993).

*Constructed wertland* dapat diartikan sebagai suatu jenis pengolahan yang strukturnya direncanakan. Variabel-variabel yang direncanakan meliputi debit yang mengalir, beban organiknya tertentu, kedalaman media tanah maupun air serta ada pemeliharaan tanaman selama proses pengolahan.

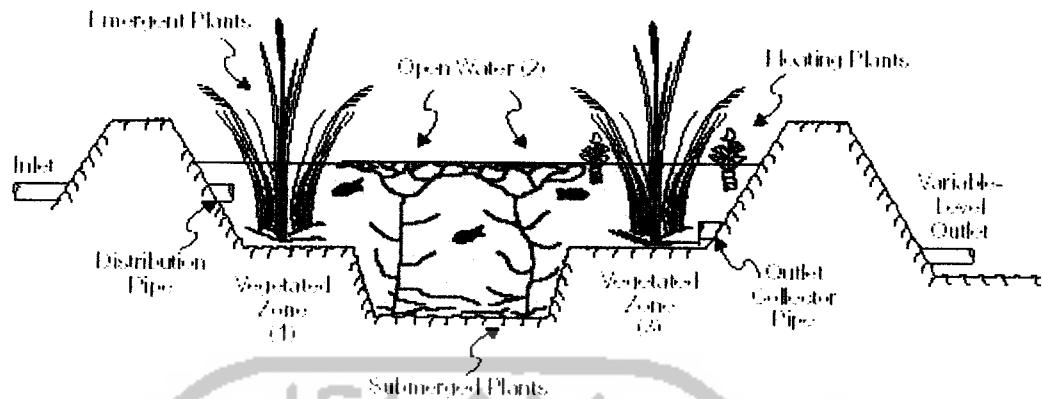
Mekanisme perlakuan yang terjadi dalam *constructed wetland* adalah mengendapkan partikel tersuspensi, terjadi proses filtrasi dan presipitasi kimiawi melalui kontak antara air buangan dengan substrat (tanah, pasir, dan kerikil pendukung tanaman). Proses *adsorpsi* dan *ion exchange* pada *constructed wetland* dapat terjadi pada lapisan permukaan tanaman, substrat, dan sedimen. Proses yang terjadi di dalam *constructed wetland* adalah penguraian dan transformasi *pollutant* oleh mikroorganisme dan tanaman, penyerapan dan proses transformasi nutrient oleh tumbuhan dan mikroorganisme.

#### 2.4.2 Macam-macam *Constructed wetland*

Adapun jenis *constructed wetland*

##### 1. Sistem *Free Water Surface* (FWS)

Sistem ini berupa kolam atau saluran yang dilapisi oleh lapisan impermeabel alami atau tanah liat yang berfungsi untuk mencegah terjadinya rembesan air ke luar kolam atau saluran. Didalam kolam tersebut terdapat tanah sebagai tempat hidup tanaman air dan pada umumnya terdapat genangan air yang berada diatas permukaan tanah (Prof. C. Polprasert, 2005). Tanaman yang biasanya digunakan dalam sistem ini adalah *cattail*, *reed*, *sedge*, dan *rush* (Crites dan Tchobanoglous, 1998).

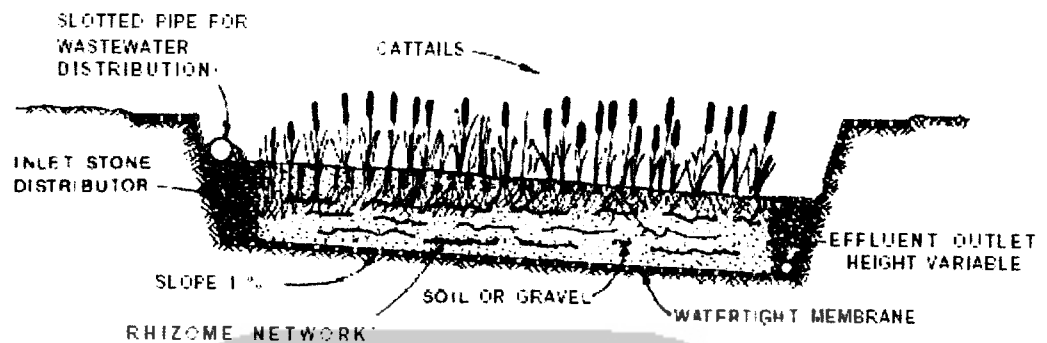


**Gambar 2.2** *Constructed wetland tipe FWS*

## 2. Sistem *Subsurface Flows* (SSF)

Sedangkan pada sistem ini, pengolahan terjadi ketika air limbah mengalir secara perlahan melalui tanaman yang ditanam pada media berpori. Media yang digunakan mempunyai batasan dari kerikil sampai pasir kasar (Crities dan Tchobanoglous, 1998). Proses yang terjadi adalah filtrasi, adsorpsi oleh mikroorganisme, adsorpsi oleh akar tanaman terhadap tanah dan bahan organik (Novotny dan Olem, 1994).





**Gambar 2.3** *Constructed wetland* tipe SSF

Pada sistem pengolahan *constructed wetland* terdapat dua jenis pengaliran air limbah yaitu secara horizontal (*sub surface flow wetland*) dan jenis pengaliran secara vertikal (*vertical flow wetland*).

Sistem *constructed wetland* dirancang sedemikian rupa dan diisi dengan batuan, tanah dan zat organik untuk mendukung tumbuhan seperti *cattail*, *reed*, *sedge*, dan *rush*. Sistem *constructed wetland* mempunyai kelebihan dibanding dengan sistem pengolahan konvensional yang menggunakan sistem *ponds* atau *lagoon*. Kendala-kendala yang sering ditemui pada sistem *ponds* atau *lagoon* antara lain sebagai berikut:

1. Timbulnya bau dan aroma yang tidak enak.
2. Tempat berkembangnya lalat dan insekta lain.
3. Tingkat *removal* pengolahan yang kurang optimal.

Kendala-kendala diatas dapat diatasi dengan sistem *constructed wetland* karena sistem ini mempunyai beberapa keunggulan yaitu:

1. Sistem pengolahan di dalam tanah , genangan air dapat diminimalkan sehingga timbulnya bau dapat dihindari.
2. Tingkat *removal* atau efisiensi pengolahan yang cukup tinggi.
3. Tidak memerlukan perawatan khusus dalam prosesnya.
4. Sistem pengolahannya mudah dan murah.

#### 2.4.3 Mekanisme Pengolahan

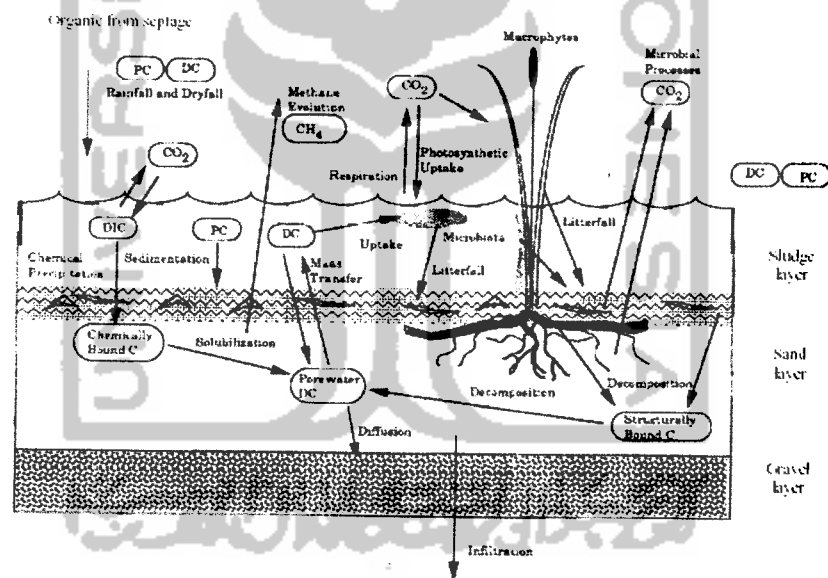
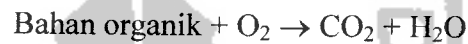
Pengolahan limbah dengan *Constructed wetland* memanfaatkan aktivitas mikroorganisme dalam tanah dan tanaman dalam area tersebut. Adapun air limbah yang akan diolah biasanya mengandung *solid* dan bahan organik dalam jumlah tertentu dengan mekanisme pengolahan sebagaimana berikut :

##### 1. *Solid* (padatan)

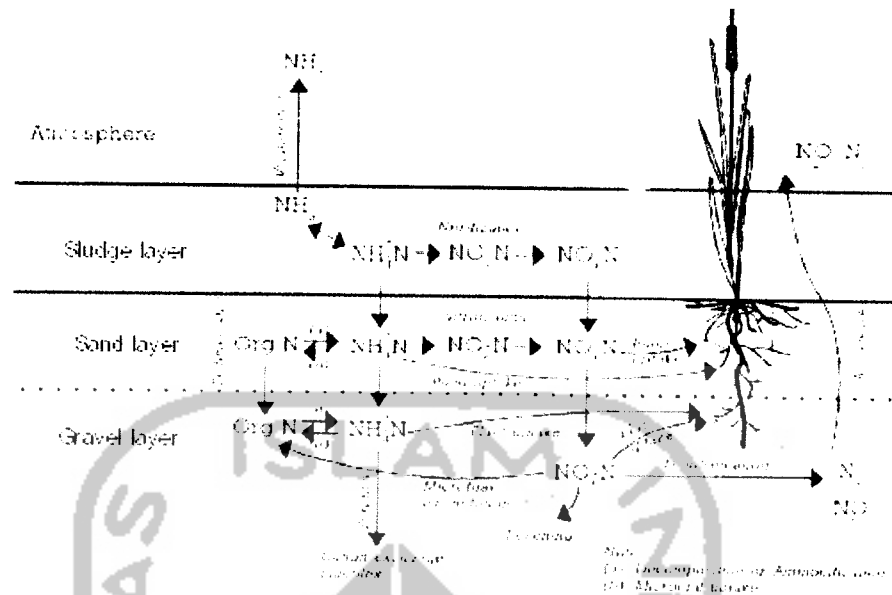
Kadar padatan pada air limbah ini dapat diturunkan dengan proses fisik yaitu sedimentasi. Pada sistem *Constructed wetland* ini air limbah mengalir melewati partikel-partikel tanah dengan waktu detensi yang cukup, kedalaman media dan kecepatan tertentu, sehingga akan memberikan kesempatan partikel-partikel *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 *Constructed wetland*. Proses pengolahan biologis dalam *Constructed wetland* sangat bergantung pada aktivitas mikroorganisme dalam tanah dan tanaman. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa aktivitas mikroorganisme ini sangat bergantung pada aktivitas akar tanaman dalam sistem *Constructed wetland* untuk mengeluarkan oksigen (Gopal, 1999). Mekanisme pengolahan yang terjadi adalah :



Gambar 2.4 Mekanisme penguraian bahan organik pada *constructed wetland* (Kadlec & Knight, 1995)



**Gambar 2.5 Mekanisme pengolahan N pada *constructed wetland***  
(Kadlec & Knight, 1995)

#### 2.4.4 Faktor-faktor Yang Berpengaruh Dalam Proses Pengolahan

Dalam proses pengolahan dengan sistem *Constructed wetland* ada beberapa faktor yang mempengaruhi, yaitu :

##### 1. Tanaman

Tanaman air merupakan komponen terpenting dari wetland dan memberikan dukungan berupa transformasi nutrien melalui proses fisik, kimia dan mikrobial. 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 *Constructed wetland*. Jika

menggunakan tanaman *cattail* atau *reeds* akan lebih praktis karena tanaman ini dapat dibersihkan hanya satu kali dalam setahun (Vymazal, 1999).

Pada umumnya tanaman yang dipergunakan dalam *wetlands* adalah tanaman yang cepat tumbuh, mempunyai kandungan lignin yang besar, dan dapat beradaptasi dengan kedalaman air yang bervariasi. Tanaman yang umum dipergunakan dalam *wetlands* seperti: *scirpus (bulrush)*, *phragmites (giant reed)*, *typha (cattail)*, *carex (sedges)*, *lemna (duckweed)* dan lain-lain.

Tanaman di dalam *wetlands* tidak didesain untuk penyerapan nutrisi tetapi untuk meningkatkan sedimentasi dan pertumbuhan bakteri. Fungsi dari tanaman di dalam *wetlands* secara umum adalah tumbuh dan mati, pertumbuhan tanaman menghasilkan massa secara vegetatif yang dapat memperlambat aliran dan menghasilkan tempat untuk menempel dan berkembangnya mikroorganisme, kematian tanaman membentuk *litter* (bangkai tanaman) serta melepaskan karbon organik sebagai bahan bakar metabolisme mikroba (USDA-NRCS, 2000).

Keuntungan yang paling besar dengan adanya tanaman dalam *constructed wetlands* adalah tanaman dapat mentransfer oksigen dari daun sampai ke lapisan akar (*root zone*). Karena sistem perakaran menembus lapisan substrat sehingga transport oksigen dapat terjadi lebih dalam dibandingkan dengan masuknya oksigen dengan difusi secara alami (Merz, 2000).

Pengolahan dalam *wetlands* bergantung pada proses siklus tanaman dalam menyediakan oksigen untuk bakteri aerobik dan struktur dari tanaman dalam

menyediakan substrat untuk bakteri aerobik dan anaerobik (fakultatif). Proses tidak sempurna tanpa pembentukan lapisan humus (filter) pada dasar *wetlands*, karena lapisan ini merupakan sumber karbon organik yang digunakan mikroorganisme sebagai substrat untuk tumbuh. Lapisan humus terbentuk dari kematian daun atau batang tanaman yang jatuh ke permukaan air.

## 2. Media Tanah

Fungsi tanah dalam sistem *Constructed wetland* sangat penting, yaitu :

- Sebagai tempat hidup dan tumbuh tanaman.
- Sebagai tempat berkembang baiknya mikroorganisme.
- Sebagai tempat terjadinya proses fisik, yaitu sedimentasi untuk penurunan konsentrasi solid dalam air limbah.

Pengolahan air limbah dipengaruhi oleh waktu detensi, dimana waktu detensi yang cukup akan memberikan kesempatan kontak lebih lama antara mikroorganisme, oksigen yang dikeluarkan akar tanaman dan air limbah. Keadaan tanah seperti permeabilitas tanah dan konduktivitas hidrolis sangat berpengaruh pada waktu detensi air limbah (Wood, 1993).

### 3. Mikroorganisme

Mikroorganisme yang diharapkan dapat berkembang biak dalam sistem ini adalah mikroorganisme heterotropik aerobik, sebab pengolahan dengan mikroorganisme ini dapat berjalan lebih cepat dibanding secara anaerobik (Vymazal, 1999). Untuk menunjang kehidupan mikroorganisme ini, maka diperlukan pengaturan jarak tanam tanaman cattail. Dengan jarak yang diatur sedemikian rupa diharapkan tanaman cattail akan mampu memberikan transfer oksigen yang cukup bagi kehidupan mikroorganisme yang hidup dalam tanah.

Mikroorganisme dalam *wetland* meliputi : bakteri, fungi, ragi, protozoa dan alga. Peran mikroba dalam *wetland* adalah mengubah bahan organik dan anorganik menjadi bahan yang mudah larut / tidak berbahaya, mengubah kondisi reduksi / oksidasi (redox) dari suatu bahan, mempengaruhi kapasitas dari proses *wetland*, dan terlibat dalam penggunaan kembali nutrien.

Mikroba dapat berfungsi sebagai predator, menguraikan organisme patogen yang dapat menyebabkan penyakit bagi manusia. Bakteri pengurai bahan organik dan nutrien yang terdapat di *wetland* dalam kondisi aerobik, anaerobik dan fakultatif-anaerob. Fakultatif-anaerob mampu berfungsi sebagai pengurai diantara kondisi aerob dan anaerob (USDA-NRCS, 2000).

Contoh bakteri fakultatif-anaerobik yaitu : *streptococci*, *enterobacteriaceae* dan spora aerobik yaitu : *bacillus spp*, *psedumonas alcaligenes*, dan *aeromonas spp*. Pada kondisi anaerobik, bakteri yang

berperan dalam proses denitrifikasi yaitu : *bacillus*, *micrococcus*, *alcaligenes* dan *spirillum*. Pada proses nitrifikasi tahap pertama yaitu mengubah ammonium menjadi nitrit, bakteri *kemoautotroph* yang berperan adalah *nitrosomonas*, *nitrosococcus*, *nitrospira*, *nitrosolobus* dan *nitrosovibrio*. Sedangkan pada proses nitrifikasi tahap kedua yaitu mengubah nitrit menjadi nitrat, bakteri *kemoautotroph* yang berperan adalah *nitrobacter*, *nitrosococcus*, *nitrospina*, *nitrospina*.

Secara umum perlakuan didalam *wetlands* dilakukan oleh bakteri *autotrof* dan *heterotrof*, partikulat dan bahan organik yang terlarut digunakan sebagai sumber karbon dan elektron donor bagi bakteri *heterotrof* (Gidley, 1995). Bakteri yang diharapkan dapat berkembang biak dalam *wetlands* adalah bakteri *heterotrof aerobik*, karena pengolahannya secara aerobik dapat berjalan lebih cepat dan sempurna dibanding pengolahan secara aerobik dapat mencegah terjadinya bau.

Pertumbuhan mikroorganisme dapat berkembang secara cepat apabila tersedia nutrisi dan energi yang cukup. Ketika kondisi lingkungan tidak sesuai maka mikroorganisme menjadi tidak aktif dan tetap tidak aktif selama bertahun-tahun (Hilton, 1993). Populasi mikroorganisme dalam *wetlands* dipengaruhi oleh unsur beracun, seperti logam berat dan pestisida.

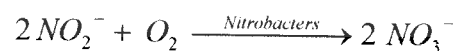
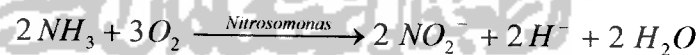


#### 4. Temperatur

Temperatur dari air limbah berpengaruh pada kualitas efluen air limbah karena mempengaruhi waktu detensi air limbah dalam reaktor dan aktivitas mikroorganisme dalam mengolah air limbah. Temperatur yang cocok untuk *Constructed wetland* dengan menggunakan tanaman cattail adalah 20°C - 30°C (Wood, 1993).

#### 2.5 Nitrat (NO<sub>3</sub>) Pada *Constructed Wetland*

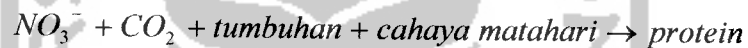
Nitrat (NO<sub>3</sub>) adalah bentuk utama nitrogen di perairan alami dan merupakan nutrient utama bagi pertumbuhan tanaman dan algae. Nitrat nitrogen sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil. Senyawa ini dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen di perairan. Nitrifikasi yang merupakan proses oksidasi ammonia menjadi nitrit dan nitrat adalah proses yang penting dalam siklus nitrogen dan berlangsung pada kondisi aerob. Oksidasi ammonia menjadi nitrit dilakukan pada bakteri *Nitrosomonas*, sedangkan oksidasi nitrit menjadi nitrat dilakukan oleh bakteri *Nitrobacter*. Untuk persamaan reaksi dapat dilihat pada dibawah ini :



Proses nitrifikasi sangat dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya (Krenkel dan Novotny, 1980 dalam Novotny dan Olem, 1994) :

- 1) Kadar oksigen terlarut < 2 mg/ liter, maka reaksi akan berjalan lambat.
- 2) Nilai pH optimum adalah 8 – 9. Pada pH 6, reaksi akan berhenti.
- 3) Bakteri yang melakukan nitrifikasi cenderung menempel pada sediment dan bahan padatan lain.
- 4) Suhu optimum adalah 20° C – 25 ° C. Pada kondisi suhu kurang atau lebih dari kisaran tersebut, maka kecepatan nitrifikasi berkurang.

Nitrat yang merupakan sumber nitrogen bagi tumbuhan selanjutnya dikonversi menjadi protein. Proses ini dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut:



Konsumsi air yang mengandung kadar nitrat yang tinggi akan menurunkan kapasitas darah untuk mengikat oksigen, jika terjadi pada bayi maka akan mengakibatkan kulit bayi berwarna kebiruan (*blue baby*) (Davis dan Cornwell, 1991; Mason, 1993).

## 2.6 Fosfat ( $PO_4^{3-}$ ) Pada *Constructed Wetland*

Fosfat merupakan bentuk fosfor yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan (Dugan, 1972). Fosfor juga berperan dalam transfer energi didalam sel , misalnya yang terdapat pada ATP (*Adenosine Triphosphate*) dan ADP (*Adenosine Diphosphate*). Fosfat terdapat dalam air alam atau air limbah sebagai senyawa

orthophosphate, poliphosphat, dan fosfat organis. Orthophosphate adalah senyawa monomer seperti  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$ , sedangkan poliphosphat merupakan senyawa polimer seperti  $(\text{PO}_3)_6^{3-}$  (heksametafosfat),  $\text{P}_3\text{O}_{10}^{5-}$  (tripolifosfat) dan  $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$  (pirofosfat). Semua polisfosfat mengalami hidrolisis membentuk orthophosphate, tetapi perubahan ini tergantung pada suhu. Setelah masuk kedalam tumbuhan, misalnya fitoplankton, fosfat organic mengalami perubahan menjadi organofosfat. Fosfat yang berikatan dengan ferri ( $\text{Fe}(\text{PO}_4)_3$ ) bersifat tidak larut dan mengendap didasar perairan. Pada saat terjadi kondisi anaerob, ion besi valensi tiga (ferri) ini mengalami reduksi menjadi ion besi valensi dua (ferro) yang bersifat larut dan melepaskan fosfat ke perairan, sehingga meningkatkan keberadaan fosfat di perairan (Brown, 1987).

Fosfor tidak bersifat toksik bagi manusia, hewan, dan ikan. Dibawah ini adalah standar baku mutu air sesuai dengan peruntukannya.

## 2.7 BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) Pada *Contracted Wetland*

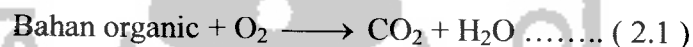
BOD adalah banyaknya oksigen terlarut yang dibutuhkan untuk menguraikan bahan organic oleh bakteri (Sugiharto, 1987). Bahan-bahan organic yang terkandung di dalam buangan industri tahu pada umumnya sangat tinggi.

Dekomposisi bahan organic pada dasarnya terjadi melalui dua tahap. Pada tahap pertama, bahan organic diuraikan menjadi bahan anorganik. Pada tahap kedua, bahan anorganik yang tidak stabil mengalami oksidasi menjadi bahan anorganik yang lebih stabil. Pada penentuan nilai BOD, hanya dekomposisi tahap

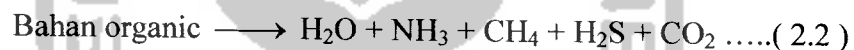
pertama yang berperan, sedangkan oksidasi bahan organik anorganik (nitrifikasi) dianggap sebagai pengganggu.

Secara tidak langsung BOD merupakan gambaran kadar bahan organik, yaitu sejumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba aerob untuk mengoksidasi bahan organik menjadi karbohidrat dan air (Davis and Cornwell, 1991). Dengan kata lain BOD menunjukkan jumlah oksigen yang dikonsumsi oleh proses respirasi mikroba aerob yang terdapat dalam botol BOD yang diinkubasi pada suhu sekitar 20 C selama lima hari, dalam keadaan tanpa cahaya (Boyd, 1988).

Penguraian bahan organik oleh bakteri aerobik



Penguraian bahan organik oleh bakteri anaerobik



Pada system FWS, penurunan konsentrasi BOD tergantung dari pertumbuhan mikroorganisme yang ada pada akar, batang dan daun tanaman yang sudah mati dan jatuh kedalam *wetlands*. Apabila tanaman menutupi seluruh areal *wetlands*, maka biasanya alga tidak dapat tumbuh dan sumber utama oksigen yang paling besar untuk reaksi oksidasi adalah batang dari *reaerasi* dan dari *translokasi* oksigen dari daun menuju *rhizosfer* tanaman (Reed, 1987).

Dekomposisi bahan organik dalam *wetlands* didasarkan pada kesetimbangan antara bahan organik yang masuk ke dalam *wetlands* dengan suplai oksigen yang terjadi, apabila persediaan oksigen di dalam air tersebut cukup dengan yang

dibutuhkan pada proses oksidasi bahan organik maka proses degradasi berlangsung secara aerobik dan apabila sebaliknya maka proses dekomposisi atau degradasi berlangsung secara anaerobik. Proses degradasi dan mineralisasi bahan organik terjadi pada lapisan sedimen dan lapisan biofilm yang terdapat pada tanaman.

## 2.8 pH Pada *Constructed Wetland*

Derajat keasaman atau pH didefinisikan sebagai logaritma negative dari konsentrasi ion hydrogen dan merupakan ukuran tingkat kebasahan atau keasaman suatu larutan. Secara ilmiah pH perairan dipengaruhi konsentrasi karbondioksida bebas ( $\text{CO}_2$ ) dan senyawa yang bersifat asam. Fitoplankton dan tanaman air akan mengambil  $\text{CO}_2$  dari air selama proses fotosintesis, sehingga mengakibatkan pH air meningkat pada siang hari dan menurun pada malam hari (Cholik *etal*, 1991). Air murni secara kimiawi adalah netral dan memiliki jumlah ion hydrogen dan hidroksil yang sama banyaknya. Air limbah pertanian dan rumah tangga akan mengakibatkan tingginya konsentrasi ion hydrogen sehingga mengakibatkan perairan bersifat asam. Sebaliknya bisa menunjukkan konsentrasi ion hidroksil ( $\text{OH}^-$ ) lebih tinggi dari pada ion hydrogen. Hal ini menunjukkan bahwa perairan bersifat basa (Fardiaz, 1992). Air limbah dan bahan buangan dari kegiatan industri yang dibuang ke sungai akan merubah pH air yang pada akhirnya dapat mengganggu kehidupan organisme di dalam air (Wardhana, 1995).

Air normal yang mempunyai syarat untuk suatu kehidupan mempunyai pH sekitar 6,5-7,5. Air akan bersifat asam atau basa tergantung besar kecilnya pH. Bila pH dibawah pH air normal, maka air tersebut bersifat asam, sedangkan bila air mempunyai pH diatas pH normal, maka air tersebut bersifat basa. Air limbah dan buangan industri akan merubah pH air yang akhirnya akan mengganggu kehidupan biota akuatik. Sebagian besar biota akuatik sensitif terhadap perubahan pH dan menyukai pH antara 7-8,5. Nilai pH sangat mempengaruhi proses biokimiawi perairan, misalnya proses nitrifikasi akan berakhir pada pH rendah

## 2.9 Kriteria Desain *Constructed Wetlands*

Ada beberapa hal penting yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan *constructed wetlands*, yaitu : waktu detensi, *organik loading rate*, kedalaman air, serta bentuk dari *constructed wetlands* yang akan dibuat. Dibawah ini merupakan beberapa kriteria desain yang diperlukan untuk merencanakan *constructed wetlands*.

Rumus-Rumus yang digunakan untuk menghitung luas lahan dan waktu detensi yang dibutuhkan dalam system *Constructed Wetlands* tipe FWS :

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

Keterangan :

$K_T$  : Temperature dependent rate constant,  $d^{-1}$

T : Temperature

- Untuk menghitung hydraulic residence times (waktu detensi) digunakan rumus :

$$t = \frac{(\ln C_0 - \ln C_e) - 0,6539}{65 \cdot K_T}$$

Keterangan :

t : Time detention, d

$C_0$  : Influent BOD<sub>5</sub>, mg/L

$C_e$  : Effluent BOD<sub>5</sub>, mg/L

- Rumus menghitung luas area untuk desain *wetlands* :

$$A = \frac{Q(\ln C_0 - \ln C_e) - 0,6539}{65 \cdot K_T \cdot d}$$

A : Luas area, ha

Q : Debit,  $m^3$

**Contoh hitungan untuk desain wetlands**

Debit limbah tahu	: 6 m <sup>3</sup>
Konsentrasi BOD <sub>in</sub>	: 1147,3 mg/L
BOD <sub>out</sub> yang diharapkan sebesar	: 10 mg/L
Temperatur limbah tahu	: 30° C
Asumsi sloope wetland	: 1 %
Kedalaman air	: 10 cm

**Perhitungan**

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

$$K_T = 0,0057(1,1)^{(30-20)} = 0,01478 \text{ d}^{-1}$$

- $t = \frac{(\ln C_0 - \ln C_e - 0,6539)}{65 \cdot K_T} = \frac{(\ln 1147,3 - \ln 10 - 0,6539)}{65 \cdot 0,01478}$   
= 4,2559 d

- $A = \frac{Q(\ln C_0 - \ln C_e) - 0,6539}{65 \cdot K_T \cdot d}$

$$A = \frac{6(\ln 1147,3 - \ln 10 - 0,6539)}{65 \cdot (0,01478) \cdot (0,10 \text{ m}) \cdot 10.000 \text{ m}^2 / \text{ha}}$$

$$A = \frac{24,5321}{960,7} = 0,026 \text{ ha}$$

- Perbandingan P : L adalah 2 : 1

$$A = P \cdot L = 2L \cdot L \quad 26 \text{ m}^2 = 2L^2 \quad L = 3,605 \text{ m dan } P = 7,21 \text{ m}$$



## 2.10 Tanaman Kangkung Air (*Ipomea aquatica* Forsk )

### 2.10.1 Gambaran Umum Tanaman Kangkung Air (*Ipomea aquatica* Forsk )

Tanaman kangkung air merupakan tanaman yang menetap yang dapat tumbuh lebih dari satu tahun. Kangkung air termasuk dalam suku *Convotvulaceae* dan marga *Ipomoea*. Berikut ini adalah taksonomi tanaman kangkung air, yakni :

- Sinonim : *Ipomoea reptans*
- Divisi : Spermatophyta
- Sub divisi : Angiospermae
- Kelas : Dicotyledoneae
- Bangsa : Solanales
- Suku : Convotvulaceae
- Marga : *Ipomoea*
- Jenis : *Ipomoea aquatica* Forsk

NAMA kangkung mungkin sudah tidak asing lagi di telinga kita karena umumnya kita sudah terbiasa mengonsumsinya. Tanaman kangkung ini dapat tumbuh liar di kolam-kolam, rawa-rawa, sawah, di atas timbunan-timbunan bekas sampah, atau bahkan di lereng-lereng yang sulit ditumbuhi tanaman lain.

Tanaman ini tumbuh menjalar dengan percabangan yang cukup banyak. Sistem perakarannya tunggang dan cabang-cabang akarnya menyebar ke berbagai arah, dapat menembus sampai kedalaman 60 – 100 cm. Tangkai daun melekat pada buku-buku batang. Bentuk daunnya seperti jantung hati dan bunganya mirip

terompet. Bentuk buahnya bulat telur yang di dalamnya berisi tiga butir biji. Bentuk biji bersegi-segi agak bulat dan berwarna coklat atau kehitam-hitaman.

Kangkung air merupakan tanaman menetap yang dapat tumbuh lebih dari satu tahun. Kangkung air memiliki bentuk daun panjang dengan ujung agak tumpul, berwarna hijau kelam dengan bunga yang berwarna agak putih kekuningan-kuningan atau kemerah-merahan (Dwijosaputro, 1986).

Kangkung merupakan sumber provitamin A. Di dalam 100 gram kangkung segar, terkandung vitamin A sebanyak 4,925 SI. Berdasarkan kebiasaan hidupnya, kangkung dibagi menjadi dua jenis, yaitu kangkung air (*Ipomea aquatica*) dan kangkung darat (*Ipomea reptans*).

Varietas kangkung air antara lain varietas sumenep dan biru, sedangkan varietas kangkung darat di antaranya varietas bangkok, biru, cinde, sukabumi, dan sutera.

Kangkung darat memiliki bunga berwarna putih kemerah-merahan, sedangkan kangkung air berbunga putih bersih. Batang kangkung darat berwarna putih kehijau-hijauan, sedangkan kangkung air berbatang hijau.

Kangkung darat berbiji lebih banyak dan rasanya liat, sedangkan kangkung air berbiji sedikit dan rasanya lebih rapuh.

Tanaman kangkung berkhasiat sebagai antiinflasi, diuretik, dan hemostatik karena mengandung zat-zat kimia, seperti mineral, vitamin, karoten, *hentriakontan*, dan *sitosterol*.

Pengambilan air dan mineral pada kangkung air, terutama dilakukan oleh akar muda. Air yang diserap oleh ujung akar dan meristem sangat sedikit. Di daerah yang terdapat rambut-rambut akar berlangsung penyerapan mineral yang paling utama, ion-ion secara selektif diangkat dan dikumpulkan oleh akar, sel-sel ujung akar yang tidak terdiferensiasi dan tidak bervokula tidak menghimpun ion-ion tersebut, melainkan sel-sel bervokula dan terdiferensiasi yang besar dalam mengumpulkan mineral. Ion-ion tersebut masuk dan keluar dari sel-sel secara pasif.

Untuk dapat hidup tumbuh-tumbuhan memerlukan zat makanan (unsur hara) yang diambil dalam bentuk molekul melalui daun, tetapi umumnya unsur hara diambil oleh tumbuhan dalam bentuk ion-ion molekul melalui akar dari dalam tanah. Makin panjang akar makin tersedia unsur hara bagi tanaman

Pada umumnya, unsur-unsur kimia di alam dibagi menjadi dua kelompok, yaitu :

1. Unsur makro, biasanya dibutuhkan oleh tanaman dalam jumlah yang besar ( $> 500$  ppm), seperti : N, P, K, Ca, Mg dan S.
2. Unsur mikro, dibutuhkan dalam jumlah yang sangat kecil biasanya  $< 50$  ppm oleh tanaman, seperti : Fe, Bo, Mn, Cu, Zn, Mo, Co, Cl, empat dari unsur mikro sebagai kation dan tiga sebagai anion (Ray, 1979).

Proses penyerapan unsur hara oleh tumbuhan diawali dengan penguraian bahan organik oleh mikroorganisme. Hal ini disebabkan karena ion-ion nitrat, fosfat, sulfat, karbon dan nitrogen merupakan unsur makro, yaitu unsur-unsur hara

yang diperlukan dalam jumlah besar (Dwijosaputro, 1986). Penyerapan unsur hara sangat diperlukan bagi tumbuhan untuk melakukan fotosintesis.

Kangkung air mempunyai adaptasi cukup tinggi terhadap kondisi iklim dan tanah di daerah tropis, sehingga dapat dikembangkan di berbagai daerah di Indonesia. Kangkung air dapat diperbanyak dengan stek pucuk atau batang berakar. Kangkung air cocok ditanam pada lahan basah yang tergenang air, kolam ikan, aliran sungai yang tidak terlampau deras.

Persyaratan tumbuh kangkung air adalah sebagai berikut :

1. Syarat Iklim

Kangkung air dapat tumbuh dan berproduksi dengan baik di dataran rendah-tinggi (pegunungan)  $\pm 2000$  m dpl, dan diutamakan lahannya terbuka / mendapat sinar matahari yang cukup. Di tempat yang terlindungi sinar matahari, kangkung air akan tumbuh memanjang (tinggi) dan kurus-kurus.

2. Syarat Tanah

Kangkung air membutuhkan tanah yang banyak mengandung air dan lumpur, misalnya ; di rawa-rawa, persawahan, kolam-kolam. Pada tanah yang kurang air (kekeringan), menyebabkan pertumbuhan tanaman kangkung air menjadi terhambat sehingga tanaman akan menjadi kerdil dan rasanya akan menjadi kelat.

### 2.10.2 Pemanfaatan Tanaman Kangkung Air (*Ipomea aquatica* Forsk ) Dalam *Constructed Wetlands*

Kangkung air mempunyai struktur yang spesifik baik akar, batang maupun daun. Adapun sifat yang cepat berkembang dan bertoleransi terhadap lingkungan, menyebabkan kangkung air mulai banyak dimanfaatkan untuk pengendalian pencemaran air pada unit pengolahan limbah.

Kemampuan sekelompok mikroba seperti bakteri dan jamur untuk mengurai benda-benda organik dan anorganik yang terdapat dalam air limbah sudah diketahui dan dimanfaatkan sejak lama, kehadiran secara alami akan didapatkan pada air danau, selokan, lautan ataupun pada tempat-tempat lainnya yang berair, serta didataran lembab.

Ada sekelompok mikroba yang juga terdiri dari bakteri dan jamur yang hidup bersimbiosis di sekitar akar tanaman, baik tanaman yang hidup dihabitat tanah maupun air, yang kehadirannya secara khas tergantung pada akar tersebut. Kelompok mikroba tersebut pada umumnya disebut mikroba *rhizofera*. Banyak jenis mikroba *rhizofera* yang mempunyai kemampuan untuk melakukan penguraian benda-benda organik dan anorganik yang terdapat di dalam air buangan sehingga kehadirannya kemudian dimanfaatkan untuk keperluan pengolahan air buangan.

Banyak jenis tanaman, khususnya yang hidup dalam habitat air yang memiliki kemampuan sebagai pengolah senyawa organik atau anorganik yang terdapat dalam air buangan (Suriawiria, 1986). Sehubungan dengan kegunaannya sebagai penjernih air limbah, kangkung air berperan sebagai biofiltrasi seperti halnya enceng gondok,

kiyapu, paku air dan walingin. Pada dasarnya biofiltrasi merupakan penyerapan akumulasi zat-zat polutan yang terkandung dalam air ke dalam struktur tubuh tumbuhan.

Proses penyerapan unsur hara oleh tumbuhan diawali dengan penguraian bahan organik oleh mikroorganisme *rhizofera* yang kemudian diserap oleh tanaman kangkung air dalam jumlah besar. Penyerapan unsur hara sangat diperlukan bagi tumbuhan untuk melakukan fotosintesis. Oksigen yang dihasilkan dari proses fotosintesis digunakan kembali oleh mikroorganisme *rhizofera* untuk menguraikan kembali bahan organik yang masih tersisa. Demikian seterusnya siklus penguraian dan penyerapan unsur hara berputar atas dasar hubungan simbiosis mutualisme antara mikroorganisme *rhizofera* dengan tanaman kangkung air. Melalui siklus simbiosis ini akan berdampak terhadap penurunan beban pencemar dalam sumber air limbah.

Pemilihan tanaman kangkung air pada *constructed wetlands* ini didasarkan pada pertimbangan-pertimbangan berikut ini :

1. Tanaman kangkung air mudah dijumpai dalam kehidupan sehari-hari.
2. Daya tahan hidup tanaman kangkung air cukup lama.
3. Tidak memerlukan perawatan khusus, sehingga dalam sistem *constructed wetlands* pemeliharaannya sangat mudah.

Kangkung air dapat meningkatkan mutu air yang tercemar oleh air limbah. Tumbuhan tersebut mampu menyerap logam berat (penyebab pencemaran) yang

terlarut dalam media tumbuh, sehingga kandungannya menjadi turun. Kadar logam berat dalam tumbuhan tersebut meningkat dan dalam media cair menurun (Muers, 1980). Sehingga ion bebas dalam air tersebut akan mampu mengikat oksigen, yang akan meningkatkan kadar oksigen terlarut (DO) dalam limbah akan meningkat sehingga akan terjadi penguraian bahan organik menjadi bahan anorganik.

#### **2.11 Penelitian Dengan Memanfaatkan Tanaman Enceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) dan Tanaman Kiapu (*Pistia Stratiotes*) dalam Sistem *constructed wetlands*.**

Tanaman yang dapat dimanfaatkan dalam sistem *constructed wetlands* bukan hanya tanaman kangkung air namun jenis tanaman air lainnya dapat dimanfaatkan sebagai tanaman pengurai limbah. Jenis tanaman air lainnya yang digunakan sebagai tanaman pengurai limbah dan telah diteliti nilai effisiensinya adalah :

1. Tanaman Enceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) untuk mengolah limbah dari Industri Tapioka, adapun hasil penelitian dengan memanfaatkan tanaman enceng gondok ini adalah :

Tanaman enceng gondok ini dipilih karena tanaman ini tahan terhadap limbah dengan kandungan organik tinggi, suhu untuk tumbuhnya tanaman ini adalah 25-30°C, dengan pH berkisar antara 7-7,5. Dalam penelitian dengan menggunakan limbah tapioca ini tanaman enceng gondok dimanfaatkan untuk

menurunkan kandungan BOD, COD, TSS dan sianida (CN). Turunnya kandungan parameter tersebut terjadi karena adanya aktivitas dari mikroorganisme dan tanaman enceng gondok yang mengolah bahan-bahan organik dan anorganik yang terdapat di dalam limbah cair industri tapioka yang dimanfaatkan sebagai energi dan nutrient dalam bentuk karbon dan nitrogen dengan tingkat efisiensi pengolahan limbah cair selama waktu detensi 10 hari, BOD 97,94 %, COD 84,35 %, TSS 45,62 % dan CN 99,87 %. Peran tanaman enceng gondok didalam system pengolahan *constructed wetlands* adalah sebagai media yang menguraikan bahan-bahan organik dalam air limbah industri tapioca menjadi nutrisi bagi pertumbuhan dan sebagai tempat tumbuhnya berbagai mikroorganisme pengurai limbah.

2. Tanaman Kiapu (*Pistia Stratiotes*) untuk mengolah limbah Industri Penyamakan Kulit.

Tanaman Kiapu (*Pistia Stratiotes*) memiliki syarat tumbuh sebagai berikut :

- pH optimum untuk tanaman ini dapat tumbuh adalah 4,5-7.
- Ketinggian air untuk tumbuh didaerah tropis 3-5 cm.
- Harus tersedia cukup unsur C, H, O, N, S, P, Ca, K, Mg, Fe.
- Suhu optimum 20-30° C.
- Kelembaban optimum 85%-90%.



Tanaman kiapu digunakan dalam penelitian untuk mengolah limbah dari industri penyamakan kulit karena memiliki keunggulan daya kecambah yang tinggi, tahan terhadap gangguan tempat hidup yang baru, pertumbuhan cepat, tidak peka terhadap suhu, tingkat absorpsi/ penyerapan unsur hara dan air besar, daya adaptasi yang tinggi terhadap iklim. Pada penelitian dengan limbah penyamakan kulit ini tanaman kiapu digunakan untuk menurunkan TSS, Cr dan pH. Dari hasil penelitian diperoleh kesimpulan penurunan TSS, Cr dan pH dalam *constructed wetlands* terjadi karena adanya aktivitas mikroorganisme dan tanaman kiapu yang mengolah bahan organik/ anorganik yang terdapat didalam limbah cair industri penyamakan kulit sebagai nutrisi dan energi. Peranan tanaman didalam sistem pengolahan *constructed wetlands* adalah sebagai media yang menguraikan bahan organik dalam air limbah cair industri penyamakan kulit menjadi nutrisi bagi pertumbuhan dan sebagai media tumbuhnya mikroorganisme pengurai air limbah.

Effisiensi penurunan parameter diatas dengan waktu detensi 12 hari adalah TSS 51,85% dan Cr 74,29 %.

Distribusi logam Cr ini terjadi pada seluruh bagian tanaman terutama pada akar dan daun tanaman. Kapasitas terbesar penyerapan terjadi pada bagian akar hal ini karena akar merupakan media pertama yang dilalui Cr.

## 2.12 Hipotesis

Berdasarkan teori yang telah dikemukakan, maka dapat diambil beberapa hipotesa, yaitu :

1. Bahwa sistem *constructed wetland* dengan menggunakan tanaman kangkung air dapat menurunkan konsentrasi BOD<sub>5</sub>, pH, nitrat dan fosfat pada limbah pabrik tahu.
2. Bahwa sistem *constructed wetland* dengan tanaman kangkung air merupakan alternatif pengolahan limbah cair yang aman, murah, dan efisien.

