
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 *Constructed Wetlands*

Constructed wetlands secara umum didefinisikan suatu perencanaan ekosistem lingkungan yang berupa tanah jenuh air yang dapat ditumbuhi oleh tanaman air dan pada bagian permukaannya dapat dimanfaatkan oleh aktivitas mikroorganisme atau komunitas hewan², yang kondisinya dibuat sesuai dengan bentuk *wetlands* alaminya, dengan tujuan untuk meminimalisasikan kandungan konsentrasi air limbah yang berpotensi menyebabkan pencemaran air³. Daya tarik *wetlands* dalam pengolahan limbah sangat menarik perhatian khusus, karena kelebihan dan kesederhanaannya tetapi memiliki kemampuan proses minimalisasi limbah yang tinggi, ada tiga fungsi dasar dari *wetlands* yang menjadikan sistem pengolahan limbah cair ini sangat potensial⁴ yaitu :

- a. Secara fisik mampu menahan atau menangkap kandungan-kandungan ~~*pollutants* yang terdapat di permukaan tanah dan senyawa-senyawa organik~~ dalam limbah.
- b. Memanfaatkan (*Utilization*) dan sebagai *transformation* dari berbagai macam aktifitas jenis mikroorganisme.
- c. Memerlukan energi dan syarat pemeliharaan yang rendah dan mudah untuk menghasilkan pengolahan yang baik.

² Cowardin dkk, 1979

³ NRCS, 2001

⁴ Chan, E., T.A. Bursztynsky, 1981

Berikut tabel 2.1 hasil efisiensi removal terhadap beberapa parameter pencemar yang dilakukan pengolahan dengan sistem *constructed wetlands*

Tabel 2.1 *Treatment Wetlands Average Performance*

Pollutant	Concentration (mg/L)		Removal Efficiency
	In	Out	(%)
Biochemical Oxygen Demand (BOD)	110	7	94
Chemical Oxygen Demand (COD)	3,000	50	98
Total Suspended Solids	46	13	72
Total Ammonia Nitrogen	5	2.4	52
Nitrate + Nitrite Nitrogen	5.5	2.1	62
Total Phosphorus	3.8	1.7	56
Volatile Organic Compounds	16	0.8	95
Phenols	38	8.6	74
Benzene	0.5	0	100
Xylenes	10	0	100
Trichloroethane	4.4	0	100

Sources : North American Treatment Database-NADB (1993), API (1998), and Komex (2000)

Definisi umum *wetlands* lainnya berupa tanah transisi antara bagian daratan dan perairan di mana sebagian besar komposisinya berupa air. *Natural treatment wetlands* ini efektif untuk mengolah air limbah di mana prinsip pengolahan limbah cair dengan *constructed wetlands* ini memanfaatkan peranan aktivitas mikroorganisme atau bakteri sebagai *mikrobal degradation of contaminants*⁵ yang terdapat di dalam limbah dan di permukaan air atau yang hidup di akar, batang tanaman dan peranan tanaman (*vegetation*) air di area tersebut. Proses pengolahan yang terjadi di dalam *wetlands* tersebut berupa sedimentasi, filtrasi, gas transfer, adsorpsi atau disebut juga dengan proses pengolahan fisik, untuk pengolahan secara kimiawi dan biologi pada *constructed*

⁵ Luckeydoo et al, 2002

wetlands terjadi karena adanya aktivitas dari mikroorganismenya dalam tanah dan aktivitas dari tanaman, yaitu berupa proses fotosintesis⁶

Variabel - variabel perencanaan pada *constructed wetlands* meliputi : kapasitas debit air limbah yang dialirkan, beban organik limbah yang tertentu, kedalaman media tanah maupun air, serta adanya pemeliharaan tanaman yang digunakan selama proses pengolahan.

2.1.2 Mekanisme Sistem Pengolahan *Wetlands*

Berdasarkan definisi dari *Environmental Protection Agency* (EPA) dan *Water Pollution Control Federation* sistem pengolahan pada *constructed wetlands* dikategorikan menjadi dua tipe yaitu :

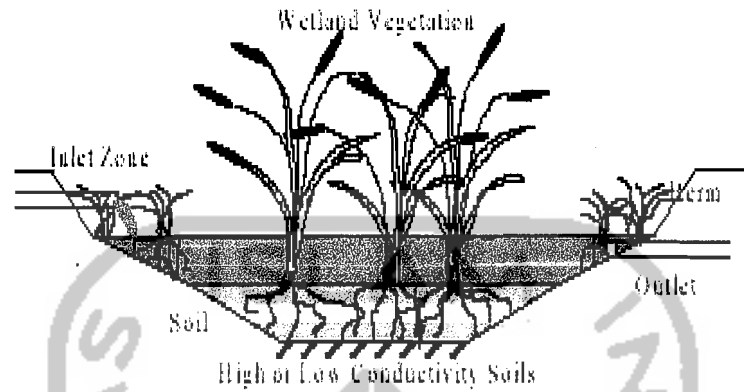
a. Sistem *Free Water Surface* (FWS)

Sistem ini berbentuk kolam atau saluran yang dilapisi dengan lapisan *impermeable* alami atau lapisan tanah, yang mana kandungan air pada sistem ini dangkal. Lapisan ini berfungsi untuk mencegah terjadinya perembesan air limbah atau keluarnya air limbah dari kolam atau saluran tersebut. Komposisi utama pada sistem *Free Water Surface* (FWS) adalah tanah sebagai substrat untuk tempat hidupnya tanaman air. Pada sistem FWS ini biasanya tanaman yang digunakan berupa *cattail*, *reed*, *sedge* dan *rush*. Kondisi yang harus diperhatikan dalam sistem FWS ini adalah :

- Kedalaman air relatif dangkal
- *Velocity* atau kecepatan air rendah (*low*)

⁶ Metcalf & Eddy, 1993

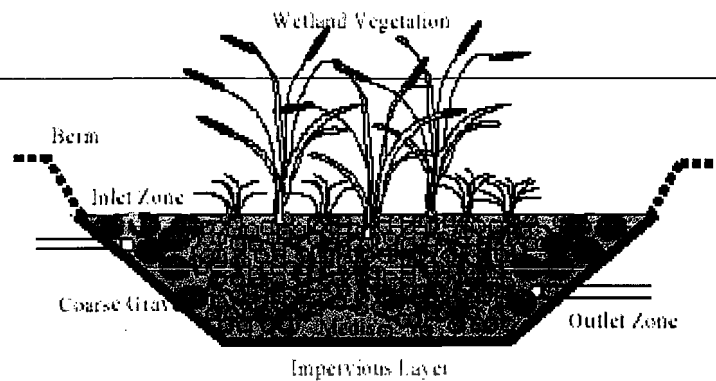
- Keberadaan batang dan sisa-sisa tanaman yang mempengaruhi aliran air
- Lebih efisien digunakan pada saluran atau area yang panjang



Gambar 2.1 *Constructed Wetlands Type FWS*

b. Sistem *Sub Surface Flows (SSF)*

Sistem *sub surface flows* ini pada dasarnya hampir sama dengan sistem *free water surface* hanya pada jumlah air pada sistem ini hampir seluruh tanaman air hidup menggantung pada permukaan air. Pada SSF media yang digunakan berupa media berpori antara lain : kerikil dan pasir kasar. Proses yang terjadi pada sistem SSF ini berupa filtrasi, adsorpsi yang dilakukan oleh mikroorganisme dan adsorpsi terhadap tanah dan bahan organik akibat adanya aktivitas dari akar tanaman.



Gambar 2.2 *Constructed Wetlands* Type SSF

Pada sistem pengolahan *constructed wetlands* ini terdapat dua jenis pengaliran air limbah yaitu secara horizontal (*sub surface flow wetlands*) dan jenis pengaliran secara vertikal (*vertical flow wetlands*). Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi sistem pengolahan *wetlands* antara lain :

a. Tanaman

Dalam sistem pengolahan *constructed wetlands*, jenis tanaman yang digunakan tergolong dalam jenis tanaman yang memerlukan kadar air yang tinggi, tanaman ini merupakan komponen terpenting dari *constructed wetlands* yang mampu mentransformasikan nutrien melalui proses fisik, kimia, dan mikrobiologi (biologis). Tanaman sangat berpengaruh terhadap kecepatan aliran, meningkatkan waktu detensi dan memudahkan proses pengendapan dari partikel *suspended*. Jenis tanaman yang sering digunakan dalam *constructed wetlands* yaitu : tanaman *duckweed*, *reeds*, *cattail*, *water hyacinth*, dan *bulrush*, untuk tanaman *cattail* dan *reeds* akan lebih praktis jika digunakan dalam sistem pengolahan ini karena dapat

dibersihkan dalam jangka waktu yang lama ⁷. Jenis tanaman tersebut merupakan jenis yang mudah untuk ditemukan dan biasa digolongkan sebagai tanaman gulma yang hidup di perairan bebas. Berikut tabel dari fungsi setiap bagian atau komponen pada tanaman air yang digunakan dalam pengolahan *natural wetlands* ⁸ ini :

Tabel 2.2 Fungsi Komponen-komponen Tanaman Dalam *Wetlands*

No	Komponen Tanaman	Fungsi
1	Akar dan batang dalam air	sebagai tempat pertumbuhan bakteri
		sebagai media untuk proses filtrasi dan <i>adsorption solids</i>
2	Batang dan daun yang berada di permukaan air	Mengurangi masuknya sinar matahari
		Mampu mencegah pertumbuhan alga
		Mampu mengurangi efek dari kecepatan angin di permukaan air
		Dapat mentransfer gas-gas diantara atmosphere dan air
		Sangat penting untuk mentransfer gas dari dalam permukaan air yang dihasilkan tanaman

b. Media reaktor

Media yang digunakan pada pengolahan *constructed wetlands* terdiri dari: tanah, pasir, dan kerikil. Adapun fungsi dari media tanah pada sistem ini adalah :

- Sebagai tempat hidup dan tumbuhnya tanaman
- Sebagai tempat berkembangbiaknya mikroorganisme
- Sebagai tempat terjadinya proses fisik yaitu proses sedimentasi dalam penurunan konsentrasi *solid* air limbah.

⁷ Vymazal, 1998

⁸ Reed, S., R. Bastian, dkk, 1979

Sistem pengolahan *wetlands* ini dipengaruhi oleh waktu detensi, di mana waktu detensi akan mempengaruhi kontak antara mikroorganisme dengan air limbah, waktu detensi juga mempengaruhi oksigen yang akan dikeluarkan akar tanaman. Permeabilitas tanah dan konduktivitas hidrolis sangat mempengaruhi waktu detensi air limbah ⁹.

c. Mikroorganisme

Karakteristik dan peranan utama dari sistem pengolahan *wetlands* merupakan fungsi pengatur yang besar dari aktifitas mikroorganisme dan proses metabolisme mikroba ¹⁰. Komunitas mikroba dalam *constructed wetlands* digunakan sebagai indikator pengukuran secara langsung dalam proses pengolahan air limbah, yaitu jenis mikroorganisme dari bakteri, virus, ragi, microscopis fungi, protozoa, alga. Proses hubungan antara komunitas mikroba ini dalam *wetlands* merupakan faktor utama dalam merecycleing kandungan pencemar dalam air limbah yaitu terjadinya proses dekomposisi dan denitrifikasi ¹¹.

Proses transformasi yang terjadi di dalam *wetlands* sebagian besar dipengaruhi oleh adanya hubungan metabolisme mikroorganisme dalam memanfaatkan air limbah dalam pertumbuhannya. Nitrogen dan carbon merupakan sumber energi bagi mikroba, di mana carbon digunakan untuk membentuk biomassa dari mikroba ($C_5H_7O_2N$) ¹² sebagai nutrien, proses fotosintesis yang dilakukan oleh protozoa juga memberikan respons yang cepat

⁹ Wood, 1993

¹⁰ Wetzel, 1993

¹¹ Baath, 1989

¹² Parnas, 1975

untuk meningkatkan jumlah nutrisi dalam air limbah¹³. Adanya proses transformasi dan dekomposisi oleh mikroba secara langsung mempengaruhi jumlah komunitas mikroba (*microbial population densities*), dan penambahan jenis bakteri anaerobik seperti *streptococci*, *Enterobacteriaceae*, dan *aerobic spore* (*Bacillus spp*, *Pseudomonas alcaligenes*, dan *Aeromonas spp*) yang berperan dalam mengurai bahan pencemar menjadi nutrisi.

Aktivitas dari mikroorganisme pada sistem pengolahan *wetlands* mempengaruhi kinerja proses kimia dan biologis. Mikroorganisme yang diharapkan dapat berkembangbiak dalam sistem ini adalah mikroorganisme *heterotropik aerobik*, karena pengolahan dengan mikroorganisme tersebut dapat berjalan lebih cepat di banding jenis mikroorganisme anaerobik¹⁴. mikroorganisme ini selain mengurai air limbah juga akan mempertahankan kandungan oksigen dalam air limbah. Sehingga akan mengurangi bau. Untuk menunjang kehidupan mikroorganisme ini, maka diperlukan pengaturan jarak tanaman pada reaktor, pengkondisian lingkungan reaktor yaitu temperatur, pH, ruang yang cukup dan lain-lain¹⁵.

Proses nitrifikasi (oksidasi amonium menjadi nitrat dan nitrit secara biologis) dan denitrifikasi (oksidasi nitrit menjadi nitrat) dalam *wetlands* juga dapat terjadi secara siklus alami, yang disebabkan adanya aktivitas dari mikroorganisme dalam mengurai bahan makanannya, yaitu komunitas bakteri *heterotroph* (mikroorganisme yang menggunakan karbon organik sebagai energi) dan *autotroph* (mikroorganisme yang menggunakan karbon dioksida sebagai

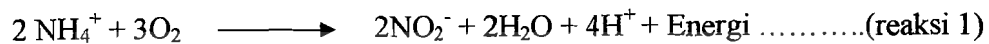
¹³ Praat and Cairns, 1985

¹⁴ Vymazal, 1998

¹⁵ Grads and Lim, 1990, Reddy and Patrick, 1983

energi) yang terdiri dari bakteri *Nitrosomonas sp*, *Nitrobacter sp*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *alcaligenes*, *spirillum*. Berikut reaksi proses nitrifikasi dan denitrifikasi yang menyebabkan terjadinya proses pembusukan pada *wetlands* dan siklus pertumbuhan bakteri *autotroph* dan *heterotroph*:

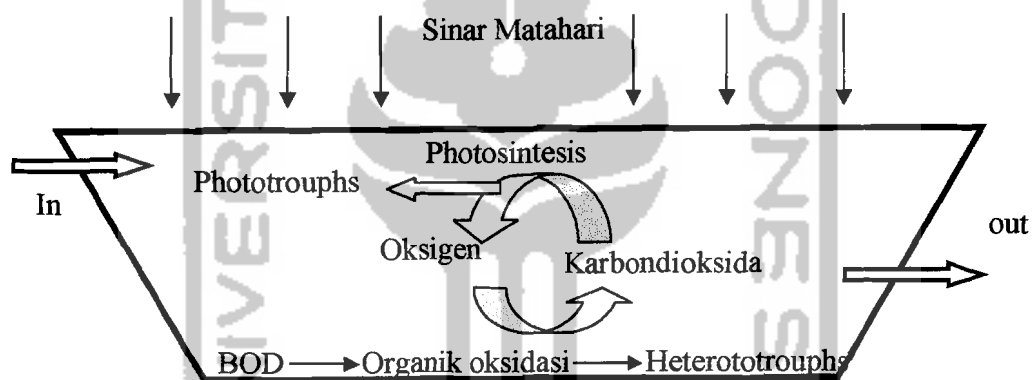
- Oksidasi ammonium menjadi nitrit peranan bakteri *Nitrosomonas sp*



- Oksidasi nitrit menjadi nitrat peranan bakteri *Nitrobacter sp*

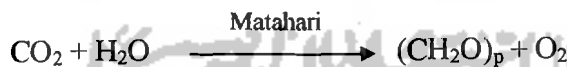


- Pertumbuhan bakteri *autotroph* dan *heterotroph* dalam *wetlands*

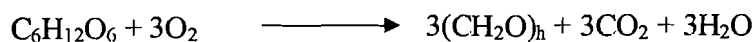


Gambar 2.3 Siklus Pertumbuhan Bakteri *Autotrouphs* dan *Heterotrouphs*

Reaksi pertumbuhan bakteri *Phototrouphs* adalah :



Reaksi pertumbuhan bakteri *Heterotrouphs* adalah :



Karbohidrat

Semua jenis mikroorganismenya yang ada dalam *wetlands* secara umum beraktivitas untuk mengasimilasi nutrisi untuk pertumbuhannya, seperti amonium dapat bergabung membentuk asam amino oleh bakteri *autotroph* dan *heterotroph*¹⁶, asam amino ditransformasikan ke dalam protein, purin, dan pirimidin yang digunakan sebagai sumber energi.

Berikut ini aktivitas dari mikroorganismenya dalam sistem pengolahan air limbah dengan *constructed wetlands*:

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

Proses mentransformasikan limbah dalam *wetlands* dilakukan mikroorganismenya dengan cara aerobik maupun anaerobik. Jenis bakteri terbesar dalam sistem ini berupa bakteri fakultatif anaerob di mana jenis bakteri ini mampu beraktivitas dalam kondisi lingkungan yang aerobik maupun anaerobik. Pertumbuhan mikroorganismenya dalam *wetlands* dapat berkembangbiak dengan cepat jika persediaan energi sesuai dengan kebutuhan mikroba dan sebaliknya mikroorganismenya akan lambat berkembangbiak apabila kondisi lingkungan tidak sesuai dengan kebutuhan mikroba¹⁷.

¹⁶ Kadlec and Knight, 1996

¹⁷ Hilton, 1993

d. Temperatur

Temperatur dari air limbah mempengaruhi kualitas effluen air limbah karena berpengaruh pada waktu detensi air limbah dalam reaktor dan aktivitas mikroorganisme dalam mengolah air limbah.

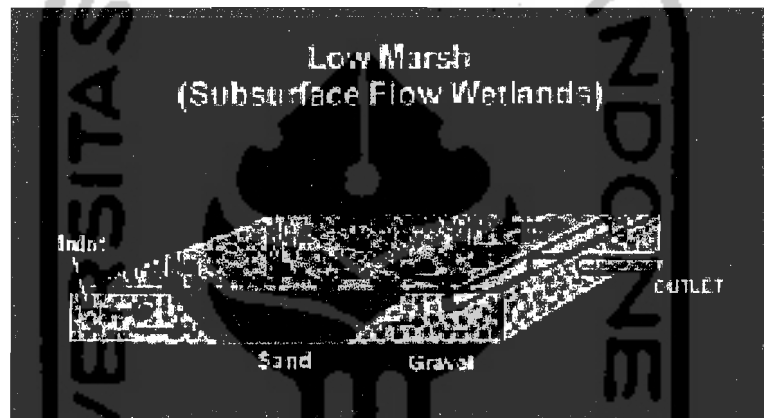
Sistem *constructed wetlands* mempunyai keunggulan dibandingkan dengan sistem pengolahan konvensional lain seperti sistem pengolahan ponds atau lagoon. Kendala-kendala yang sering ditemui pada sistem ponds atau lagoon antara lain sebagai berikut:

- Timbulnya bau dan aroma yang tidak enak.
- Tempat berkembangbiaknya lalat dan *insecta* lain.
- Tingkat *removal* pengolahan yang kurang optimal.

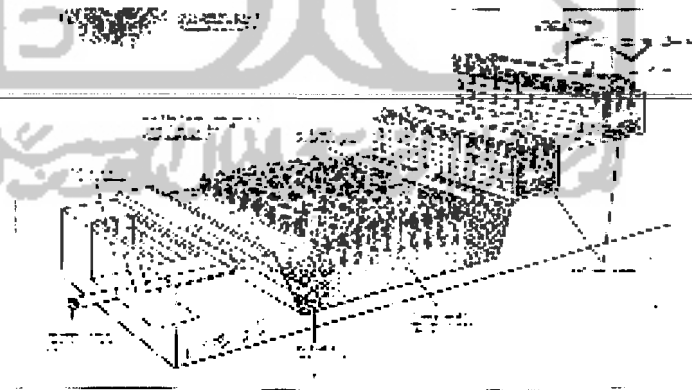
Di samping dua sistem di atas pada umumnya pengolahan limbah juga dilakukan dengan sistem *activated sludge* atau *oxidation ditch* di mana kedua sistem tersebut memerlukan perawatan khusus dan biaya yang cukup tinggi. Kendala-kendala di atas dapat di atasi dengan menggunakan sistem pengolahan *constructed wetlands (Natural treatment)* karena sistem ini mempunyai beberapa keunggulan yaitu:

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

Keuntungan pengolahan dengan sistem *constructed wetlands* adalah biaya pengolahan dan perawatan lebih murah, mampu mengolah air limbah domestik dan industri di mana kualitas effluen yang dihasilkan terbukti baik dan sistem manajemen dan control yang mudah¹⁶. Sistem *constructed wetlands* dirancang sedemikian rupa dan di isi dengan batuan, tanah dan zat organik untuk mendukung tumbuhnya tanaman seperti : cattail, *reeds* dan lain-lain. Berikut gambar dari sistem pengolahan *constructed wetlands*



Gambar 2.4 Reaktor Sistem *Constructed wetlands*



Gambar 2.5 Reaktor Sistem *Constructed wetlands* Bertingkat

¹⁶ Gambrell, 1994

2.1.3 *Suspended Solid Dalam Constructed Wetlands*

Kandungan padatan *tersuspended* dalam air limbah dapat dihilangkan dan di produksi secara alami dalam *wetlands*. Proses utama untuk *meremoval* padatan *tersuspensi* adalah dengan proses flokulasi atau sedimentasi dan proses filtrasi atau intersepsi. Padatan *tersuspensi* di dalam *wetlands* terjadi apabila ada kematian dari inveterbrata, batang tanaman yang jatuh, produksi dari plankton dan mikroba di dalam kolam air atau yang menempel pada permukaan tanaman, dan senyawa kimia yang terpresipitasi seperti besi sulfid¹⁹. Partikel yang besar dan berat akan segera mengendap setelah terbawa oleh air dan melewati vegetasi yang terdapat di dalam *wetlands*²⁰. Tanaman pada *wetlands* dapat meningkatkan proses sedimentasi dengan mengurangi *mixing* pada kolom air dan resuspensi dari partikel pada permukaan sedimen. Selain proses sedimentasi proses agregasi juga terdapat di dalam *wetlands* yaitu proses bersatunya partikel secara alami yang membentuk jonjot atau flok-flok²¹. Distribusi dari *inflow*, aliran yang seragam, keseragaman tanaman, angin yang bertiup kedaratan menuju *wetlands* secara umum mempengaruhi aliran turbulan kolom air dan terjadi *mixing* serta berpengaruh terhadap proses agregasi, sedimentasi, resuspensi dan proses adesi dari partikel yang halus atau kecil.

Hubungan yang terjadi di lapangan dibuatkan grafik untuk menunjukkan kecocokkan antara data terukur dengan level prediksi dengan menggunakan

¹⁹ USEPA, 1988

²⁰ Merz, 2000

²¹ Merz, 2000

pendekatan-pendekatan. Untuk *removal suspended solid* pada *constructed wetlands* secara umum dapat menggunakan persamaan²²

$$SS_{\text{effluent}} = SS_{\text{influent}} \times (A \times B \times HLR) \dots\dots\dots(3.1)$$

Di mana : A = 0,1139

 B = 0,00213

 SS = padatan *tersuspensi*, mg / L

 HLR = *hydraulic loading rate*, cm / hr

2.1.4 *Biochemical Oxygen Demand (BOD₅) Constructed Wetlands*

Kebutuhan Oksigen Biologis atau BOD didefinisikan sebagai banyaknya oksigen yang dibutuhkan oleh micro-organisme untuk menguraikan bahan-bahan organik (*carboneous demand*) dan senyawa nitrogen (*nitrogenous demand*). Banyaknya oksigen yang dibutuhkan tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah dan jenis bahan organik, tetapi juga dipengaruhi oleh waktu dan suhu inkubasi. Sebagai standar inkubasi BOD ditetapkan yang paling efektif adalah suhu 20 °C dengan waktu inkubasi 5 hari karena pada waktu ini proses terurainya bahan organik terjadi. Bahan organik yang dapat diurai oleh BOD tergolong dalam senyawa organik yang mudah terurai umumnya berasal dari limbah domestik.

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

²² Reed, 1995

degradasi, yang mana proses ini akan melepaskan nutrien, selanjutnya kembali menjadi tanah.

Dekomposisi karbon dalam *wetlands* didasarkan pada kesetimbangan antara karbon yang masuk dengan suplai oksigen yang ada dalam *wetlands*. Suplai oksigen yang cukup untuk proses oksidasi bahan organik karbon akan mempengaruhi proses degradasi secara aerobik sebaliknya jika suplai oksigen sedikit maka proses dekomposisi atau degradasi berlangsung secara anaerobik. Suplai oksigen tersebut berasal dari adanya difusi langsung dari atmosfer ke permukaan air dan proses fotosintetis.

Pada sistem FWS kehilangan konsentrasi BOD₅ terlarut tergantung dari pertumbuhan mikroorganisme yang ada pada akar, batang, dan daun tanaman yang sudah mati. Perencanaan kedalaman di dalam *constructed wetlands* air seharusnya antara 10 mm-600 mm (24 in) atau kurang untuk menjamin cukupnya distribusi oksigen. Kehilangan konsentrasi BOD di dalam *wetlands* telah dideskripsikan dengan menggunakan persamaan model reaksi orde pertama, sebagai berikut :

$$C_e / C_o = \exp(-K_T t) \quad (3.2)$$

Di mana : C_e = effluent BOD₅, mg / l

C_o = influent BOD₅, mg / l

K_T = temperatur, bergantung pada laju reaksi orde pertama, hr⁻¹

t = waktu detensi, hr

hydraulic residence time (waktu detensi) dapat representasi dengan menggunakan persamaan :

$$t = LWnd / Q \dots\dots\dots(3.3)$$

Di mana : L = panjang, m

W = lebar, m

d = kedalaman air, m

n = porositas

Q = debit rata – rata (Flow in + Flow out) / 2, m³ / hr

Persamaan yang digunakan untuk memperkirakan hubungan BOD effluent dapat juga menggunakan persamaan (Reed, 1995)

$$\text{BOD effluent} = A \times \text{BOD influent} + B \times \text{HLR} \dots\dots\dots (3.4)$$

Di mana : A = 0,192

B = 0,097

BOD = *biochemical oxygen demand*, mg / l

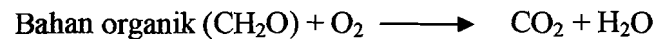
HLR = *hydraulic loading rate*, cm / hr

2.1.5 *Chemical Oxygen Demand (COD) Costructed Wetlands*

Kebutuhan oksigen kimiawi atau COD merupakan jumlah oksigen untuk mengoksidasi zat organik dalam air limbah. Besar kecilnya COD akan mempengaruhi jumlah pencemar oleh zat organik, yang mana hal ini dapat dioksidasi oleh aktivitas mikrobiologi dan akan berpengaruh pada jumlah oksigen terlarut dalam air. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa aktivitas mikroorganisme ini sangat bergantung pada aktivitas akar tanaman dalam sistem

Constructed wetlands untuk mengeluarkan oksigen ²³. Mekanisme pengolahan

dan penguraian bahan organik dari air limbah yang terjadi adalah :



Chemical Oxygen Demand (COD) juga merupakan parameter yang digunakan untuk menentukan bahan-bahan organik yang ada di dalam air limbah baik yang mudah diurai maupun yang sukar di urai oleh mikroba.

2.1.6 Asam Sianida (HCN)

Glikosida sianogenik merupakan senyawa yang terdapat dalam bahan makanan nabati seperti singkong yang potensial beracun karena dapat terurai dan mengeluarkan hidrogen Sianida. Hidrogen Sianida dalam singkong dapat keluar apabila bahan tersebut dihancurkan, mengalami pengisian atau rusak. Bila dicerna hidrogen Sianida sangat cepat diresap oleh alat pencernaan dan masuk kedalam darah. Hidrogen Sianida dapat menyebabkan sakit dan sampai menyebabkan kematian tergantung dari dosisnya (dosis yang mematikan berkisar antara 0,5 – 3,5 mg/L HCN/kg berat badan)

Kandungan Sianida dalam singkong sangat bervariasi, kadar Sianida dalam singkong manis rata-rata di bawah 50 mg/kg berat asal, sedangkan singkong pahit kandungan racun Sianida di atas 50 mg/kg berat asal. Ada beberapa perlakuan secara tradisional untuk dapat mengurangi kadar Sianida dalam singkong yaitu dengan mengelupas kulitnya sebelum diolah, dikeringkan dan direndam sebelum di masak dan di proses pembusukan selama beberapa hari,

²³ Gopal, 1999

dengan perlakuan tersebut Sianida dapat diturunkan menjadi 10 – 40 mg/kg berat

asal²⁴

a. Sifat-sifat Sianida

Asam Sianida tidak berwarna dalam bentuk gas maupun cair. Berat gas HCN lebih ringan dari berat udara dan mudah menguap, oleh karena itu Sianida mudah menyebar. *Specific gravity* pada suhu 20,5 °C adalah 0,697 mg/m³, berat jenis gasnya yaitu 0,93 mg/m³ dan titik didihnya 26,5 °C. secara garis besar Sianida dapat diklasifikasikan berdasarkan sifat fisik kimianya yaitu Sianida bebas, Sianida sederhana, Sianida kompleks dan Sianida organik.²⁵

Sianida bebas adalah *Hidrocyanic acid* (HCN) pada suhu normal dalam keadaan gas, sedangkan dalam air HCN akan membentuk suatu garam-garam mineral. Sianida sederhana misalnya : *Sodium cyanides*, *Potassium cyanides*, *Calcium cyanides* dan *Ammonium cyanides*. Sianida jenis ini tidak stabil sehingga mudah berubah menjadi HCN atau akan membentuk ikatan Sianida yang kompleks. Sianida kompleks merupakan Sianida yang berikatan dengan metal seperti : *Cobalt*, *ferrum*, *Nickel*, *Cadmium*, dan *Mangan*. Sianida ini sangat stabil sehingga sangat sulit terurai dalam keadaan normal. Sianida organik misalnya *Acetonecyanohydrin*, *Acetonitrile*, dan *Adiponitrile*. Sianida organik bersifat stabil. Semua bentuk Sianida tersebut di atas memiliki sifat racun yang tinggi untuk Sianida kompleks dan organik sangat berbahaya karena bersifat stabil. Pengaruh Sianida di dalam lingkungan dapat mengganggu biota hewan air, di mana keberadaan Sianida akan mematikan

²⁴ Winarno, F.G. 1991

²⁵ Kalada, L.H. and Lordi. 1958

tanaman ataupun organisme di dalam air tersebut. Pada konsentrasi 1,8 mg/L Sianida dapat melumpuhkan 50 % organisme yang ada di air dalam waktu 48 jam.²⁶

2.2 Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*)

Eceng Gondok dapat hidup mengapung bebas di atas permukaan air dan berakar di dasar kolam atau rawa jika airnya dangkal. Kemampuan tanaman inilah yang banyak digunakan untuk mengolah air buangan, karena dengan aktivitas tanaman ini mampu mengolah air buangan domestik dengan tingkat efisiensi yang tinggi. Eceng Gondok dapat menurunkan kadar BOD, partikel suspensi secara biokimiawi (berlangsung agak lambat) dan mampu menyerap logam-logam berat seperti Pb, Hg, Ag, Cd, Cu, Fe, Mn, Zn, dengan baik, kemampuan menyerap logam persatuan berat kering Eceng Gondok lebih tinggi pada umur muda dari pada umur tua²⁷.

Adapun bagian-bagian tanaman yang berperan dalam penguraian air limbah adalah sebagai berikut :

a) Akar

Bagian akar Eceng Gondok ditumbuhi dengan bulu-bulu akar yang berserabut, berfungsi sebagai pegangan atau jangkar tanaman. Sebagian besar peranan akar untuk menyerap zat-zat yang diperlukan tanaman dari dalam air. Pada ujung akar terdapat kantung akar yang mana di bawah sinar matahari

²⁶ Eckenfelder, W.W. 1978

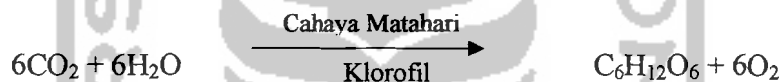
²⁷ Widiyanto dan Suselo, 1977

kantung akar ini akan berwarna merah, susunan akarnya dapat mengumpulkan lumpur atau partikel-partikel tanah yang terlarut dalam air²⁸

b) Daun

Daun Eceng Gondok tergolong dalam makrofita yang terletak di atas permukaan air, yang di dalamnya terdapat lapisan rongga udara dan berfungsi sebagai alat pengapung tanaman. Zat hijau daun (klorofil) Eceng Gondok terdapat dalam sel epidemis. Di permukaan atas daun dipenuhi oleh mulut daun (stomata) dan bulu daun. Rongga udara yang terdapat dalam akar, batang, dan daun selain sebagai alat penampung juga berfungsi sebagai tempat penyimpanan O₂ dari proses fotosintesis.

Reaksi fotosintesis :



oksigen hasil dari fotosintesis ini digunakan untuk respirasi tumbuhan di malam hari dengan menghasilkan CO₂ yang akan terlepas ke dalam air²⁹

c) Tangkai

Tangkai Eceng Gondok berbentuk bulat menggelembung yang di dalamnya penuh dengan udara yang berperan untuk mengapungkan tanaman di permukaan air. Lapisan terluar petiola adalah lapisan epidermis, kemudian dibagian bawahnya terdapat jaringan tipis sklerenkim dengan bentuk sel yang tebal disebut lapisan parenkim, kemudian di dalam jaringan ini terdapat jaringan

²⁸ Ardiwinata, 1950

²⁹ Pandey, 1980

pengangkut (*xylem dan Floem*). Rongga-rongga udara dibatasi oleh dinding penyekat berupa selaput tipis berwarna putih³⁰

d) Bunga

Eceng Gondok berbunga bertangkai dengan warna mahkota lembayung muda. Berbunga majemuk dengan jumlah 6 – 35 berbentuk karangan bunga bulir dengan putik tunggal

Eceng Gondok juga memiliki ciri-ciri morfologi sebagai berikut Eceng Gondok merupakan tumbuhan perennial yang hidup dalam perairan terbuka, yang mengapung bila air dalam dan berakar didasar bila air dangkal. Perkembangbiakan Eceng Gondok terjadi secara vegetatif maupun secara generatif, perkembangan secara vegetatif terjadi bila tunas baru tumbuh dari ketiak daun, lalu membesar dan akhirnya menjadi tumbuhan baru.

Setiap 10 tanaman Eceng Gondok mampu berkembangbiak menjadi 600.000 tanaman baru dalam waktu 8 bulan³¹ hal inilah membuat Eceng Gondok banyak dimanfaatkan guna untuk pengolahan air limbah. Eceng Gondok dapat mencapai ketinggian antara 40 – 80 cm dengan daun yang licin dan panjangnya 7 – 25 cm

2.2.1 Pertumbuhan Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*)

Pertumbuhan Eceng Gondok yang sangat cepat di area perairan dipengaruhi oleh beberapa faktor, faktor tersebut antara lain :

³⁰ pandey, 1980

³¹ Widiyanto, 1981

a. Cahaya matahari, PH, dan Suhu

Pertumbuhan Eceng Gondok sangat memerlukan cahaya matahari yang cukup, dengan suhu optimum antara 25 °C – 30 °C. hal ini dapat dipenuhi dengan baik di daerah beriklim tropis. Di samping itu untuk pertumbuhan yang lebih baik, Eceng Gondok lebih cocok terhadap pH 7,0 – 7,5, jika pH lebih atau kurang maka pertumbuhannya akan terlambat ³².

b. Ketersediaan Nutrien

Pada umumnya jenis tanaman gulma air tahan terhadap kandungan unsur hara yang tinggi. Sedangkan unsur N dan P sering kali merupakan faktor pembatas. Kandungan N dan P kebanyakan terdapat dalam air buangan domestik dan rumah tangga. Jika pada perairan kelebihan nutrien ini maka akan terjadi proses eutrofikasi.

Pengaruh adanya kandungan logam pada air juga akan mempengaruhi pertumbuhan Eceng Gondok seperti Fe yang mampu merangsang pertumbuhan yang optimum pada konsentrasi 2 ppm, dan pada 5 ppm ion Fe akan menghambat pertumbuhan Eceng Gondok, ion Cu dapat memberikan rangsangan pertumbuhan jika kadarnya tidak melebihi dari 3 ppm, Hg yang merupakan ion toksit akan tidak mempengaruhi jika berada pada kadar 1 ppm, ion Mn 5 ppm merangsang pertumbuhan daun Eceng Gondok. Diperairan material organik akan diuraikan dengan cepat melalui proses biodegradasi oleh mikroorganismenya hal ini menjadi permasalahan tersendiri karena proses ini akan meningkatkan nutrien dalam air dengan cepat, sehingga sangat mendukung terjadinya proses eutrofikasi.

³² Dhahiyat, 1974

2.2.2 Ciri-ciri Fisiologis Eceng Gondok

Eceng Gondok memiliki daya adaptasi yang besar terhadap berbagai macam hal yang ada disekelilingnya dan dapat berkembangbiak dengan cepat. Eceng Gondok dapat hidup ditanah yang selalu tertutup oleh air yang banyak mengandung makanan. Selain itu daya tahan Eceng Gondok juga dapat hidup ditanah asam dan tanah yang basah³³. Kemampuan Eceng Gondok untuk melakukan proses-proses sebagai berikut :

a. Transpirasi

Jumlah air yang digunakan dalam proses pertumbuhan hanyalah memerlukan sebagian kecil jumlah air yang diabsorpsi atau sebagian besar dari air yang masuk kedalam tumbuhan dan keluar meninggalkan daun dan batang sebagai uap air. Proses tersebut dinamakan proses transpirasi, sebagian menyerap melalui batang tetapi kehilangan air umumnya berlangsung melalui daun. Laju hilangnya air dari tumbuhan dipengaruhi oleh kwantitas sinar matahari dan musim penanaman. Laju transpirasi akan ditentukan oleh struktur daun Eceng Gondok yang terbuka lebar yang memiliki stomata yang banyak sehingga proses transpirasi akan besar dan beberapa faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, udara, cahaya, dan angin.³⁴

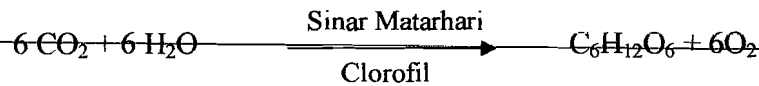
b. Fotosintesis

Fotosintesis adalah sintesa karbohidrat dari karbondioksida dan air oleh klorofil, menggunakan cahaya sebagai energi dengan oksigen sebagai produk tambahan.

³³ Anonim, 1996

³⁴ Anonim, 1996

Reaksi fotosintesis :



Dalam proses fotosintesis ini tanaman membutuhkan CO_2 dan H_2O , dan dengan bantuan sinar matahari akan menghasilkan glukosa dan oksigen dan senyawa-senyawa organik lain. Karbondioksida yang digunakan dalam proses ini berasal dari udara dan energi matahari.³⁵

c. Respirasi

Sel tumbuhan dan hewan mempergunakan energi untuk membangun dan memelihara protoplasma, membran plasma dan dinding sel. Energi tersebut dihasilkan melalui pembakaran senyawa-senyawa. Dalam respirasi molekul gula atau glukosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) diubah menjadi zat-zat yang sederhana yang disertai dengan pelepasan energi³⁶, reaksi kimia adalah :



2.2.2 Sumber dan Karakteristik Limbah Cair Industri Tapioka

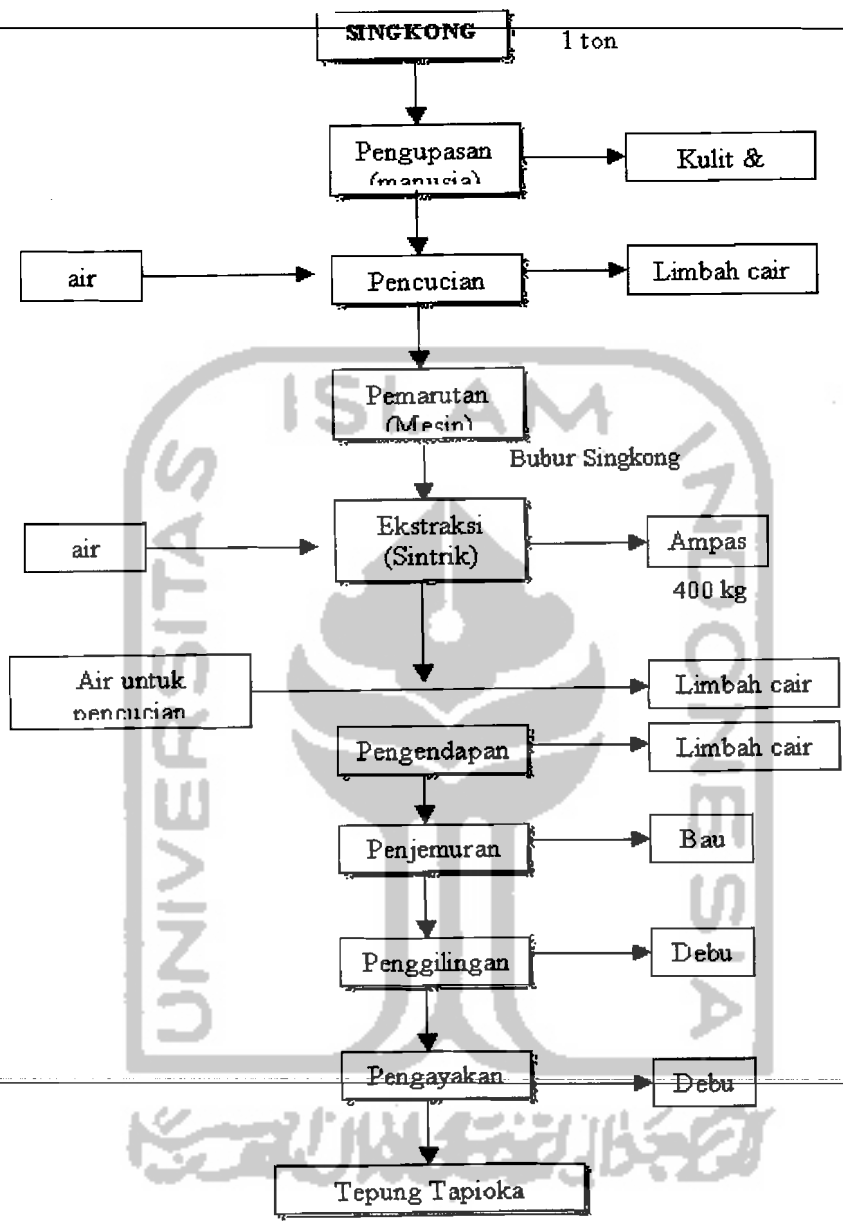
Limbah cair industri tapioka digolongkan kedalam limbah domestik yang pada umumnya mempunyai karakteristik kandungan bahan senyawa organik yang cukup tinggi hal ini ditandai dengan besarnya nilai BOD_5 , kadar Sianida (CN) dan COD juga tinggi, serta pH yang rendah. Di samping itu juga merupakan limbah yang mempunyai sifat koloid sempurna, sehingga partikel-partikel solid sangat sulit untuk mengendap. Sumber limbah cair industri tapioka berasal dari proses

³⁵ Sastroutomo, 1991

³⁶ Tjitrosomo, 1983

pembuatan tapioka, baik dari pencucian bahan baku sampai proses pemisahan pati dari airnya atau proses pengendapan, limbah padat berasal dari proses pengupasan ketela pohon dari kulitnya yaitu berupa kotoran serta kulit ketelanya dan pada waktu pemrosesan yang berupa ampas yang sebagian besar berupa serat dan pati. Penanganan yang kurang tepat terhadap hasil buangan padat dan cair dari proses produksi industri ini selain mencemari badan penerima air juga akan menghasilkan gas yang dapat mencemari udara. Berikut diagram alir dari proses produksi dan sumber air limbah industri tapioka :





Sumber : Bappedal (1996)

Gambar 2.6 Diagram Proses Produksi dan Sumber Air Limbah Industri Tapioka

Untuk karakteristik limbah cair yang dihasilkan oleh berbagai industri

tapioka (rata-rata) adalah sebagai berikut :

Tabel 2.3 Karakteristik Limbah Cair Industri Tapioka

Karakteristik	Satuan	Industri		
		Kecil	Menengah	Besar
Bahan baku	Ton/hari	5.00	20.00	200 – 600
Debit	M ³ /hari	22.00	80.00	1200.00
BOD ₅	ppm	5055.82	5439.45	3075.84
COD	ppm	16202.30	25123.33	5158.78
MPT	ppm	3415.45	3422.00	1342.00
PH	--	5.50	4.50	500
Sianida (CN)	ppm	0.1265	0.117	0.200

Sumber : BPPI Semarang (1997)

Tabel 2.4 Baku Mutu Limbah Industri Tapioka yang sudah Beroperasi

Parameter	Kadar Maximum	Beban Pencemaran Max
		(kg/ton produk)
BOD ₅	200.0 mg/L	12.0
COD	400.0 mg/L	24.0
MPT	150.0 mg/L	9.0
Sianida (CN)	0.500 mg/L	0.003
PH	6 – 9	--

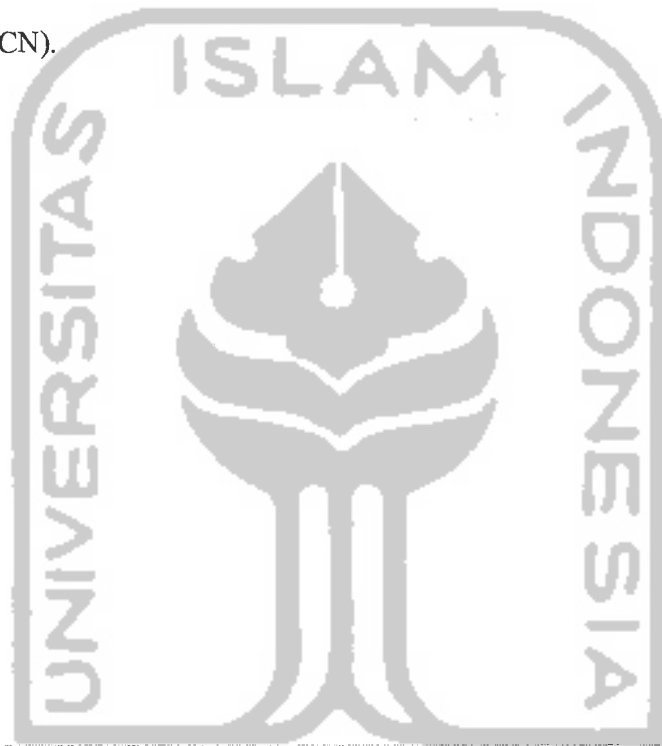
Sumber : Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup Keputusan Menteri

Negara LH No.Kep 51/MENLH/10/1995

2.3 HIPOTESA

Hipotesa penelitian adalah sebagai berikut:

- a. *Constructed wetlands* dengan menggunakan tanaman Eceng Gondok dapat digunakan sebagai salah satu alternatif pengolahan limbah cair industri tapioka.
- b. *Constructed wetlands* dapat menurunkan konsentrasi BOD, COD, TSS dan Sianida (CN).



جامعة الإسلام في إندونيسيا