

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Industri Tapioka

2.1.1 Bahan Baku Industri Tapioka

Singkong atau ketela pohon (*manthot utilissima*) sebagai bahan baku utama industri tapioka, memiliki kandungan karbohidrat yang cukup tinggi yaitu sebesar 32,4 gr dan kalori sebesar 567 gr dalam 100 gr ketela pohon tanpa kulit.

Ketela pohon mengandung gula dan sedikit asam sianida dalam kadar rendah. Asam sianida ini sebagian ada yang dalam bentuk asam bebas dan sebagian lagi dalam bentuk senyawa kimia yang akan terbebaskan oleh asam dan enzim apabila selnya dipecah (Anonim, 1994).

Pada dasarnya olahan singkong dalam industri dapat digolongkan menjadi tiga yaitu hasil fermentasi singkong (tape / peuyeum), singkong yang dikeringkan (gaplek) dan tepung singkong atau tepung tapioka. Dari ketiga jenis olahan singkong tersebut, akan dibahas proses teknologi industri menengah / kecil tepung tapioka. Tepung tapioka digunakan dalam industri makanan atau pakan ternak, dekstrin, glukosa (gula). Dekstrin digunakan dalam industri tekstil, industri farmasi, industri perekat sebagai extender kayu lapis atau industri lain. Sedangkan glukosa digunakan dalam industri makanan, dan industri kimia seperti etanol, dan senyawa organik lainnya.

2.1.2 Proses Pengolahan Tepung Tapioka

Untuk memperoleh tepung tapioka yang berkualitas tinggi sebaiknya dipilih singkong dari jenis yang baik dan tidak mempunyai rasa pahit. Di samping itu, singkong yang akan diproses, sebaiknya singkong yang dicabut pada hari itu juga atau masih dalam keadaan segar. Singkong yang disimpan selama 2 hari atau terlalu lama, akan menyebabkan terjadi perubahan warna menjadi hitam akibat kerja enzim *polifenolase* yang terdapat dalam lendir daging ketela, yang mengakibatkan sarinya akan berkurang. Untuk mengatasi hal tersebut, singkong diolah untuk memperoleh tepung tapioka.

Proses pembuatan tepung tapioka melalui beberapa tahap, yaitu antara lain:

1. Pemilihan bahan baku

Ketela pohon yang digunakan sebagai bahan baku adalah ketela pohon yang berkualitas tinggi, dipilih dari jenis yang baik dan tidak mempunyai rasa pahit.

2. Pengupasan kulit

Pengupasan adalah proses pendahuluan, dimana daging ketela pohon dipisahkan dari kulit. Selama pengupasan, dilakukan sortasi bahan baku dengan pemilihan ketela pohon yang bagus atau tidak busuk. Ketela pohon yang jelek dipisahkan dan tidak diikutkan pada proses berikutnya. Industri tapioka dalam skala besar, proses pengupasan

dipadukan dalam satu operasi dengan alat pencuci mekanik sedangkan industri tapioka dalam skala kecil, pengupasan dilakukan secara manual.

3. Pencucian

Ketela pohon yang telah dikupas, dicuci dengan air bersih agar kotoran dari sisa tanah dan getah ketela pohon yang masih menempel dapat hilang. Pencucian dilakukan dengan cara meremas-remas singkong di dalam bak yang berisi air. Air bekas cucian tersebut kemudian dialirkan ke bak penampung limbah cair. Pada tahap ini dihasilkan limbah cair berupa air bekas cucian yang mengandung tanah dan getah ketela pohon.

4. Pamarutan

Proses pamarutan dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu :

- Parut manual, dilakukan secara tradisional dengan memanfaatkan tenaga manusia sepenuhnya.
- Parut semi mekanis, digerakkan dengan generator sehingga diperoleh bubur ketela pohon yang lembut.

5. Pemerasan/ Ekstraksi

Ada 2 cara untuk melakukan pemerasan yaitu:

- a. Pemerasan serta penyaringan bubur ketela pohon dengan menggunakan kain saring. Kemudian diremas - rernas dengan penambahan air. Cairan yang dipenoleh berupa pati yang

ditampung di dalam ember. Cara ini biasanya dilakukan oleh industri tapioka dalam skala kecil (*home industri*)

b. Pemerasan bubur ketela pohon dengan saringan goyang (sintrik).

Bubur ketela pohon diletakkan di atas saringan yang digerakkan dengan mesin, sementara saringan tersebut bergoyang, ditambahkan air melalui pipa berlubang. Pati yang dihasilkan ditampung dalam bak pengendapan dan ampas yang dihasilkan kemudian dikeringkan, setelah kering ampas digunakan sebagai pakan ternak.

6. Pengendapan

Pati hasil ekstraksi diendapkan dalam bak pengendapan selama 4 jam. Setelah 4 jam, air di bagian atas endapan dialirkan ke bak penampung limbah cair. Sedangkan endapan pati diambil dan siap dikeringkan.

7. Pengeringan Pati

Sistem pengeringan menggunakan sinar matahari dengan cara menjemur tapioka dalam nampan atau widig yang diletakkan di atas rak-rak bambu selama 1-2 hari (tergantung dari cuaca). Tepung tapioka yang dihasilkan sebaiknya mengandung kadar air (15 -19 %).

8. Penghalusan

Pati yang telah dikeringkan kemudian dihaluskan dengan antan, sehingga dihasilkan tepung tapioka yang halus.

2.1.3 Fasilitas Produksi dan Peralatan

Untuk memproduksi tepung tapioka, dengan kapasitas 1 ton singkong perhari dibutuhkan fasilitas dan peralatan produksi sebagaimana pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.1 Fasilitas dan Peralatan

No	Peralatan	Jumlah
1	Parut	2 pasang
2	Nyiru / widig (untuk penjemuran)	50 - 100 buah
3	Kayu untuk bak	25 papan
4	Bambu untuk penglari	10 buah
5	Slang plastik / pipa pralon	secukupnya
6	Kain saringan	3 pasang
7	Rak bambu (alas penjemuran)	50 - 100 buah (secukupnya)
8	Ember plastik	10 buah

Sumber : LIPI, 2000

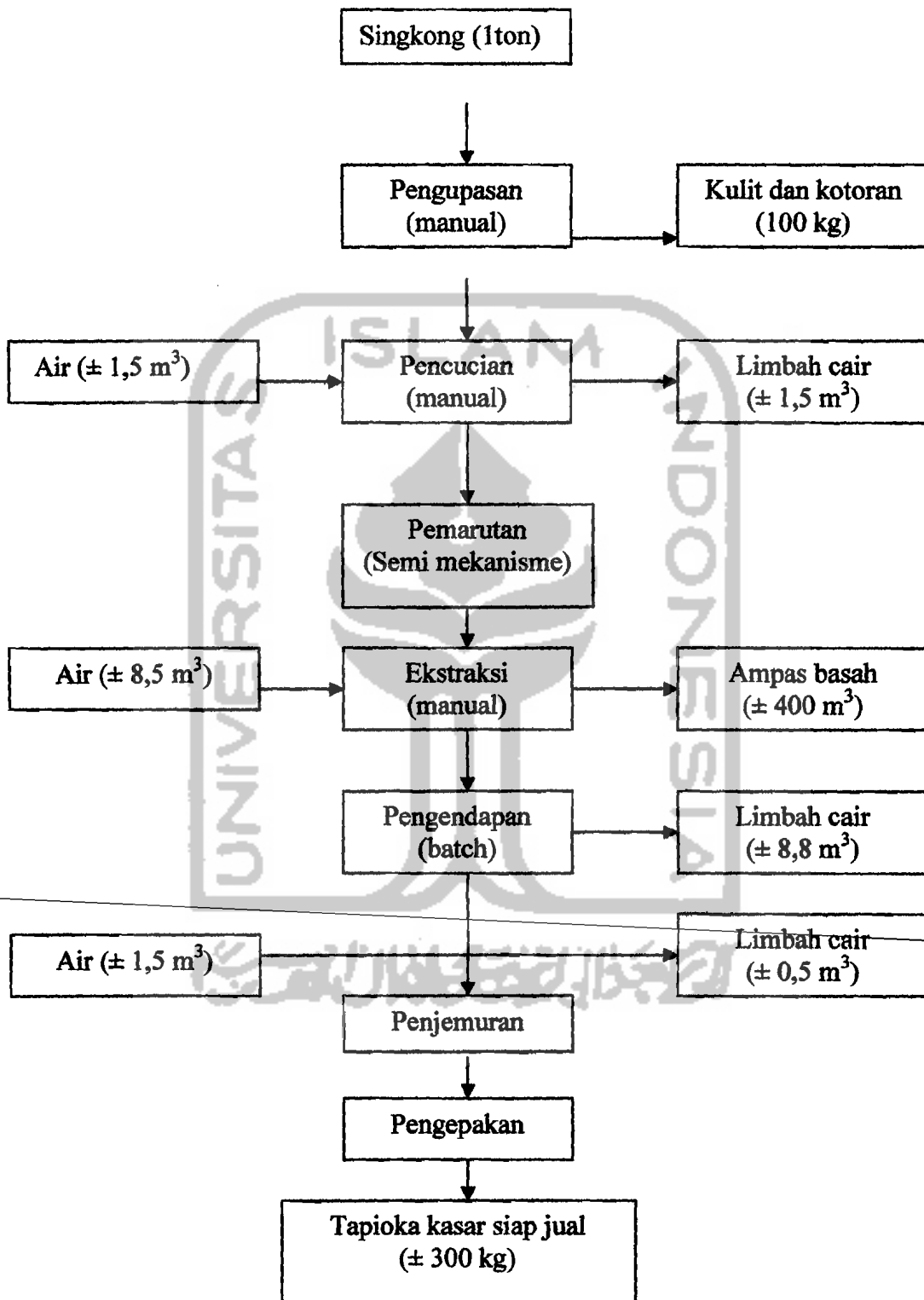
2.1.4 Sumber dan Karakteristik Limbah Cair Industri Tapioka

Limbah industri tapioka berupa limbah padat dan limbah cair. Limbah cair yang dihasilkan oleh industri tapioka berasal dari proses pembuatan, baik dari pencucian bahan baku sampai pada proses pemisahan pati dari airnya atau proses pengendapan, sedangkan limbah padat berasal dari proses pengupasan ketela pohon dan ekstraksi yang berupa ampas yang sebagian besar berupa serat dan pati. Penanganan yang kurang tepat terhadap hasil buangan padat dan cair akan menghasilkan gas yang dapat mencemari udara.

Kegiatan pencucian dan pengendapan merupakan kegiatan yang terbanyak dalam menggunakan air dan merupakan penghasil limbah cair dengan kandungan padatan tersuspensi kasar dan halus terbanyak, sehingga diperkirakan bahwa limbah cair ini mengandung BOD, COD, dan TSS yang tinggi (Anonim, 1994).

Sumber limbah cair dan padat yang dihasilkan oleh industri tapioka dapat dilihat lebih jelas pada diagram alir pembuatan tapioka di bawah ini :





Gbr. 2.1 Alur Pembuatan Tepung Tapioka

Karakteristik limbah cair yang dihasilkan oleh berbagai industri tapioka (rata - rata) adalah sebagai berikut :

Tabel 2.2 Karakteristik Rata – Rata Limbah Cair Berbagai 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	5.00
Sianida	ppm	0.1265	0.117	0.200

Sumber : BPPI Semarang (1997)

Tabel 2.3 Baku Mutu Limbah Industri Tapioka yang Sudah Beroperasi

Parameter	Kadar maximum	Beban pencemar maximum (kg / ton produk)
BOD ₅	200 mg / l	12
COD	400 mg / l	24
MPT	150 mg / l	9
Sianida (CN)	0.5 mg / l	0.003
pH	6 - 9	--

Sumber: Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup Keputusan

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

2.2 *Constructed Wetlands*

2.2.1 *Sistem Constructed Wetlands*

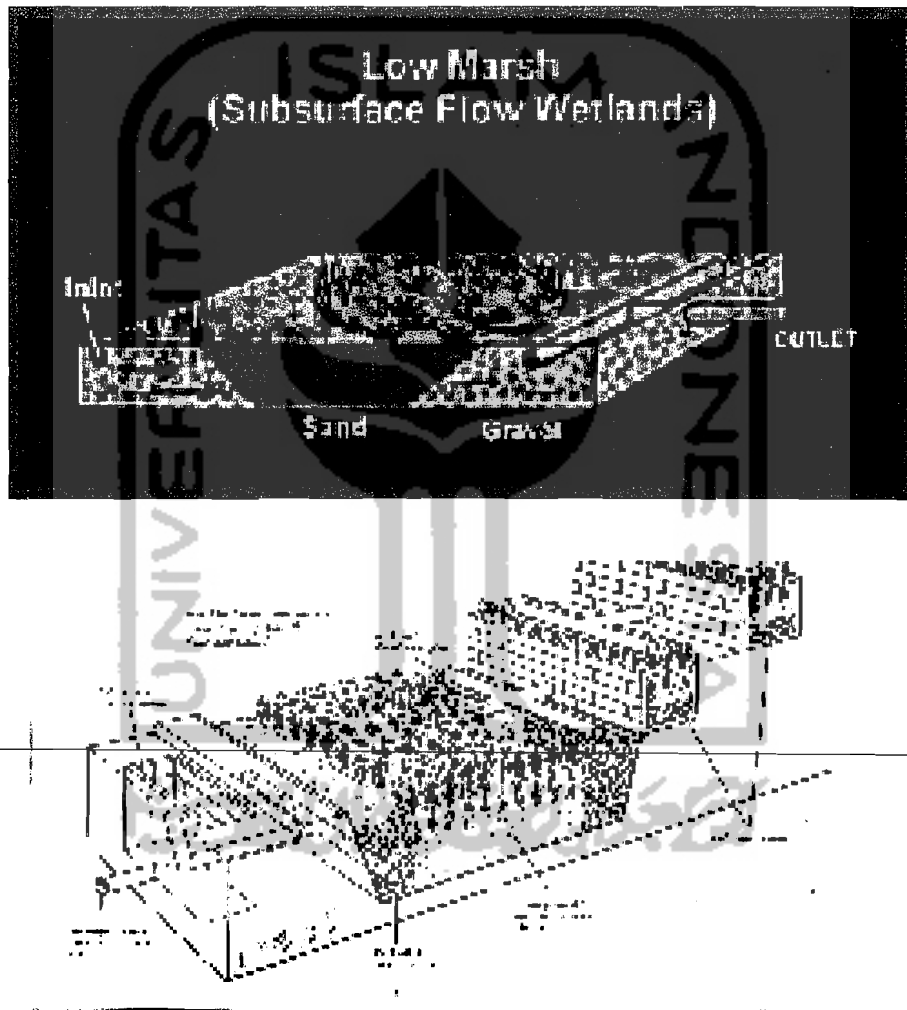
Constructed wetland secara umum didefinisikan suatu ekosistem lingkungan yang berupa tanah jenuh air yang dapat ditumbuhi oleh tanaman air dan pada bagian permukaannya dapat dimanfaatkan oleh aktivitas mikroorganisme atau komunitas hewan (Cowardin dkk, 1979).

Definisi umum *wetland* lainnya berupa tanah transisi antara bagian daratan dan perairan dimana keberadaan air merupakan suatu keharusan, atau tanah yang diselimuti atau digenangi dengan air. Pengolahan limbah cair dengan *constructed wetland* merupakan kombinasi yang kompleks dari proses fisika, kimia, biologi dengan mengandalkan tanaman, kedalaman air, substrat (*medium*) dan mikroorganisme (USEPA, 1999; Kandlec and Knight, 1996).

Proses – proses yang terjadi dalam *constructed wetlands* seperti sedimentasi, filtrasi, *gas transfer*, *adsorpsi*, *ion exchange*, presipitasi kimiawi, oksidasi dan reduksi sedangkan untuk pengolahan biologis terjadi proses aktivitas mikroorganisme dalam tanah dan aktivitas tanaman seperti proses *photosintesis*, *photooksida*, *plant uptake* (Metcalf & Eddy, 1991).

Mekanisme perlakuan yang terjadi di dalam *constructed wetlands* adalah mengendapkan partikel tersuspensi, terjadi proses filtrasi dan presipitasi kimiawi melalui kontak antara air buangan dengan substrat (tanah, pasir, kerikil pendukung tanaman) dan *litter*. Proses *adsorpsi* dan *ion exchange* pada

constructed wetlands dapat terjadi pada lapisan permukaan tanaman, substrat, sedimen, dan *litter*. Proses yang terjadi di dalam *constructed wetlands* adalah penguraian dan transformasi *pollutant* oleh mikroorganisme dan tanaman, penyerapan dan proses transformasi nutrient oleh tumbuhan dan mikroorganisme, pemakan dan kematian secara alami dari bakteri patogen (USDA – NRCS, 2000).



Gbr. 2.2 Constructed Wetland

2.2.2 Macam – Macam *Constructed Wetlands*

Constructed wetlands dapat dikategorikan menjadi dua tipe, yaitu :

1. Sistem *Free Water Surface* (FWS)

Sistem ini terdiri dari: kolam atau saluran, lapisan impermeable untuk mencegah terjadinya perembesan air limbah, tanah sebagai medium penyokong pertumbuhan tanaman, dan air dengan kedalaman yang relatif dangkal. Permukaan air di atas substrat (tanah). Bagian yang dekat dengan permukaan air adalah lapisan aerobik sedangkan bagian antara air dan substrat adalah lapisan anaerobik (USDA-NRCS,2000). Aliran air dalam *wetlands* dengan sistem FWS relatif rendah dan kehadiran tangkai tanaman dan *litter* mengatur aliran air.

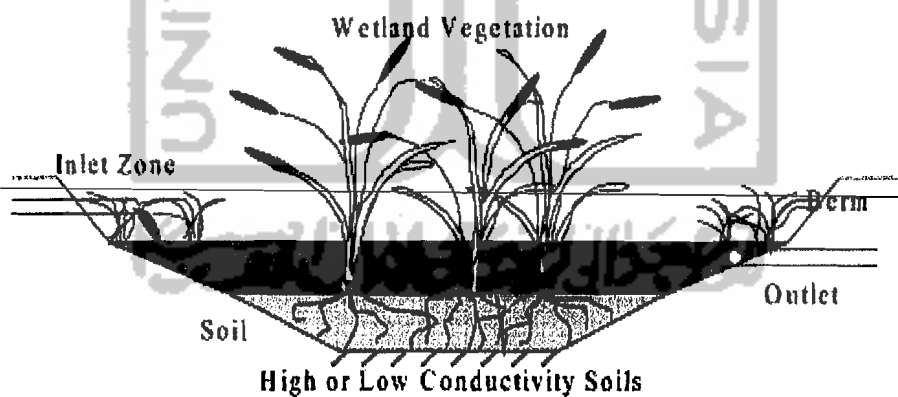


Figure 1. Surface flow (SF) constructed wetland.

Gbr. 2.3 *Constructed Wetlands Tipe Free Water Surface* (FWS)

2. Sistem *Sub Surface Flows* (SSF)

Sistem *sub surface flows* ini pada dasarnya hampir sama dengan sistem *free water surface*. Pada SSF terdiri dari kolam dengan substrat atau media yang digunakan berupa media berpori antara lain : kerikil dan pasir kasar. Nama lain dari *Sub Surface Flows* adalah *vegetated submerged bed*, *root zone method*, *microbial rock reed filter*, dan *plant – rock filter sistem*.

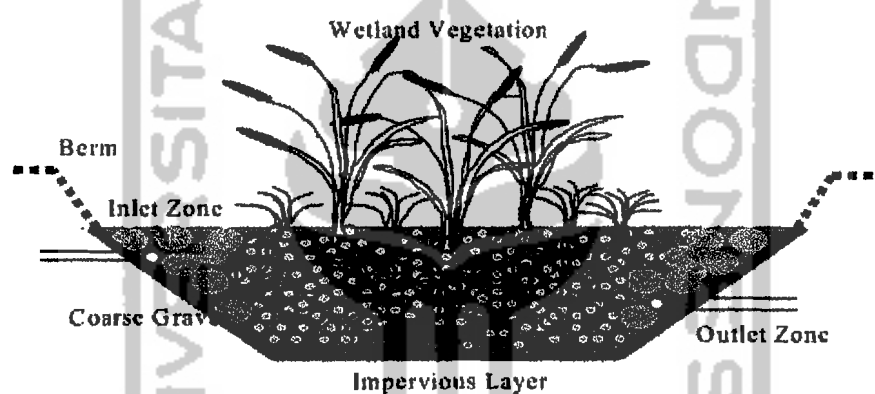


Figure 2. Subsurface flow (SSF) constructed wetland.

Gbr. 2.4 *Constructed Wetlands Tipe Sub Surface Flow* (SSF)

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

Sistem *constructed wetland* dirancang sedemikian rupa dan diisi dengan batuan, tanah dan zat organik untuk mendukung tumbuhan seperti : *cattail*, *reeds* dll. Sistem *constructed wetland* mempunyai kelebihan dibandingkan 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 berkembang biaknya lalat dan insekta lain.
3. Tingkat *removal* pengolahan yang kurang optimal.

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

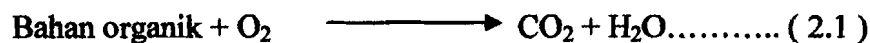
1. Sistem pengolahan yang di dalam tanah, genangan air akan dapat diminimalkan sehingga timbulnya bau dapat dihindari.
2. Tingkat *removal* atau efisiensi pengolahan yang cukup tinggi.
3. Tidak memerlukan perawatan khusus dalam prosesnya.
4. Sistem pengolahannya mudah dan murah.

2.2.3 Biochemical Oxygen Demand (BOD) Dalam Constructed Wetlands

BOD adalah banyaknya oksigen terlarut yang digunakan mikroorganisme untuk mengoksidasi bahan organik secara biokimia dalam air (Metcalf and Eddy, 1991). Pada umumnya air buangan sebagian besar mengandung bahan organik

yang dapat didegradasikan dengan aktivitas mikroorganisme dalam *constructed wetlands*.

Penguraian bahan organik oleh bakteri aerobik



Penguraian bahan organik oleh bakteri anaerobik



Pada sistem *Free Water Surface*, penurunan konsentrasi BOD tergantung dari pertumbuhan mikroorganisme yang ada pada akar, batang, dan daun tanaman yang sudah mati dan jatuh ke dalam *wetlands*. Apabila tanaman menutupi seluruh areal *wetlands*, maka biasanya alga tidak dapat tumbuh dan sumber utama oksigen yang paling besar untuk reaksi oksidasi adalah datang dari *reaerasi* pada permukaan air 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.

Perencanaan kedalaman di dalam *constructed wetland* air seharusnya antara 600 mm (24 in) atau kurang untuk menjamin cukupnya distribusi oksigen (Reed, 1987). Penurunan konsentrasi BOD di dalam *wetlands* telah dideskripsikan dengan menggunakan persamaan model reaksi orde pertama, sebagai berikut (Reed, 1987) :

$$C_e / C_o = \exp (- K_T t) \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana : C_e = effluent BODs, mg / l

C_o = influent BODs, mg / l

K_T = temperatur, bergantung pada laju reaksi orde pertama, hr^{-1}

t = waktu detensi, hr

Hydraulic residence time (waktu detensi) dapat dilihat dengan menggunakan persamaan :

$$t = L W n d / Q \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana : L = panjang, m

W = lebar, m

d = kedalaman air, m

$n =$ porositas

$Q =$ debit rata – rata (Flow in + Flow out) / 2, m^3 / hr

Temperatur yang mempengaruhi pada konstanta kecepatan reaksi dihitung berdasarkan konstanta untuk $20^\circ C$ dan dengan faktor koreksi yang digunakan adalah 1,1 (Tchobanoglous, 1980). Konstanta kecepatan reaksi $K_T = (hr^{-1})$ pada $T (^\circ C)$ dapat ditentukan dengan persamaan :

$$K_T = K_{20} (1,1)^{(T-20)} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana : $K_{20} =$ rate constant pada $20^\circ C = 0,0057 hr^{-1}$

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

$$BOD \text{ effluent} = A * BOD \text{ influent} + B * HLR \dots\dots (2.6)$$

dimana : $A = 0,192$

$B = 0,097$

$BOD =$ biochemical oxygen demand, mg / l

$HLR =$ hydraulic loading rate, cm / hr

2.2.4 Chemical Oxygen Demand (COD) di Dalam Costructed Wetlands

COD adalah banyaknya oksigen terlarut yang digunakan untuk mengoksidasi zat organik yang ada dalam air limbah secara kimia. Banyaknya oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik yang dapat teroksidasi dapat diukur dengan menggunakan senyawa oksidator kuat dalam kondisi asam (Metcalf and Eddy, 1991). Nilai COD juga merupakan suatu bilangan yang dapat mengatakan banyaknya oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik menjadi karbon dioksida dalam air dengan perantara oksida kuat dalam suasana asam (Benefield dan Randall, 1980).

Pengukuran nilai COD sangat diperlukan untuk mengukur bahan organik pada air buangan industri dan domestik yang mengandung senyawa / unsur yang beracun bagi mikroorganisme (Metcalf and Eddy, 1991).

Besar kecilnya COD akan mempengaruhi jumlah pencemar oleh zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses mikrobiologi dan mengakibatkan kurangnya jumlah oksigen terlarut dalam air.

2.2.5 Padatan Tersuspensi (TSS) di Dalam Constructed Wetlands

Padatan tersuspensi yang terdapat dalam air limbah dapat dihilangkan dan diproduksi secara alami dalam *wetlands*. Proses fisik yang berperan untuk *meremoval* padatan tersuspensi adalah proses flokulasi, sedimentasi dan

intersepsi. Padatan tersuspensi di dalam *wetlands* dapat bertambah yang disebabkan oleh sejumlah faktor seperti : pertumbuhan dari bakteri dan alga, sisa – sisa tanaman dan invertebrata, dan aktivitas vertebrata. Sisa – sisa tanaman meliputi : biji, serbuk, daun dan batang yang mati dan jatuh ke dalam *wetlands*. Padatan tersuspensi di dalam *wetlands* terjadi apabila ada kematian dari invertebrata, batang tanaman yang jatuh, produksi dari plankton dan mikroba di dalam kolam air, alga atau yang menempel pada permukaan tanaman, dan senyawa kimia yang terpresipitasi seperti besi sulfide (USEPA, 1999).

Tanaman dalam *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 membentuk jonjot atau *flok-flok* (Merz, 2000). Partikel yang besar dan berat akan segera mengendap setelah terbawa oleh air dan melewati vegetasi yang terdapat di dalam *wetlands* (Merz, 2000).

.Proses intersepsi dan filtrasi padatan terjadi pada padatan yang terjebak dalam lapisan *litter* yang dibentuk oleh tanaman *wetlands*. Distribusi dari *inflow*, aliran yang seragam, keseragaman tanaman, angin yang bertiup ke daratan menuju *wetlands* secara umum mempengaruhi aliran *turbulen* kolom air dan terjadi *mixing* serta berpengaruh terhadap proses agregasi, sedimentasi, resuspensi dan proses adhesi dari partikel yang halus atau kecil. Konsentrasi padatan tersuspensi

cenderung meningkat selama musim panas dan menurun pada musim hujan (Kadlec and Knight, 1996).

Hubungan yang terjadi dilapangan dibuatkan grafik untuk menunjukkan kecocokkan antara data terukur dengan level prediksi dengan menggunakan pendekatan – pendekatan. Untuk *removal suspended solid* pada *constructed wetlands* secara umum dapat menggunakan persamaan (Reed, 1995) :

$$SS_{\text{effluent}} = SS_{\text{influent}} \times (A \times B \times HLR) \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana : A = 0,1139

B = 0,00213

SS = padatan tersuspensi, mg / L

HLR = hydraulic loading rate, cm / hr

2.2.6 Sianida (CN) di Dalam *Constructed Wetlands*

Sianida dikenal dengan asam hidrosionik mempunyai berat molekul 27,03, merupakan larutan tidak berwarna dengan karakteristik bau yang mirip dengan bau almond pahit dengan titik didihnya 26 °C. Sianida mempunyai rumus kimia - $C \equiv N$, sianida dapat diklasifikasikan sesuai dengan sifat fisik kimianya, yaitu : sianida bebas, sianida sederhana, dan sianida kompleks.

Contoh sianida bebas adalah ion sianida (CN^-) dan asam sianida (HCN). Sianida sederhana mempunyai sifat yang tidak stabil sehingga sangat mudah berubah menjadi HCN atau akan membentuk ikatan sianida yang kompleks. Contoh sianida sederhana : *Sodium cyanides, Pottassium cyanides, Calcium cyanides, dan Ammonium Cyanides*. Sianida kompleks merupakan ikatan sianida dengan logam, sianida ini sangat stabil sehingga sangat sulit untuk terurai dalam keadaan normal, seperti : *Cobalt, Ferum, Nickel, Cadmium, dan Mangan*.

Asam sianida tidak berwarna dalam bentuk gas maupun cair. Salah satu senyawa sianida yang amat populer adalah hidrogen sianida (HCN) karena sifat racunnya yang sangat kuat dan terbentuk sebagai hasil hidrolisis sianida. Di dalam air dan dalam kondisi asam, sianida akan membentuk asam sianida / hidrogen sianida (HCN). Reaksi sianida dalam air dapat dilihat pada persamaan di bawah ini :



Berat gas HCN lebih ringan dari udara dan mudah menguap, oleh karena itu mudah menyebar ke mana – mana. Pada tekanan 107,6 kPa dan suhu 27,2 °C, HCN mengalami penguapan.



HCN dapat dioksidasi oleh sejumlah mikroorganisme secara alami. Produk yang dihasilkan dari oksidasi mikroorganisme adalah gas ammonia dan karbon dioksida. Reaksi dapat di lihat pada persamaan berikut ini :



2.2.7 Mikroorganisme di Dalam *Constructed Wetlands*

Karakteristik *wetlands* pada dasarnya adalah fungsi *wetlands* itu sendiri, dimana secara garis besar diatur oleh mikroorganisme dan metabolisme mikroorganisme sendiri (Wetzel, 1993). Mikroorganisme dalam *wetlands* meliputi : bakteri, ragi, fungi, protozoa dan alga.

Peran mikroba dalam *wetlands* 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 *wetlands*, dan terlibat dalam penggunaan kembali nutrien.

Mikroba dapat berfungsi sebagai predator, menguraikan organisme patogen yang dapat menyebabkan penyakit bagi binatang dan manusia. Bakteri pengurai bahan organik dan nutrien yang terdapat di *wetlands* 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*, *pseudomonas 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*, *nitrospira*.

Secara umum perlakuan di dalam *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 pengolahan dengan bakteri secara aerobik dapat berjalan lebih cepat dan sempurna dibanding pengolahan secara anaerobik. Di samping itu, 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 yang beracun, seperti pestisida dan logam berat.

2.2.8 Vegetasi di Dalam *Wetlands*

Pada umumnya tanaman yang digunakan dalam *wetlands* adalah tanaman yang cepat tumbuh, mempunyai kandungan lignin yang besar, dan dapat beradaptasi dengan kedalaman air yang bervariasi. Tanaman yang umum digunakan 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 *constructed wetlands* secara umum adalah tumbuh dan mati, pertumbuhan tanaman menghasilkan masa secara vegetatif yang dapat memperlambat aliran dan menghasilkan tempat untuk menempelnya 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 (*litter*) 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.

2.2.9 Kriteria Desain *Constructed Wetlands*

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

Tabel 2.4 Kriteria Desain Untuk *Constructed Wetlands* Type FWS

Desain	Satuan	Tipe FWS
Waktu tinggal hidrolis	Hari	4 – 15
Kedalaman air	m	0,09144 – 0,609
Laju beban BOD	Kg / ha / hari	< 112
Laju beban hidrolis	m ³ / m ² . hari	0,01 – 0,05
Luas spesifik	Ha / m ³ . hari	0,002 – 0,014
Lebar : Panjang	-	1 : 2 - 10

Sumber : Bendoricchio, G., Dal Cin, L. and Persson J., 2000

2.3 Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea Aquatica*)

2.3.1 Gambaran Umum Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea Aquatica*)

Kedudukan tanaman kangkung air dalam tatanama (sistematika) tumbuhan diklasifikasikan ke dalam :

Divisio : *Spermatophyta*

Sub – divisio : *Angiospermae*

Kelas : *Dicotyledoneae*

Famili : *Convolvulaceae*

Genus : *Ipomoeae*

Spesies : *Ipomoeae aquatica forsk*



Gbr 2.5 Kangkung Air (*Ipomoeae Aquatica*)

Kangkung merupakan tanaman menetap yang dapat tumbuh lebih dari satu tahun. Kangkung air memiliki bentuk daun panjang dengan ujung agak tumpul, berwarna hijau kelim dengan bunga yang berwarna agak putih kekuning – kuning atau kemerah – merahan (Dwijosaputro, 1986). Tanaman kangkung

memiliki sistem perakaran tunggang dan cabang – cabang akarnya menyebar ke semua arah, dapat menembus tanah sampai kedalaman 60 – 100 cm, dan melebar secara mendatar pada radius 100 – 150 cm atau lebih. Batang tanaman kangkung berbentuk bulat panjang, berbuku – buku, banyak mengandung air (*herbaceous*), dan berlubang – lubang. Batang tanaman kangkung tumbuh merambat atau menjalar dan percabangannya banyak.

Tangkai daun melekat pada buku – buku batang dan di ketiak daunnya terdapat mata tunas. Daun dan batang yang tenggelam dalam air mempunyai penyebaran kloroplas yang meningkat dengan kutikula yang tereduksi. Absorpsi gas juga dipermudah karena dinding tipis epidermis dan jaringan di sebelah dalamnya. Kutikula biasanya tidak ada pada organ yang tenggelam (Fahn, 1991).

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 diangkut 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 menggumpulkan 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 molekul melalui daun, tetapi umumnya unsur hara diambil oleh tumbuhan dalam bentuk ion – ion molekul akar dari dalam tanah.

Makin panjang akar, maka makin tersedia unsur hara bagi tanaman. Demikian juga bila makin besar sistem perakaran dan pertambahan volume percabangan akar, akan meningkatkan penyerapan unsur hara dari dalam tanah. 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 terlampaui deras. Persyaratan tumbuhnya 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 dari 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.

2.3.2 Pemanfaatan Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea Aquatica*) Dalam Sistem *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 an-organik yang terdapat dalam air limbah sudah diketahui dan dimanfaatkan sejak lama, kehadiran secara alami akan didapatkan pada air danau, selokan, sungai, lautan ataupun pada tempat – tempat lainnya yang berair, serta di dataran lembab.

Ada sekelompok mikroba yang juga terdiri dari bakteri dan jamur yang hidup bersimbiosis di sekitar akar tanaman, baik tanaman yang hidup di habitat tanah maupun air, yang kehadirannya secara khas tergantung pada akar tersebut. Kelompok mikroba tersebut pada umumnya disebut mikrobial *rhizosfera*. Banyak jenis mikrobial *rhizosfera* yang mempunyai kemampuan untuk melakukan penguraian benda – benda organik dan an-organik 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 an-organik yang terdapat dalam air buangan (Suriawiria, 1986). Sehubungan dengan kegunaannya sebagai penjernih air limbah, kangkung air berperan dalam biofiltrasi seperti halnya eceng gondok, kaya apu, 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 *rhizosfera* 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 *rhizosfera* untuk menguraikan kembali bahan organik yang masih tersisa. Demikian seterusnya siklus penguraian dan penyerapan unsur hara berputar atas dasar hubungan simbiosis mutualisme antara mikroorganisme *rhizosfera* dengan tanaman kangkung air. Melalui siklus simbiosis ini akan berdampak terhadap penurunan beban pencemar dalam sumber air limbah.

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

1. Tanaman kangkung mudah dijumpai dalam kehidupan sehari – hari.
2. Daya tahan hidup tanaman kangkung cukup lama.
3. Tidak memerlukan perawatan khusus, sehingga dalam sistem *constructed wetlands* pemeliharaan 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 menurun. Kadar logam berat dalam tanaman tersebut meningkat dan dalam media cair menurun (Muers, 1980) . Sehingga ion bebas dalam air tersebut akan mampu mengikat oksigen, yang mengakibatkan oksigen terlarut (DO) dalam media cair meningkat

sehingga mutu air tersebut meningkat pula. Tanaman *aquatik* dapat menyerap mineral terlarut dan memperkaya air dengan oksigen sebagai hasil fotosintesis.

2.4 Landasan Teori

Permasalahan yang muncul pada industri tapioka adalah limbah cair yang dibuang tanpa pengolahan ke badan air. *Constructed wetlands* merupakan salah satu alternatif untuk menyelesaikan permasalahan di atas. *Constructed wetlands* adalah 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. Pengolahan limbah cair dengan *constructed wetland* yang memanfaatkan peranan aktivitas mikroorganisme di dalam tanah dan tanaman di area tersebut. Proses – proses yang terjadi dalam *constructed wetlands* seperti sedimentasi, filtrasi, *gas transfer*, *adsorpsi*, *ion exchange*, presipitasi kimiawi, oksidasi dan reduksi sedangkan untuk pengolahan biologis terjadi proses aktivitas mikroorganisme dalam tanah dan aktivitas tanaman seperti proses *photosintesis*, *photooksida*, *plant uptake*.

Proses untuk removal padatan tersuspensi dalam air limbah dengan proses flokulasi, sedimentasi dan proses filtrasi atau intersepsi. Partikel yang besar dan berat akan segera mengendap setelah terbawa oleh air, sedangkan yang lebih ringan akan ikut terbawa oleh air dan tertahan oleh tanaman lalu mengendap. Sedangkan partikel yang lebih kecil lagi akan terserap pada lapisan biofilm yang

menempel pada permukaan tanah dan kolom air. Padatan tersuspensi di dalam *wetlands* terjadi apabila ada kematian dari invertebrata, batang tanaman yang jatuh, produksi dari plankton dan mikroba di dalam kolam air atau yang menempel dalam permukaan tanaman, dan senyawa kimia yang tersepitasi. Selain untuk menahan partikel dalam proses pengendapan, tanaman juga berfungsi untuk mengurangi kecepatan air dengan menggunakan bagian batang tanaman sehingga kecepatan air menjadi rendah dan sebagai media untuk pertumbuhan mikroorganisme, sebagai pembawa oksigen ke lapisan substrat dengan bantuan sistem perakaran dan tempat terbentuknya atau menempelnya lapisan biofilm yang terdapat dalam *constructed wetlands*.

Tanaman sebagai media untuk pertumbuhan mikroorganisme baik secara alami maupun di dalam *constructed wetlands* dan memberikan suplai oksigen di dalam lapisan *rhizosphere*. Suplai oksigen yang terjadi di dalam *wetlands* berasal dari atmosfer serta adanya proses fotosintesis oleh tanaman dan alga yang terdapat di dalam air. Ketika akar tanaman menjadi kurang efektif dalam mengoksidasi limbah cair, maka daerah perakaran atau sekitar perakaran merupakan lingkungan oksidasi yang dapat menjadi pelabuhan mikroba aerobik yang dapat meningkatkan proses oksidasi bahan organik khususnya BOD.

COD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan bahan organik secara kimiawi. Besar kecilnya COD akan mempengaruhi jumlah pencemar oleh zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses mikrobiologi dan mengakibatkan berkurangnya jumlah oksigen terlarut dalam air.

Penurunan konsentrasi COD dapat terjadi secara optimal dengan waktu detensi yang cukup, bahan organik yang terdapat dalam limbah cair mengalir melewati partikel – partikel tanah dengan waktu detensi yang cukup sehingga akan memberikan kesempatan yang lebih lama antara mikroorganisme, oksigen yang dilepaskan tanaman dan air limbah.

Sianida di dalam air dalam bentuk asam sianida. Asam sianida tidak berwarna dalam bentuk gas maupun cair. Salah satu senyawa sianida yang amat populer adalah hidrogen sianida (HCN) karena sifat racunnya yang sangat kuat dan terbentuk sebagai hasil hidrolisis sianida. Di dalam air dan dalam kondisi asam, sianida akan membentuk asam sianida / hidrogen sianida (HCN). Berat gas HCN lebih ringan dari udara dan mudah menguap, oleh karena itu mudah menyebar ke mana – mana. Pada tekanan 107,6 kPa dan suhu 27,2 °C, HCN mengalami penguapan. Penurunan konsentrasi sianida dalam wetlands dapat disebabkan karenanya penguapan. Selain itu HCN dapat dioksidasi oleh sejumlah mikroorganisme secara alami. Produk yang dihasilkan dari oksidasi mikroorganisme adalah gas ammonia dan karbon dioksida .

Tanaman 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.

Tanaman kangkung air merupakan tanaman yang memiliki mikroba *rhizosfera* yang mempunyai kemampuan menguraikan benda – benda organik dan

an-organik di dalam air limbah. Tanaman kangkung air berperan dalam proses biofiltrasi. 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 *rhizosfera* 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 *rhizosfera* untuk menguraikan kembali bahan organik yang masih tersisa. Demikian seterusnya siklus penguraian dan penyerapan unsur hara berputar atas dasar hubungan simbiosis mutualisme antara mikroorganisme *rhizosfera* dengan tanaman kangkung air. Melalui siklus simbiosis ini akan berdampak terhadap penurunan beban pencemar dalam sumber air limbah.

2.5 Hipotesa

Hipotesa penelitian adalah sebagai berikut:

- a. *Constructed wetland* dengan menggunakan tanaman kangkung air dapat digunakan sebagai salah satu alternatif pengolahan limbah industri tapioka.



- b. *Constructed wetland* dapat menurunkan konsentrasi BOD, COD, TSS dan Sianida (CN).