

BAB III

TINJAUAN PUSTAKA

3.1 PROSES-PROSES BIOLOGI DASAR

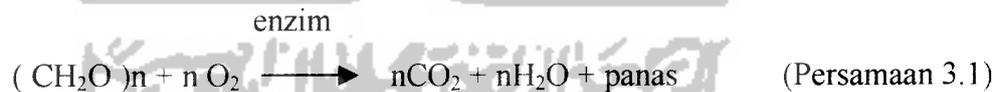
Proses biologi merupakan proses alami yang dinamis dan kontinyu selama faktor-faktor yang berhubungan dengan kebutuhan hidup organisme yang terlibat di dalamnya terpenuhi. Berbagai proses biologi dapat berlangsung dengan atau tanpa adanya oksigen terlarut yaitu aerobik atau anaerobik, berdasarkan kemampuan fotosintesis atau oleh mobilitas organisme yaitu pertumbuhan tersuspensi atau melekat. Proses-proses biologi yang umum digunakan untuk pengolahan limbah adalah sebagai berikut :

3.1.1 PROSES AEROBIK

Proses pengolahan biologi aerobik berarti proses yang memerlukan oksigen terlarut. Oksidasi bahan organik menggunakan molekul oksigen sebagai akseptor akhir adalah proses utama yang menghasilkan energi kimia untuk mikroorganisme dalam proses ini. Mikroba yang menggunakan oksigen sebagai akseptor elektron akhir adalah mikroorganisme aerobik.

Mikroorganisme yang bersifat aerobik membutuhkan oksigen untuk beberapa reaksi biokimia yaitu untuk mengoksidasi bahan organik, sintesis sel, dan oksidasi sel. Reaksi-reaksi tersebut adalah sebagai berikut :

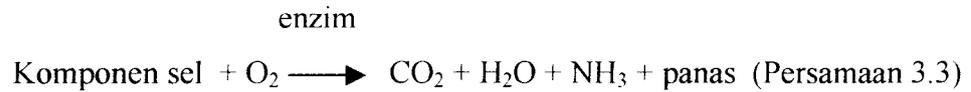
a. Oksidasi bahan organik



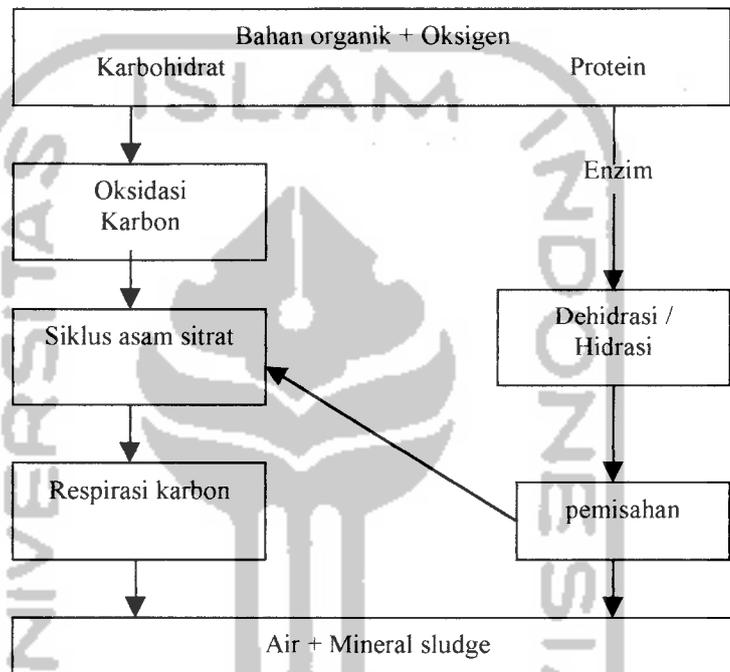
b. Sintesis sel



c. Oksidasi sel



Sistem pengolahan aerobik dimanfaatkan sebagai pencegah timbulnya masalah bau selama pengolahan limbah agar memenuhi persyaratan effluent dan untuk stabilisasi limbah sebelum dialirkan ke dalam badan air.



Gambar 3.1 Prinsip proses aerobik yang disederhanakan
(Ibnu Singgih Pranoto, 2002)

3.1.2 PROSES ANAEROBIK

Proses anaerobik pada dasarnya merupakan proses yang terjadi karena aktifitas mikroba dilakukan pada saat tidak terdapat oksigen bebas. Analognya proses ini meniru mekanisme proses yang terjadi pada perut binatang yaitu proses pencernaan secara anaerobik. Produk akhir dari proses fermentasi ini adalah gas metana (CH_4).

Mikroorganisme anaerob tertentu tidak dapat hidup bila ada oksigen terlarut (obligat anaerobik). Contoh mikroorganisme ini adalah bakteri metana yang umum ditemukan dalam digester anaerobik maupun filter anaerobik.

Anaerob memperoleh energinya dari oksidasi bahan organik kompleks tanpa menggunakan oksigen terlarut tetapi menggunakan senyawa-senyawa lain sebagai pengoksidasi. Senyawa pengoksidasi selain oksigen yang dapat digunakan oleh mikroorganisme contohnya karbon dioksida, sulfat dan nitrat. Proses dimana bahan organik dipecah (diurai) tanpa adanya oksigen sering disebut fermentasi.

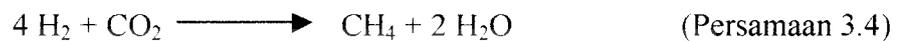
Sebagian besar mikroorganisme dapat hidup baik dengan atau tanpa oksigen, hanya beberapa saja organisme adalah obligat anaerob atau aerob. Organisme yang hidup pada kondisi baik anaerobik maupun aerobik adalah organisme fakultatif. Apabila tidak ada oksigen dalam lingkungannya, mereka mampu memperoleh energi dari degradasi bahan organik dengan mekanisme anaerobik, tetapi bila terdapat oksigen terlarut mereka akan memecah bahan organik lebih sempurna. Organisme dapat memperoleh energi lebih banyak dengan oksidasi erobik daripada oksidasi anaerobik. Sebagian besar mikroorganisme dalam proses pengolahan limbah secara biologi adalah mikroorganisme fakultatif.

Proses fermentasi yang berlangsung secara anaerobik akan menghasilkan produk akhir pada kondisi pH netral. Contoh dari produk akhir tersebut adalah asam-asam volatil dengan berta molekul rendah seperti asetat dan laktat. Asam volatil dan alkohol tersebut dapat digunakan sebagai sumber energi atau sumber karbon oleh beberapa bakteri yang bersifat obligat anaerobik seperti halnya bakteri metana. Bakteri-bakteri ini dalam proses metabolismenya menghasilkan produk akhir berupa gas metana.

Bakteri-bakteri metana yang telah berhasil diidentifikasi terdiri dari 4 genus adalah:

- a. *Methanobacterium*, bakteri bentuk batana dan tidak membentuk spora
- b. *Methanobacillus*, bakteri bentuk batang dan membentuk spora
- c. *Methanococcus*, bakteri bentuk kokus
- d. *Methanosarcina*, bakteri bentuk sarcinae

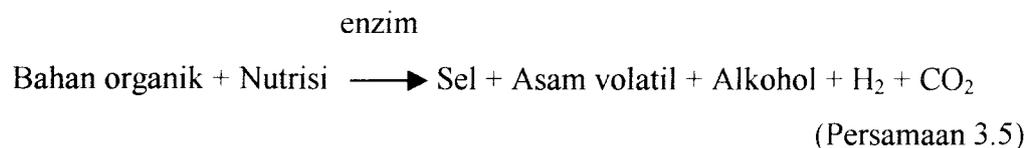
Keempat jenis bakteri tersebut mampu mengoksidasi hidrogen dengan menggunakan CO₂ sebagai aseptor elektron. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :

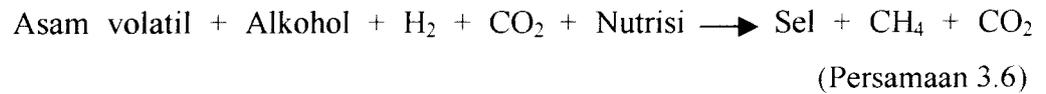


Reaksi di atas akan menghasilkan energi sedangkan unsur karbon yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tidak menghasilkan. Kebutuhan karbon dan CO₂ tersebut diperoleh dari substrat atau hasil produksi dari proses oksidasi bahan organik.

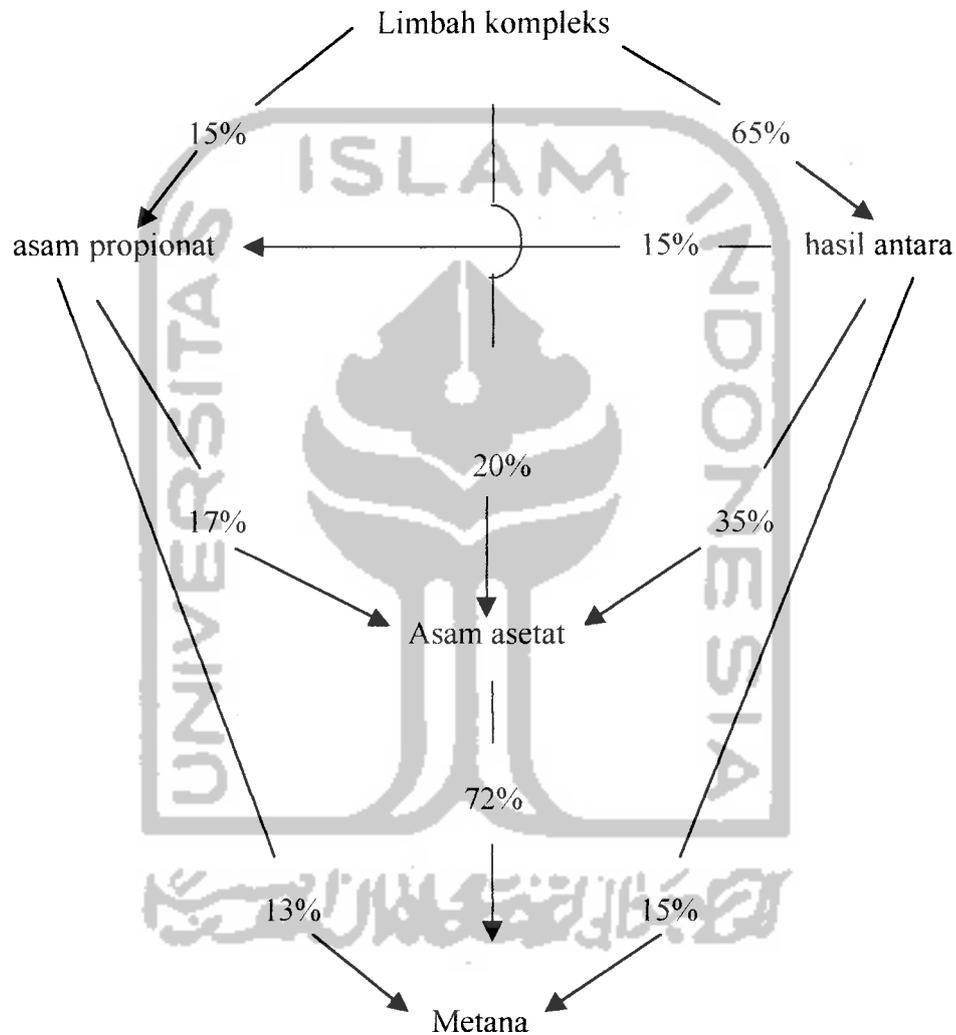
Proses fermentasi metana pada air limbah dapat menghasilkan komponen organik yang sangat beragam yang dapat dioksidasi oleh bakteri, karena bakteri metana yang aktif juga sangat beragam dan saling berinteraksi. Asam volatil akan dipecah menjadi asam lainnya dengan berat molekul yang lebih kecil dan asam tersebut bertindak sebagai mediator penyebab pembentukan metana.

Tahapan reaksi yang penting dalam fermentasi adalah reaksi asam asetat yang juga dapat digunakan oleh bakteri metana. Selama proses fermentasi oleh aktifitas bakteri metana juga terjadi proses pembentukan sel karena karbon yang memasuki sistem tidak semuanya berfungsi hanya sebagai substrat saja tetapi juga sebagai bahan pembentuk sel. Reaksi selengkapnya adalah sebagai berikut :





Sebagai substrat untuk pembentukan metana dapat digunakan asam propionat, asam asetat dan komponen lainnya dengan proporsi dan peruraian seperti gambar di bawah ini.



Gambar 3.2 Substrat dalam fermentasi anaerobik metana
(Ibnu Singgih Pranoto, 2002)

Pada sistem produksi asam atau metana biasanya keduanya berlangsung secara simultan. Hal ini menyebabkan sel yang terbentuk selama proses sulit untuk dipisahkan dari substratnya. Selain itu dengan sistem ini sel yang dihasilkannya pun sangat rendah yaitu hanya sekitar 0.05 gram/g COD yang terdapat dalam sistem.

Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap proses anaerobik adalah sebagai berikut :

a. pH

pH yang optimal untuk berlangsungnya proses anaerobik berkisar antara pH 6.5 – pH 7.5. Pada sistem anaerobik, asam organik sudah akan terbentuk pada pertama fermentasi. Apabila proses oksidasi asam organik tersebut lebih lambat dari proses pembentukannya maka dapat dimengerti bila konsentrasi asam organik dalam sistem akan meningkat dan mempengaruhi besarnya pH (pH turun).

b. Suhu

Suhu yang optimum untuk proses fermentasi metana adalah sekitar 37°C hingga 40°C. Bakteri-bakteri anaerobik yang bersifat mesofilik biasanya dapat tumbuh pada suhu 20°C hingga 45°C, pada suhu diatas 40°C produksi gas metana akan menurun dengan tajam.

c. Pencampuran

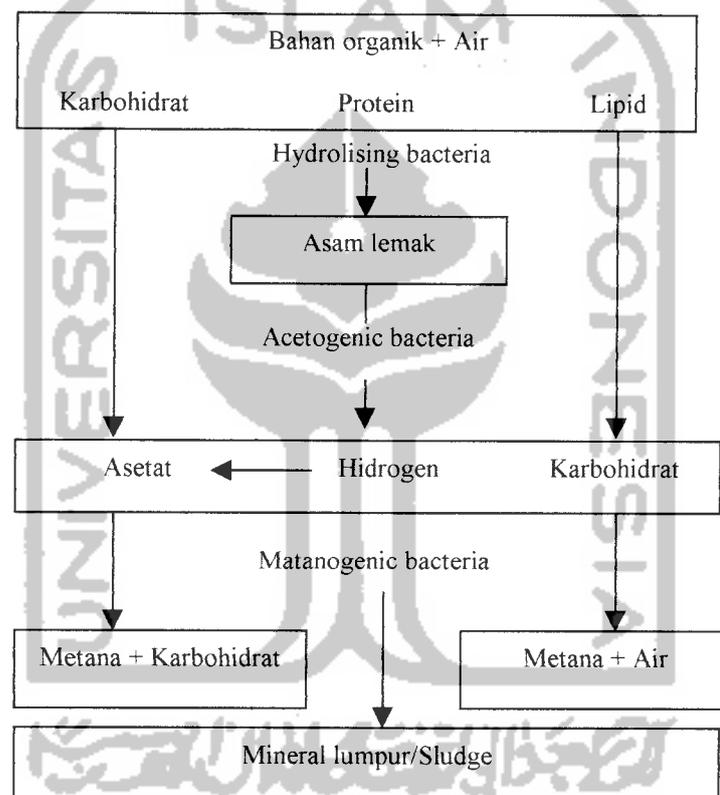
Adanya ion logam yang berlebih tidak dikehendaki pada proses fermentasi metana, karena akan menyebabkan keracunan bagi mikroba pada konsentrasi tertentu. Ion-ion logam yang bersifat racun tersebut adalah antara lain adalah Na^+ , K^+ , Ca^+ , Mg^+ yakni bila konsentrasinya lebih dari 1000 mg/l. Sedangkan bila konsentrasi ion logam tersebut hanya sekitar 50-200 mg/l maka pengaruh yang ditimbulkannya adalah pengaruh yang menguntungkan karena memberi pengaruh stimulasi.

d. Waktu retensi

Waktu retensi minimum untuk proses anarobik umumnya 24 jam.

e. Kapasitas dan bahan-bahan nutrisi yang diperlukan dalam proses

Bahan-bahan organik biasanya mengandung nutrisi yang cukup baik untuk pertumbuhan mikroba. Pada proses anaerobik ini, media yang mempunyai kandungan nutrisi tertentu yang optimum akan sangat mempengaruhi proses. Perbandingan unsur nitrogen, karbon dan fosfat layak untuk diperhatikan yaitu biasanya dalam perbandingan Karbon: Nitrogen : Fosfat = 150 : 55 : 1.

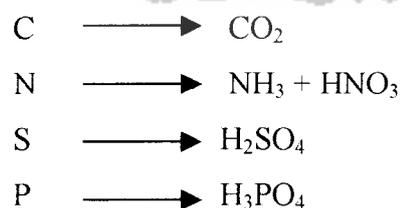


Gambar 3.3 Prinsip proses anaerobik yang disederhanakan
(Ibnu Singgih Pranoto, 2002)

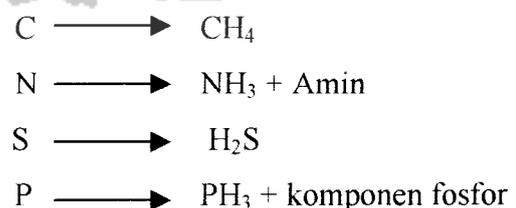
Laju fermentasi pada sistem anaerobik lazimnya selalu lebih rendah dibanding dengan sistem aerobik. Hal ini disebabkan karena kesetimbangan antara substrat dan produk sulit dipertahankan yakni CO_2 yang terbentuk yang akan mempengaruhi laju fermentasi tidak dapat keluar dari sistem sehingga terakumulasi dan meningkat, terutama bila laju pembentukan metana lambat. Contoh lainnya adalah sulitnya mengatur laju pembentukan metana yang sebanding dengan laju fermentasi asam. *Methanobacterium* umumnya tumbuh lebih lambat jika dibandingkan dengan bakteri yang dalam aktifitasnya akan membentuk asam. Waktu regenerasi bakteri metana umumnya mencapai 12 jam, sedangkan untuk bakteri yang bersifat fakultatif waktu regenerasinya hanya 0.3 jam atau kurang.

Sebagai akibat menurunnya oksigen terlarut di dalam air adalah menurunnya kehidupan hewan dan tanaman air. Hal ini disebabkan karena makhluk-makhluk hidup tersebut banyak yang mati atau melakukan migrasi ke tempat lain yang konsentrasi oksigennya masih cukup tinggi. Jika konsentrasi oksigen terlarut sudah terlalu rendah maka mikroorganisme aerobik tidak dapat hidup dan berkembang biak, tetapi sebaliknya mikroorganisme yang bersifat anaerobik akan menjadi aktif memecah bahan-bahan tersebut secara anaerobik karena tidak ada oksigen. Pemecahan komponen-komponen secara anaerobik akan menghasilkan produk-produk yang berbeda seperti terlihat di bawah ini :

Kondisi aerobik



Kondisi Anaerobik



Senyawa-senyawa hasil penguraian secara aerobik seperti amin, H₂S dan komponen fosfor mempunyai bau yang menyengat, misalnya amin berbau anyir, H₂S berbau busuk. Oleh karena itu perubahan badan air dari kondisi aerobik menjadi anaerobik tidak dikehendaki.

Beberapa alasan yang dapat dipakai untuk penggunaan proses anaerobik dalam pengolahan limbah antara lain adalah kegunaan dari produk akhirnya, stabilisasi dari komponen organik dan memberikan karakteristik tertentu pada daya ikat air produk yang menyebabkan produk dapat dikeringkan dengan mudah.

Beberapa faktor lingkungan seperti suhu, pH, dan kehadiran nutrient dapat menghambat atau menunjang parameter, misalnya produksi gas. Pengaruh-pengaruh tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :

A. pH

Pengaruh pertama pH pada proses anaerobik adalah terhadap bakteri methanogen. pH untuk reaktor anaerobik harus dijaga lebih besar dari 6,5, sedangkan untuk bakteri selaiian methanogen tidak terlalu sensitif dan dapat berfungsi pada pH 6,5. Mikroorganisme hidrolisa fermentasi dapat aktif mulai pH lebih besar dari 4,5. PH optimum untuk proses anaerobik adalah 6,5-8,5.

B. Temperatur

Pada proses anaerobik faktor temperatur berpengaruh terhadap beberapa hal sebagai berikut yakni :

I. Pengaruh temperatur pada jenis bakteri

Temperatur berpengaruh terhadap jenis bakteri yang hidup dalam digester. Berdasarkan daya tahan hidup mikroorganisme terhadap temperatur dapat digolongkan sebagai 3 jenis bakteri.

Tabel 3.1 Jenis bakteri berdasarkan daya tahan hidup terhadap temperatur

No	Jenis bakteri	Daya hidup	Temperatur optimum
1.	<i>Psychrophilic</i>	10-30°C	12-18°C
2.	<i>Mesophilic</i>	20-50°C	25-40°C
3.	<i>Thermophilic</i>	35-75°C	55-65°C

(Sumber : Metcalf & Eddy, Third Edition)

Bakteri yang berperan dalam proses anaerobik adalah bakteri-bakteri aerobik yaitu :

1. Bakteri non methanogenik

Bakteri non methanogenik yaitu mikroorganisme yang berperan menguraikan zat organik menjadi asam organik. Bakteri yang berperan biasanya bakteri fakultatif dan bakteri anaerobik. Dari isolasi bakteri yang terdapat di dalam digester anaerobik, ditemukan antara lain :

- a. *Chostroium, spp*
- b. *Peptococcus, anaerobus*
- c. *Bifidobacterium, spp*
- d. *Desulphovibrio, spp*
- e. *Corynebacterium, spp*
- f. *Lactobacillus*
- g. *Actinomyces*
- h. *Escherichia Coli*

2. Bakteri methanogenik

Bakteri methanogenik yaitu mikroorganisme yang berperan menguraikan zat organik untuk menghasilkan gas metan. Bakteri kelompok ini memberikan respon terhadap konversi dari produk pembentukan asam

menjadi hidrokarbon dan metan. Methan dan CO₂ merupakan produk hasil sampingan antara lain nitrogen, hidrogen, amoniak dan asam sulfida. Produk tambahan ini biasanya tidak lebih dari 1% dari total volume gas.

Beberapa bakteri anaerobik yang berperan sebagai methanogenik adalah sebagai berikut :

- a. *Methanobacterium* berbentuk batang.
- b. *Methanobacillus* berbentuk batang.
- c. *Methanosarcina* berbentuk bulatan .

II. Pengaruh temperatur pada kecepatan metabolisme

Untuk melanjutkan produksi dan fungsi sebagaimana mestinya, mikroorganisme harus mempunyai sumber energi dan karbon untuk bersintesa membentuk sel-sel baru. Elemen-elemen anorganik seperti sulfur, potasium, magnesium dan trace elemen juga penting untuk proses sintesis ini. Dua sumber utama sel karbon yang diperlukan mikroorganisme adalah karbon dioksida dan bahan-bahan organik. Jika mikroorganisme memanfaatkan sel karbon dari karbon dioksida disebut autotropik dan jika memanfaatkan organik karbon disebut heterotropik.

Energi juga diperlukan dalam proses sintesis untuk membentuk sel-sel baru. Organisme autotropik memperoleh energi dari matahari melalui proses yang disebut sebagai fotosintesis dan dari reaksi oksidasi reduksi anorganiknya yang disebut sebagai autotropik kemosintesis. Untuk organisme heterotropik, energi yang diperlukan untuk proses sintesis diperoleh dari hasiloksidasi dan fermentasi bahan-bahan organik.

Klasifikasi mikroorganisme menurut sumber energi dan karbon dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 3.2 Klasifikasi mikroorganisme menurut sumber energi dan karbon

No	Klasifikasi	Sumber energi	Sumber karbon
1.	Autotrophic		
	- Photoautotrophic	Cahaya	CO ₂
	- Chemoautotrophic	Reaksi oksidasi reduksi anorganik	CO ₂
2.	Heterotrophic		
	- Photo heterotrophic	Cahaya	Organik karbon
	- Chemo heterotrophic	Reaksi oksidasi reduksi anorganik	Organik karbon

(Sumber : Metcalf & Eddy, Third Edition)

Disamping sumber energi dan karbon tersebut diatas. Reaksi kimia yang terjadi juga dipengaruhi oleh temperatur. Bakteri akan menghasilkan enzim yang lebih banyak pada suhu optimumnya sehingga metabolisme yaitu reaksi kimia antara lain enzim dengan senyawa organik atau anorganik akan berlangsung lebih cepat.

III. Pengaruh temperatur pada jumlah gas yang dihasilkan

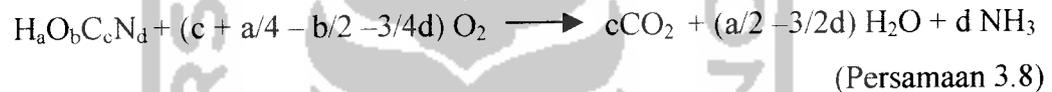
Pengaruh zat organik pada produksi gas dapat terjadi pada daerah suhu antara 4-60°C. Jika daerah suhu efektif diperoleh, maka akan terjadi fluktuasi kecil dalam prosesnya, meskipun pada umumnya proses anaerob dilakukan pada daerah suhu mesophilic (30-40°C). Proses pembentukan methan dapat terjadi pada suhu terendah 4°C. Kenaikan suhu pada daerah 4-25°C besar tingkat produksi gas berubah 100-400% untuk kenaikan suhu 12°C.

3.2 AMONIAK

Amoniak merupakan nitrogen yang menjadi NH_4^+ pada pH rendah dan disebut Amonium. Amoniak sendiri berada dalam keadaan tereduksi (-3). Keseimbangan ion NH_4^+ dengan gas Amoniak di dalam air, dinyatakan sebagai berikut :



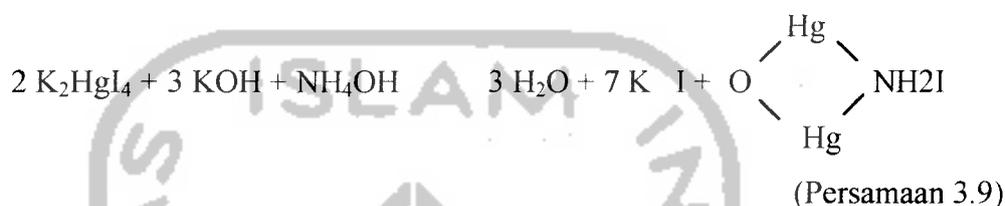
Amoniak dalam air permukaan berasal dari air seni dan tinja juga dari oksidasi zat organik ($\text{H}_a\text{O}_b\text{C}_c\text{N}_d$) secara mikrobiologis yang berasal dari air alam atau air buangan industri dan penduduk (Alaerts, 1984). Sesuai reaksi sebagai berikut :



3.2.1 Sifat-sifat Amoniak

1. Amoniak adalah suatu zat kimia yang tidak menunjukkan adanya warna, ini merupakan suatu karakteristik. Dan jika diberi cahaya kemampuan warnan akan sedikit nampak berupa gas yang terlarut dalam air, tetapi gas yang tercampur mempunyai ikatan lebih dari 16 berupa Amoniak (Tchobanoglous, 1979).
2. Merupakan gas yang mudah menguap, berbau busuk (menyengat) dan tidak berwarna, mudah dicairkan dan sangat mudah larut dalam air, kira-kira 700 liter gas ini melarut dalam 1 liter zat pada tekanan kamar. Kelarutan dalam air menghasilkan alkali lemah, titik leleh $77,8^\circ\text{C}$ dan titik didih $33,4^\circ\text{C}$ (Hadyana, 1986).
3. Bersifat basa karena dapat membirukan lakmus merah

4. Amoniak apabila dilarutkan dalam air akan membentuk Amonium hidroksida pada derajat asam ± 7 (Tchobanoglous, 1979).
5. Amoniak dalam keadaan basa apabila ditambah reagen nessler (suatu larutan K_2HgI_4 yang alkalis) akan terbentuk warna coklat + kuning, kalau terdapat banyak Amoniak akan terjadi endapan coklat (Hendardji, 1953), dengan reaksi seperti berikut :



3.2.2 Sumber Amoniak

Amoniak dalam air permukaan dapat berasal dari :

1. Air seni
Kandungan amoniak dalam air seni sebesar 27,40 mg/l (Hari, Tome, 2005)
2. Tinja.
Kandungan amoniak dalam tinja sebesar 3,84 mg/l (Hari, Tome, 2005)
3. Oksidasi zat organik secara mikrobiologis yang berasal dari air alam
4. Dipengaruhi oleh bentuk teroksidasi dan tereduksi unsur-senyawa dalam wetlands pada potensial Redoks Transformasi.

3.2.3 Pengaruh Amoniak terhadap lingkungan

Pengaruh buruk Amoniak terhadap lingkungan dalam konsentrasi 50 ppm yang tanpa menggunakan proteksi akan menyebabkan iritasi pada mata dan menyebabkan gangguan pada membran pernapasan (Mantell, 1974)

Dalam konsentrasi yang rendah yaitu 0,037 mg/l menimbulkan bau yang menyengat dan mengurangi estetika (Ariens, 1978)

Hal lain dengan adanya Amoniak dalam air buangan yang langsung dibuang dalam badan air akan menimbulkan atau terjadi pertumbuhan tumbuhan air, yang kemudian akan menutupi permukaan air, sehingga transmisi sinar matahari terhalangi dan fotosintesis tidak dapat berjalan yang diakibatkan berkurangnya oksigen terlarut sehingga akan mematikan kehidupan air (Slamet Riyadi, 1984)

3.3 FOSPAT

Tingginya busa yang terdapat di dalam pengolahan limbah tidak hanya timbul dari *Surface Active Agent* pada detergen. Bahan tambahan pada detergen mendukung adanya penyebab kerusakan lingkungan. Salah satunya adalah Polifospat. Fospat pada detergen dianggap sumber utama parameter Fospat dalam air.

Kehadiran Fospat dalam air limbah bentuknya adalah Orthofospat (seperti, HPO_4 , PO_4), polyfospat yaitu seperti $\text{Na}_2 \text{HPO}_4$ yang terdapat dalam detergen dan fospat organik. Kandungan Fospat dalam air limbah dipakai dalam penentuan perancangan perlakuan limbah secara biologi dalam hubungannya dengan kebutuhan fospat untuk mendukung pertumbuhan mikrobia (Hammer,1997).

Fospat terdapat dalam air dapat berbentuk Orthofospat, Polifospat dan Fospat organis :

1. Orthofospat adalah senyawa monomer seperti H_2PO_4 , HPO_4 dan PO_4
2. Polifospat (juga disebut Condensed Phosphates) merupakan senyawa polimer seperti $(\text{PO}_3)_6$ (Heksametafospat), P_3O_{10} (Tripolifospat)
3. Fospat organis adalah fosfor yang terikat dengan senyawa-senyawa organis, sehingga tidak berada dalam larutan secara terlepas (Alaerts,1987)

Bila parameter Fospat pada air sangat rendah ($<0,01$ mg P/l), pertumbuhan tanaman dan alga akan terhalang. Keadaan ini dinamakan Oligotrop. Bila kadar Fospat serta nutrien lainnya tinggi, pertumbuhan tanaman dan alga tidak terbatas lagi, sehingga tanaman tersebut dapat menghabiskan oksigen dalam perairan pada malam hari atau bila tanaman tersebut mati dan dalam keadaan sedang dicerna (digest). Keadaan ini disebut keadaan eutrop (Alaerts, 1987)

Bahan pembentuk utama di dalam detergent adalah Natrium tripolifospat ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$). Senyawa ini tidak merupakan masalah dalam dekomposisinya di lingkungan, sebab ion P_3O_{10} akan mengalami reaksi hidrolisis perlahan di dalam lingkungan untuk memproduksi orthofospat yang tidak beracun, dengan reaksi sebagai berikut :



Fospat mempunyai keuntungan :

1. Fospat tidak beracun terhadap hewan air dan tidak mengganggu kesehatan manusia.
2. Fospat bersifat aman digunakan dalam berbagai pewarna serat dan kain.
3. Fospat bersifat aman digunakan dalam mesin cuci, tidak bersifat korosif dan tidak mudah terbakar (Srikandi, 1992).

3.3.1 Sumber Fospat

Sumber fospat pada air limbah adalah berasal dari :

1. Pemakaian Detergen

Bahan-bahan penyusun Detergen antara lain :

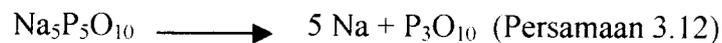
a. Bahan penurun tegangan permukaan

Menurunkan tegangan permukaan larutan menimbulkan busa dalam air.

b. Bahan penunjang

Untuk menunjang kerjanya bahan penurun tegangan permukaan

Contoh : $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ (Natrium tripolifosfat)



Jika mencuci dengan air sadah Ca_2 diikat oleh P_3O_{10} membentuk senyawa kompleks, sehingga kesadahan air berkurang. Jadi air sadah tidak bisa dipakai untuk mencuci dengan detergen.

c. Bahan pengisi

Untuk menurunkan harga, seperti Na_2CO_3 (Natrium karbonat)

d. Bahan pengikat air

Untuk menjaga antara air dan sabun terjadi tarik menarik. Sehingga sabun pada air dapat bekerja.

e. Bahan tambahan

Untuk menambah daya guna detergen agar kotoran yang diberi detergen tidak kembali lagi ke bahan cucian. Contoh : Karboksimetil Selulosa (cmc)

f. Wangi-wangian (Suardana, 1987)

Kandungan fosfat pada kegiatan laundry (cuci), mandi, dapur adalah sebesar 0,38-1,23 mg/l (Hari, Tome, 2005)

2. Air seni, kandungan fosfat dalam air seni adalah sebesar 2,47 mg/hari (Hari, Tome, 2005)

3. Tinja, kandungan fosfat dalam tinja adalah sebesar 1,37 mg/hari (Hari, Tome, 2005)

4. Sisa makanan

3.4 Wetlands

3.4.1 Pengertian *Constructed wetlands*

Definisi *wetlands* atau *natural wetlands* secara umum adalah suatu lingkungan yang berupa tanah basah, dalam hal ini adalah tanah yang jenuh oleh kandungan air yang ditumbuhi oleh tanaman air dan pada bagian permukaannya dijadikan komunitas bagi hewan.

Constructed wetlands merupakan *wetlands* buatan yang dikelola dan di kontrol oleh manusia. Pengolahan air limbah dengan sistem *constructed wetlands* yaitu dengan memanfaatkan aktifitas mikroorganisme dalam tanah dan tanaman dalam area tersebut.

Constructed wetlands juga dapat diartikan sebagai pengolahan yang strukturnya direncanakan. Adapun variabel-variabel yang strukturnya direncanakan adalah :

- Debit yang mengalir
- Beban organiknya tertentu
- Kedalaman media tanahnya $< 0,6$ m
- Adanya pemeliharaan tanaman secara proses pengolahan

Wetland mempunyai beberapa ciri yang tampak, dan yang paling jelas adalah adanya air yang tetap, tanah wetland yang unik dan ditumbuhi oleh vegetasi yang mampu beradaptasi atau toleran terhadap tanah yang jenuh air. Wetland tidak mudah untuk didefinisikan, namun secara khusus untuk tujuan yang formal karena memiliki selang kondisi hidrologi yang dapat dipertimbangkan, karena wetland berada pada antara lahan kering dan sistem air dalam, dan karena memiliki variasi yang besar dalam ukuran, luasan, dan pengaruh manusia.

Dibawah konvensi Ramsar (Ramsar Convention on Wetlands), lahan basah didefinisikan pada ayat 1.1. dan 2.1 sebagai berikut:

Ayat 1.1: Lahan basah adalah area dari marsh, fen, peatland atau perairan, baik alami atau buatan, permanen atau temporer, dengan air yang statis atau mengalir, baik air tawar, payau atau laut, meliputi area perairan laut dengan kedalaman tidak lebih dari 6 meter pada waktu air surut terendah.

Ayat 2.1: Lahan basah mungkin meliputi riparian dan wilayah pesisir yang berdekatan dengan lahan basah, dan pulau atau badan air laut lebih dalam dari 6 meter pada waktu air surut terendah yang membentang di dataran lahan basah.

Untuk membuat definisi yang jelas maka diusahakan untuk membuat kriteria yang tampak sebagai indikator dari wetland. Menurut Mitsch dan Gosselink (1993), wetland selalu meliputi tiga komponen utama yaitu :

- (1) Wetland ditunjukkan oleh adanya air baik pada permukaan atau dalam zone perakaran
- (2) Wetland sering memiliki kondisi tanah yang unik yang berbeda dari tanah upland
- (3) Wetland mendukung vegetasi yang mampu beradaptasi terhadap kondisi basah (hydrophytes) dan sebaliknya ditandai oleh ketidakhadiran vegetasi yang tidak toleran terhadap kondisi tergenang. Menurut National Research Council (1992), dalam keadaan normal wetland harus memenuhi (1) Bahan tanahnya hydric, (2) Lebih dari 50 % didominasi oleh spesies tanaman hydrophytic, dan (3) Keadaan basah selama musim pertumbuhan.

3.4.2 Biogeokimia Wetland

Wetland mempunyai siklus biogeokimia yang diikuti dengan proses transformasi dan transportasi bahan kimia yang tidak dapat dipisahkan. Tanah wetland yang dikenal sebagai tanah-tanah hidrik dapat sangat tereduksi dengan cepat bila tergenang tapi biasanya mempunyai lapisan tipis yang bersifat oksidatif di daerah permukaan dimana terjadi proses bio-kimia yang aerobik. Transformasi nitrogen, phosphor, sulfur, besi, mangan, dan karbon dalam kondisi anaerobik menyebabkan unsur-unsur tersebut dalam keadaan tersedia. Walaupun beberapa dapat menimbulkan racun. Sebaliknya proses denitrifikasi dan metanogenesis menyebabkan hilangnya unsur kimia ke atmosfer. Proses transformasi kimia dalam wetland merupakan proses oksidasi-reduksi dari beberapa unsur atau senyawa dan untuk terjadinya transformasi ini sangat ditentukan oleh potensial redok (Tabel 3.3)

Tabel 3.3 Bentuk Teroksidasi Dan Tereeduksinya Unsur-Senyawa dalam Wetland pada Potensial Redoks Trasformasinya.

Unsur	Bentuk Oksidasi	Bentuk Reduksi	Potensial Redok Transformasi (mV)
Nitrogen	NO_3^-	N_2O , N_2 , NH_4^+	250
Mangan	Mn^{+4}	Mn^{+2}	225
Besi	Fe^{+3}	Fe^{+2}	120
Sulfur	SO_4^{2-}	S^-	- 75 s/d -150
Carbon	CO_2	CH_4	-250 s/d -350

http://rudycet.tripod.com/sem2_012/kel3_0212.htm

3.4.3 Jenis-jenis Wetland

3.4.3.1 *FREE WATER SURFACE CONSTRUCTED WETLANDS*

Penggunaan tanah yang dibangun dengan permukaan air di atas permukaan tanah telah ditempatkan dari pencapaian treatment (pengerjaan) kedua, sampai membersihkan pancaran aliran keluar kedua, menyediakan habitat kehidupan-liar dan penggunaan kembali air. Materi yang dipresentasikan pada bagian ini membicarakan deskripsi proses, mekanisme-mekanisme transformasi dan pelepasan konstituen, performance proses, dan pertimbangan-pertimbangan desain proses.

Deskripsi Proses

Sistem permukaan-air-bebas (FWS) khususnya terdiri dari saluran-saluran atau kolom-kolom dengan hambatan alami atau yang dibangun memiliki sifat tidak dapat tembus untuk mencegah rembasan. Tanam-tanaman di tanah basah yang dibangun di permukaan-air-bebas melayani sejumlah tujuan. Tangkai atau batang-batang, dedaunan yang terendam dalam air, dan kotoran bertindak sebagai media penopang pertumbuhan bakteri yang melekat. Dedaunan di atas permukaan air menaungi air dan mengurangi potensial bagi pertumbuhan ganggang. Oksigen diangkut dari dedaunan menuruni bagian akar, sehingga menopang pertumbuhan tanaman, sejumlah oksigen yang terbatas bisa keluar dari tangkai-tangkai yang terendam di dalam air untuk menopang pertumbuhan bakteri yang melekat. Pra-pengerjaan untuk tanah basah FWS biasanya terdiri dari endapan (septictank atau Imhofftank), penyaringan dengan penyaring piringan atau cakram putar, atau lagoon stabilisasi. Karena sumber-sumber utama oksigen adalah peranginan-kembali permukaan pada air terbuka dari udara dan ganggang pertumbuhan-lekat, maka muatan BOD biasanya harus dijaga di bawah 100 lb/ac-d.

Seleksi Lokasi.

Feature lokasi untuk lokasi-lokasi FWS potensial sama dengan feature untuk kolam-kolam pengerjaan air-limbah. Lereng-lereng 0 sampai 3 persen adalah yang paling menguntungkan. Tanah sebaiknya dapat tembus secara perlahan. Tanah lempung padat atau pelat pengisi sintetis barangkali dibutuhkan untuk membatasi filtrasi. Permukaan air-tanah bisa secara relatif tinggi tanpa menyebabkan kekhawatiran karena filtrasi atau penyaringan terbatas atau tereliminasi.

Tipe-tipe Pertumbuhan Tanaman.

Tanam-tanaman yang muncul dan paling sering digunakan pada FWS termasuk : cattails, bulrush, reeds, arrowhead dan sedges. *Arrow arum* (*Peltandra* spp.) dan *Pickerelweed* (*Pontederia* spp.) telah digunakan pada tanah-basah yang dibangun. Pertumbuhan tanaman yang muncul dan tumbuh di tempat itu juga bisa dipertimbangkan.

Feature Fisik tanah-basah FWS

Ciri fisik utama tanah basah yang dibangun FWAS termasuk struktur jalan masuk dan jalan keluar, resirkulasi dan pelat-pelat pengisi.

Struktur Jalan masuk dan Jalan keluar.

Distribusi air-limbah yang seragam untuk semua ujung bagian atas tanah-basah FWS sangat penting bagi keberhasilan sistem. Pipa tempat masuk, tembok pembalik atau bendungan, atau lobang-lobang yang dibor pada saluran pipa distribusi dapat digunakan untuk menyebarkan air-limbah ke semua ujung akhir jalan masuk tanah basah. Ciri struktur jalan keluar termasuk bendungan yang dapat disesuaikan dengan batang-batang kayu penghenti dan pipa-pipa teng jalan keluar yang terendam air dengan katup-katup kontrol. Kemampuan untuk mengubah-ubah kedalaman air dan mengeringkan kolom harus disediakan. Kolom-kolom seharusnya miring pada derajat 0.4 sampai 0.5 persen sehingga memudahkan pengeringan.

Resirkulasi.

Kemampuan untuk meresirkulasi sebagian atau sepenuhnya bagian belakang pancaran air keluar yang dikerjakan dengan ujung akhir bagian atas kolom merupakan pertimbangan yang penting. Resirkulasi dapat menurunkan konsentrasi organik dan bahan-bahan padat, dengan memasukkan oksigen yang lebih mengurai ke titik jalan masuk dan meningkatkan performance keseluruhan. Resirkulasi paling efektif jika dikombinasikan dengan gerakan anak tangga.

3.4.3.2 SUBSURFACE FLOW CONSTRUCTED WETLANDS

Tanah basah yang dibangun dengan aliran air di bawah permukaan media pasir atau kerikil kersik dikenal sebagai sistem aliran air lapisan bawah tanah (SF). Deskripsi proses, pemindahan konstituen dan mekanisme transformasi, perkiraan performance dan pertimbangan desain proses disajikan dan dibahas pada bagian ini.

Deskripsi Proses

Sistem aliran air lapisan bawah tanah juga disebut sebagai sistem penyaring alang-alang-batu, penyaring tanaman batu mikrobial, lapisan atau palung alas terendam air yang ditumbuhi tanaman, palung alas rawa, palung alas tule, dan sistem hidrobotani (tumbuhan air). Di Jerman, tipe sistem sama yang menggunakan tanah asli dan alang-alang dikenal sebagai metoda zona akar. Sistem aliran air lapisan bawah tanah memiliki keuntungan karena kebutuhan area tanah yang lebih kecil dan menghindari masalah-masalah bau dan nyamuk, jika dibandingkan dengan sistem permukaan-air-bebas (FWS). Kerugian sistem SF adalah ongkos bertambah karena media kerikil kersik dan potensi terjadinya penyumbatan media. Pra-pengerjaan untuk tanah basah SF khususnya terdiri dari pengerjaan primer.

Pemilihan Lokasi.

Tanah-basah SF membutuhkan tanah yang lebih sedikit dibandingkan sistem FWS yang sebanding dan biasanya memiliki bagian dasar miring 0 sampai 0.5 persen. Jika tanah permeabel (dapat menyerap) lebih besar dari 0.2 inci/jam maka diharuskan memasang pelat pengisi di bawah media palung alas atau dasaran.

Tipe Pertumbuhan Tanaman.

Pertumbuhan tanaman pada sistem SF sama dengan tanah basah FWS dan cenderung berupa bulrush, reeds dan beberapa jenis tanaman jenis Cattails. Tujuan pertumbuhan tanaman adalah untuk menyediakan oksigen memasuki zona akar dan penambahan ke bagian permukaan untuk pertumbuhan biologis pada zona akar. Pengangkutan oksigen yang sebenarnya ke zona akar dan kemudian ke dalam kolom air terbatas (Brix,1993). Akar-akar juga melepas bahan-bahan organik saat akar membusuk, sehingga mendukung denitrifikasi. Bagian pertumbuhan tanaman di atas tanah memberikan manfaat kecil, kecuali jumlah bahan gizi yang dipakai dan pertumbuhan tanaman. Pemanenan tanaman tidak perlu (Gersberg et al. 1985).

Media Palung Alas atau Dasaran.

Media tanah basah aliran bawah tanah biasanya menggunakan kerikil kersik, meskipun pada sistem-sistem awal, pasir juga digunakan. Ukuran kerikil kersik bervariasi dari 0.12 inci sampai 1.25 inci (3 sampai 32 mm), dengan ukuran kerikil kersik zona jalan masuk sebesar 2 inci (50 mm). Zona jalan masuk seharusnya memiliki media berdiameter-paling besar untuk memperkecil potensi penyumbatan. Di Sydney, Australia, media di zona jalan masuk sebesar 1.2 inci sampai 1.6 inci (30 sampai 40 mm) diameternya, sementara sisa palung alas memiliki media berukuran 0.2 inci sampai 0.4 inci (5 sampai 10 mm).

Ciri-ciri fisik Tanah-basah SF

Ciri-ciri fisik tanah basah SF yang penting termasuk struktur jalan masuk dan jalan keluar, resirkulasi, serta pelat-pelat pengisi. Untuk memberikan kelonggaran operasional, masing-masing sistem harusnya memiliki multipel sel atau sel yang banyak (minimal 2).

Struktur jalan masuk dan jalan keluar.

Sistem jalan masuk harus didesain sedemikian rupa sehingga aliran air yang memancar masuk terdistribusi secara seragam lewat panjang zona masuk. Peralatan yang khas untuk distribusi pancaran air masuk adalah pipa yang diberi pintu air, pipa yang dislotkan atau diserut-alur, atau selokan-selokan dengan bendungan-bendungan takikan-V. Zona masuk yang pertama 10 kaki (3 m) biasanya diisi dengan batu besar (2 sampai 4 inci atau 50 sampai 100 mm) untuk memperkecil penyumbatan. Jika operasi gerak anak tangga diinginkan, maka distributor pancaran air masuk yang kedua dapat ditempatkan sejajar dengan distributor zona masuk pada jarak (50 kaki atau 15 m atau lebih) menuruni jalan aliran.

Peralatan jalan masuk seharusnya terdiri dari pipa-pipa yang dilobangi dan terendam air ke bagian dasaran palung alas dengan katup-katup atau pipa-pipa jalan keluar permukaan-yang dapat disesuaikan untuk mengontrol kedalaman air.

Resirkulasi.

Kemampuan untuk meresirkulasi pancaran air keluar yang dikerjakan untuk memperlebar konsentrasi pancaran air masuk, perbaikan pengerjaan, dan menghindari overloading dapat dibangun dengan sistem SF melalui penggunaan pompa-pompa dan pemasangan pipa-pipa resirkulasi. Jika pancaran air keluar SF harus dipompa ke titik pelepasan/penggunaan-ulang akhirnya, maka pemasangan pompa resirkulasi akan sangat murah sehingga sangat dianjurkan.

Pelat-pelat pengisi palung alas.

Jika tanah dapat menyerap, maka pelat pengisi palung alas biasanya dibutuhkan sehingga bisa mencegah rugi (hilangnya) air memasuki air-tanah. Pelat pengisi bisa terdiri dari pelat-pelat pengisi tanah lempung alami, bentonite, aspal, atau geomembran (selaput-tanah) (Kays, 1986). Pelat pengisi membran plastik 30-mil dengan bagian muka yang lunak khususnya digunakan (Reed et al. 1995).

3.5 Jenis-jenis tanaman air

3.5.1 *Typha angustifolia*

Ciri khas tanaman ini adalah munculnya bunga berbentuk silindris mirip cerutu yang bertengger tegak di ujung tangkai tanaman. Sebenarnya bunga tersebut adalah bunga betina yang berwarna coklat tua. Panjangnya 7-20 cm, jika sudah matang tebalnya 2 cm. Bunga jantan terletak tepat di atasnya. Keduanya dipisahkan oleh tangkai sepanjang 1-8 cm. Panjang bunga jantan tersebut tidak berbeda jauh dengan bunga betinanya, tetapi ukurannya lebih kecil dan ramping.

Seperti julukannya, *narrow leaf*, tanaman ini tumbuh merumpun dengan daun sempit, tipis dan tumbuh dalam seludang (daun pelindung). Tinggi daun dan tangkai bunganya hampir sama 0,6-1,5 meter.

Akar *Typha* berupa rimpang yang rebah horizontal dari dasar daun. Di habitat aslinya rimpang bisa mencapai panjang 70 cm dengan diameter 2-4 cm. Biasanya diperbanyak dengan memisahkan rimpang dan rumpunnya.

3.5.2 *Cyperus papyrus*

Tangkai *papyrus* berbentuk segitiga, di dalamnya terdapat semacam serbuk yang berwarna putih. Tinggi tangkainya tak tanggung-tanggung bisa menjulang hingga tiga meter bergerombol membentuk rumpun yang indah. Bagian ujung tangkai ditumbuhi daun-daun halus yang bergerombol sepanjang kira-kira 25 cm yang menyebar bak air mancur.

3.5.3 *Canna*

Bunga kana (*Familia cannaceae*) atau dulu sering disebut bunga ganyong atau tasbih. Terna ini tergolong tanaman tahunan dengan tinggi sekitar dua meter. Akarnya berimpang seperti umbi yang mengandung pati. Di samping itu, terdapat kandungan lain dalam rimpangnya, yaitu 6 substansi phenol, 2 terpena, dan 4 coumarin. Zat lain yang ada di dalamnya adalah glukosa, lemak, alkaloid, dan getah.

Daunnya hijau lebar dan besar berbentuk menyirip. Warna bunganya cerah berwarna-warni, baik merah, maupun kuning. Bentuk bunganya tersusun dalam rangkaian berbentuk tandan. Bila bunga sudah diserbuki, terbentuklah buah yang berbentuk buah kendaga. Di dalamnya terdapat biji bulat kecil yang banyak.

Tanaman kana bukan tanaman asli Indonesia. Namun bila mengacu pada K. Heyne, yang mungkin sudah menelitinya pada awal-awal abad 20, tanaman yang bunganya berwarna-warni ini tumbuh liar di seluruh Nusantara. K. Heyne yang berhasil mencatat kurang lebih 3500 jenis tanaman yang tumbuh di Indonesia, yang kemudian dibukukan dengan judul "*De Nuttige Planten van Indonesie*", mencoba memberikan gambaran tanaman kana itu.

Menurut K. Heyne, kana yang ditemuinya, seperti kata Rumphius, bernama *Cannacorus*. Berupa terna yang tumbuh setinggi 4-5 kaki (kira-kira 1,20 - 1,50 m). Bunganya berwarna merah, buahnya yang sudah tua akan pecah menjadi tiga bagian. Setiap bagian berisi 3 - 5 biji berbentuk bulat, keras, bagian luar berwarna hitam, sedangkan bagian dalamnya putih.

Berdasarkan penelusuran literatur botanikus dari Rusia, Nikolai Ivanovich Vavilov ketika melakukan eksplorasi ke berbagai negara pada tahun 1923-1933, ditemukan 'tanaman ganyong' (*Canna edulis*) yang tumbuh liar di tanah subur daratan Amerika Selatan, terutama di Peru, Ekuador, dan Bolivia. Berdasarkan temuan ini dipastikan bahwa tanaman kana berasal dari Amerika Selatan juga.

Tanaman kana itu sendiri, sumber lain menyebutkan, ada beberapa jenis (variasi). Nama yang dikenal secara umum adalah tanaman kana biasa (tanaman kana liar atau kana Purba) atau '*Indian Shot*' atau *Canna indica*. Kana ini bunganya kecil-kecil. Warna bunga umumnya merah, merah-kuning, dan kuning cerah. Secara alami kana purba mudah berbuah dan berbiji. Ketinggiannya ada yang 75-180 cm dan ada juga yang 45-80 cm.

Jenis kana yang lain dikenal sebagai tanaman kana hibrida yang berbunga besar tapi berbatang relatif pendek, yaitu ada yang 50-90 cm dan 40-45 cm. Bunga kana ini beraneka warna. Ada yang merah, kuning, merah gelap, kombinasi berbagai warna dan sebagainya. Sayang sekali kana ini konon sulit menghasilkan biji karena terkadang ada yang mandul benang-sarinya. Kalaupun bisa menghasilkan biji, dari biji ini akan melahirkan berbagai kana yang aneka warnanya bisa berbeda dari induknya. Satu jenis lagi adalah tanaman kana liar seperti yang ditemukan botanikus Rusia di atas. Tanaman kana ini dikenal sebagai *Canna coccinea* atau *C. Glauca* atau juga *C. Orientalis*.

3.6 Faktor- faktor yang mempengaruhi efisiensi pengolahan air limbah

Ada 4 faktor yang mempengaruhi efisiensi pengolahan air limbah dalam *constructed wetland* (Wood, 1990) :

1. Tanaman

Tanaman memiliki fungsi sebagai permukaan untuk pertumbuhan bakteri, proses filtrasi bahan-bahan solid, translokasi oksigen ke zona akar dan perbaikan permeabilitas.

Tanaman juga berfungsi meningkatkan porositas dan menstabilkan *hydraulic permeability* dari substrat yang digunakan sebagai media tanam tanaman tersebut, tanaman juga berperan mengatur proses evapotranspirasi pada *wetland* (Wood, 1990).

Tanaman sangat membutuhkan oksigen yang terdifusi untuk mempercepat proses degradasi. Faktor yang mempengaruhi lancarnya sistem difusi oksigen adalah porositas yang tinggi pada media tanam. Proses fotosintesis pada tanaman akan menghasilkan oksigen yang akan digunakan untuk proses degradasi dan respirasi kembali. Proses respirasi yang baik akan mempengaruhi proses metabolisme dalam pertumbuhan tanaman. (Karnaningroem,1998)

Tanaman adalah komponen penting dalam proses *wetlands* yaitu dalam proses transformasi nutrient yang berlangsung secara fisik dan kimiawi dan mendukung proses pengendapan terhadap partikel tersuspensi (Gopal,1999). Selain itu tanaman juga berfungsi sebagai :

- Menjaga kestabilan nilai konduktivitas hidrolis dari substrat
- Meningkatkan aktifitas bakteri di bagian perakaran
- Sumber karbon bagi bakteri

Menurut Brix (1994) ada 3 (tiga) golongan tumbuhan yang dapat digunakan untuk pengolahan air limbah domestik yaitu :

1. *Free Floating Aquatic Plants*

Tanaman yang digunakan adalah Enceng gondok (*Eichhornia crassipes*), Duckweed (*Lemna minor*), Kayu apu (*Pistia stratiotes*)

2. *Emergent Aquatic Plants*

Tanaman yang digunakan adalah Cattail (*Typha latifolia*), Reed, Bulrush

3. *Submergent Aquatic Plants*

Tanaman yang digunakan adalah Hydrilla, Chana, Elodea

Tabel 3.4 Beberapa tanaman percobaan untuk membersihkan bahan pencemardari air limbah

Tanaman yang mencuat diatas permukaan air :	Tanaman yang mengambang dalam air :	Tanaman mengapung di permukaan air :
<i>Scirpus robustus</i>	<i>Potamogeton spp</i>	<i>Lagorosiphon major</i>
<i>Scirpus lacustris</i>	<i>Egeria densa</i>	<i>Salvinia rotundifolia</i>
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	<i>Ceratophyllum demersum</i>	<i>Spirodela polyrhiza</i>
<i>Phragmites australis</i>	<i>Elodea nuttallii</i>	<i>Pistia stratiotes</i>
<i>Phalaris arundinacea</i>	<i>Myriophyllum aquaticum</i>	<i>Lemna minor</i>
<i>Typha domingensis</i>	<i>Algae</i>	<i>Eichornia crassipes</i>
<i>Typha latifolia</i>		<i>Wolffia arrhiza</i>
<i>Canna flaccida</i>		<i>Azolla caroliniana</i>
<i>Iris pseudoacorus</i>		<i>Hydrocotyle umbellata</i>
<i>Scirpus validus</i>		<i>Lemna gibba</i>
<i>Scirpus pungens</i>		<i>Ludwigia spp.</i>
<i>Glyceria maxima</i>		
<i>Eleocharis dulcis</i>		
<i>Eleocharis sphacelata</i>		
<i>Typha orientalis</i>		
<i>Colocasia esculenta</i>		
<i>Zantedeschia aethiopica</i>		
<i>Acorus calamus</i>		
<i>Peltandra virginica</i>		
<i>Sagittaria latifolia</i>		
<i>Saururus cernuus</i>		
<i>Andropogon virginianus</i>		
<i>Polygonum spp.</i>		
<i>Oryza sativa (padi)</i>		
<i>Alternanthera spp.</i>		

(Sumber : Khiatudin Maulida, 2003)

Tabel 3.5 Kemampuan penyerapan tanaman

Jenis tanaman	Kemampuan penyerapan (kg/hektar/tahun)	Kemampuan penyerapan (kg/hektar/tahun)
	Nitrogen	Fospat
<i>Cyperus papyrus</i>	1100	50
<i>Pharagmites australis</i>	2500	120
<i>Typha latifolia</i>	1000	180
<i>Eichornia crassipes</i>	2400	350
<i>Pistia stratiotes</i>	900	40
<i>Potamogeton pectinatus</i>	500	40
<i>Ceratophyllum demersum</i>	100	10

(Sumber : Khiatudin Maulida, 2003)

2. Media

Media memberikan pengaruh pada mikroorganisme, air limbah dan ketersediaan oksigen. Untuk menyediakan media yang memiliki permeabilitas maksimum sebagai tempat pertumbuhan tanaman, maka harus dipilih media yang mempunyai komposisi yang terdiri dari struktur yang stabil.

Media juga berfungsi sebagai tempat melekatnya mikroorganisme yang berperan dalam penguraian bahan organik terlarut dalam air limbah.

3. Mikroorganisme

Mikroorganisme, baik yang menempel pada permukaan akar atau yang hidup pada air membentuk mekanisme fisiologi dasar dengan polutan yang dihilangkan dari air limbah. Kondisi aerobik dan anaerobik mempengaruhi jenis mikroorganisme dan mekanisme pengolahan air limbah oleh mikroorganisme.

Berbagai jenis lingkungan ekologi mempengaruhi kemampuan mikroorganisme dalam menurunkan bahan organik dan anorganik (Wood, 1999). Jenis tempat pertumbuhan bakteri terbagi dua, yang pertama melekat pada akar tanaman yang membentuk lapisan biofilm slab sedangkan yang kedua adalah tumbuh pada media yang disebut cilindris.

4. Temperatur

Temperatur yang sesuai dapat digunakan untuk pertumbuhan mikroorganisme.

3.7 Menurunkan kadar Fospat

3.7.1 Unsur pokok penurunan dan mekanisme perpindahan

Mekanisme untuk menurunkan fospat merupakan hal yang penting untuk *Sub Surface Wetlands*. Media adalah bagian yang besar dibutuhkan dalam penurunan fospat dengan menggunakan adsorpsi. Seperti *Free Water Surface System*, fospat dapat dikeluarkan selama pada waktu tertentu tiap tahun.

Senyawa fospat yang terkandung dalam air dihilangkan melalaui proses adsorpsi, adsorpsi, kompleksasi dan presipitasi. Proses penghilangan fospat lebih banyak terjadi dalam tanah daripada yang terjadi dalam air. Media yang mengandung tanah liat, aluminium dan kalsium secara signifikan akan mempercepat proses penghilangan fospat. Tanaman juga menyerap sebagian fospat melalui akarnya dan mensintesisnya menjadi jaringan tumbuhan. Ketika tanaman itu mati atau daunnya gugur, sebagian fospat dilepas lagi ke tanah melalui proses penguraian.

3.7.2 Proses pelaksanaan

Penurunan fospat dalam *Sub Surface Wetlands* tidak mengalami penurunan yang berarti karena kontak batas antara tempat adsorpsi dan pengaplikasian air limbah.

Tergantung pada *loading rate*, waktu detensi dan karakteristik media. Penurunan mungkin dapat mencapai nilai 10-40%, dan masukan fosfat dapat mencapai nilai 7-10 mg/l. Secara umum hasilnya cepat, kurang lebih 10% (0.5 lb/ac.d)(0.55 kg/ha.d)

3.8 Menurunkan kadar Amoniak

3.8.1 Unsur pokok penurunan dan mekanisme perpindahan

Penurunan nitrogen disempurnakan dengan proses nitrifikasi-dentrifikasi. Walaupun *Sub Surface Wetlands* mempunyai kemampuan untuk dapat denitrifikasi nitrat-nitrogen namun ada keterbatasan dalam penurunan nitrogen dengan langkah nitrifikasi.

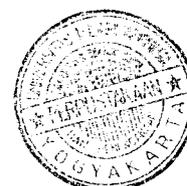
Nitrifikasi memerlukan supply oksigen dari tiap-tiap akar tanaman, permukaan reaerasi, resirkulasi keluaran atau sekumpulan muatan yang menyebabkan aliran oksigen turun kedalam di antara aplikasi media.

Tambahan aeration digunakan oleh pipa di bawah permukaan untuk menyediakan oksigen pada bagian penting pada jalur aliran dimana BOD dapat diturunkan dibawah 30 mg/l sehingga oksigen yang disediakan dapat digunakan untuk nitrifikasi bakteri.

3.8.2 Proses pelaksanaan

Walaupun *Sub Surface system* di Santee mampu menurunkan 86% amoniak di keluaran utama, sedangkan *Sub Surface* lainnya menyatakan dapat menurunkan 20-70% .

Dimana waktu detensi melebihi 6-7 hari, total konsentrasi keluaran nitrogen sebesar 10 mg/l dapat diharapkan, dengan asumsi 20-25 mg/l konsentrasi masukan nitrogen. Jika diaplikasikan air limbah dapat di nitrifikasi menggunakan extended aeration, overland flow atau resirkulasi sand filter, penurunan amoniak dilanjutkan dengan denitrifikasi dan dapat disempurnakan dengan waktu deteksi 2-4 hari.



3.9 Pembersihan limbah secara efektif

Agar pembersihan air limbah efektif, membutuhkan lima komponen (Hammer, 1989) yakni :

1. Media (tanah, pasir, kerikil, dll) dengan berbagai tingkat konduktivitas hidrolis
2. Tumbuhan yang dapat hidup dalam dalam kondisi anaerob di media yang jenuh dengan air atau tergenang air
3. Genangan air (baik yang mengalir di atas atau di bawah permukaan tanah)
4. Hewan yang bertulang belakang dan tidak bertulang belakang
5. Populasi organisme mikro aerob dan anaerob

3.9.1. Media

Media yang umum digunakan adalah kerikil bersih dengan ukuran tertentu. Batuan sungai berbentuk bulat lebih disukai karena menghindari substrat mengeras. Pasir atau campuran kerikil/pasir merupakan alternatif yang baik. Batuan kapur tidak direkomendasikan karena mudah mengeras. Diameter kerikil yang digunakan berkisar antara 0,5-1,3 cm, bahkan ada yang menggunakan ukuran 5,0 cm, tetapi ukuran kerikil yang kecil diyakini lebih mendukung pertumbuhan tanaman. Sel terakhir dari sistem pengolahan limbah lahan basah buatan biasanya berisi filter pasir.

Selain kerikil dan pasir, bisa juga digunakan media yang mengandung tanah lempung dan lumpur (Martin et al., 1993). Hasil penelitian Surface et al., (1993) menunjukkan bahwa sel yang berisi media campuran pasir dan kerikil (diameter pasir 0,05 cm dan diameter kerikil 0,5-1 cm) paling efektif menurunkan BOD dan NH_4^+ hingga 70%.

Media yang digunakan sebaiknya dicuci lebih dahulu untuk menghindari partikel halus yang dapat menyumbat ruang pori media sehingga terjadi aliran permukaan. Media dibuat sejajar dengan permukaan air untuk mengontrol ketinggian air, memudahkan penanaman, dan menghindari air diam. Ukuran pori diantara media hendaknya cukup besar untuk dilewati aliran air secara fisik.

Muatan bahan organik secara berlebihan dapat menyebabkan penyumbatan substrat, karena terbentuk lapisan lendir anaerobik. Steiner et al. (1993) menyarankan agar menggunakan loading organik sebesar 4 m²/kg/hari. Pada sistem lahan basah yang tidak menginginkan perkolasi air, permukaan dasar sistem bisa terdiri dari tanah lempung padat (compacted clay). Sistem ini menjaga agar ketinggian permukaan air tetap pada level yang diinginkan (Martin et al., 1993).

Disain sistem lahan basah buatan umumnya terdiri dari satu atau beberapa unit yang disebut dengan sel. Ukuran masing-masing sel dalam satu sistem adalah seragam, namun bervariasi antar satu sistem dengan sistem yang lain. Jumlah sel dalam satu unit pengolah limbah bervariasi, tergantung dari jenis atau asal limbah.

3.9.2 Tanaman

3.9.2.1 Pemilihan jenis tanaman

Banyak desain awal pengolah limbah menggunakan tumbuhan timbul untuk mengolah limbah. Hasil analisis sistem pengolah limbah tersebut menunjukkan bahwa tumbuhan berperan sebagai tempat penyimpanan sementara, melalui proses transformasi dan pemisahan polutan yang terjadi dalam substrat (Nichols, 1983). Tumbuhan timbul sering ditanam pada media kerikil untuk merangsang serapan hara dan menciptakan kondisi yang cocok untuk oksidasi substrat, sehingga kemampuan sistem untuk mengolah limbah menjadi meningkat.

Kriteria umum untuk menentukan spesies tumbuhan lahan basah yang cocok untuk pengolah limbah belum ada, karena sistem yang berbeda memiliki tujuan dan standar yang berbeda. Hal yang patut dipertimbangkan dalam pemilihan tanaman adalah toleran terhadap limbah, mampu mengolah limbah, dan pengaruhnya terhadap lingkungan. Untuk mengetahui tingkat toleransi tanaman terhadap limbah maka perlu diketahui konsentrasi nutrisi dalam limbah. Kemampuan dalam mengolah limbah meliputi kapasitas filtrasi dan efisiensi serapan nutrisi (Shutes et al., 1993).

Tumbuhan timbul dan tumbuhan mengapung lebih banyak dipilih untuk digunakan dalam studi lahan basah buatan skala pilot. Jenis tumbuhan timbul *Scirpus californicus*, *Zizaniopsis miliaceae*, *Panicum helitomom*, *Pontederia cordata*, *Sagittaria lancifolia*, dan *Typha latifolia* adalah yang terbaik digunakan pada sistem lahan basah buatan untuk mengolah limbah peternakan (Surrency, 1993). *Phalaris*, *Spartina*, *Carex* dan *Juncus* memiliki potensi produksi dan daya serap hara yang tinggi, penyebarannya luas, dan toleran terhadap berbagai macam kondisi lingkungan.

Spesies tumbuhan mengapung digunakan karena tingkat pertumbuhannya yang tinggi, dan kemampuannya untuk langsung menyerap hara langsung dari kolom air (Reddy dan de Busk, 1985). Akarnya menjadi tempat filtrasi dan adsorpsi padatan tersuspensi dan pertumbuhan mikroba yang menghilangkan unsur-unsur hara dari kolom air.

Tanaman tenggelam tidak direkomendasikan pada pengolah limbah, karena produksinya rendah, banyak spesies yang tidak tahan terhadap kondisi eutrofik dan memiliki efek yang merugikan bagi alga dalam kolom air (Hammer dan Bastian, 1989). Namun tumbuhan tenggelam mungkin memiliki peran yang penting bila dikombinasikan dengan jenis tanaman lain dalam sistem pengolah limbah.

3.9.2.2 Ketinggian tanaman yang digunakan

Densitas tanaman dalam keadaan biasa menggunakan jenis tanaman dengan tinggi 3 ft (1m) untuk tanaman cattail di tengah 1,5 (0,5m) untuk tanaman jenis bulrush di tengah (Reed et al,1995).

Di dalam banyak kasus, tanaman diperbolehkan tumbuh dengan waktu 3-6 bulan untuk pertumbuhan sebelum aplikasi air limbah mulai lagi.

3.9.2.3 Tanaman lahan basah

Menurut Hammer dan Bastian (1989), lahan basah adalah habitat peralihan antara lahan darat dan air, jadi bukan merupakan habitat darat ataupun habitat air. Ekosistem lahan basah memiliki kemampuan alamiah untuk menghilangkan berbagai jenis limbah pada beberapa tingkat efisiensi (Nichols, 1983). Kemampuan ini terutama disebabkan karena adanya vegetasi yang berperan sebagai pengolah limbah. Karena sistem ini belum tentu dapat mengolah seluruh jenis kontaminan, maka perlu dirancang sistem lahan basah buatan untuk mengolah limbah tertentu. Jika sistem ini dapat dibuat sedemikian rupa sebagai pengolah limbah sekunder atau pengolah akhir, maka dengan menggunakan biaya konstruksi, operasi dan pemeliharaan yang lebih rendah kualitas air dapat ditingkatkan.

Berbagai jenis tumbuhan lahan basah alami telah beradaptasi dan tumbuh baik di dalam air atau tanah yang jenuh air. Hingga kini, data mengenai tanaman apa saja yang dapat digunakan, sifat tanaman lahan basah, adaptasinya pada lingkungan dan efeknya pada lingkungan terutama untuk peningkatan kualitas air masih sedikit. Dari 1000 spesies tumbuhan air yang berhasil didata (Sculthorpe, 1969), hanya sedikit jenis tumbuhan lahan basah yang digunakan dalam studi pengolah limbah

Tumbuhan lahan basah telah berevolusi agar hidup di lingkungan yang didominasi oleh air melalui adaptasi struktur dan fisiologinya, yaitu dengan membentuk jaringan lakuna atau aerenkhima di dalam akar dan batangnya untuk pertukaran gas oksigen dari bagian batang ke akar. Perubahan lain terlihat pada tumbuhan mengapung, yaitu dengan membentuk daun yang bulat penuh untuk menjaga agar tidak sobek, tekstur seperti kulit yang kuat, dan permukaan atas yang hidrofobik untuk menjaga agar tidak basah. Tidak seperti pada tanaman darat pada umumnya, stomata tumbuhan mengapung ditemukan di bagian sisi sebelah atas daun (Guntenspergen et al., 1989).

3.9.2.4 Fisiologi tanaman lahan basah

Unsur hara diserap oleh tumbuhan air melalui beberapa cara, antara lain melalui akar rambut atau daun yang termodifikasi (pada *Salvinia* dan *Lemna*) langsung dari kolom air atau dengan akar yang menancap pada sedimen.

Produktivitas tumbuhan lahan basah bergantung pada ketersediaan sumber daya, cekaman lingkungan dan adaptasinya terhadap lingkungan. Urutan produktivitas dari yang tertinggi adalah sebagai berikut: tanaman timbul > tanaman mengapung > tanaman dalam air.

Faktor lingkungan yang mempengaruhi distribusi spesies dan pertumbuhan tumbuhan di lahan basah antara lain:

1. Kedalaman air yang berkorelasi dengan pasokan oksigen dan cahaya (Guntenspergen et al., 1989).
2. Laju aliran air mempengaruhi ketersediaan oksigen dan hara. Laju aliran air yang meningkat juga berpengaruh terhadap penurunan efek toksik dari senyawa-senyawa dalam substrat (Sparling, 1966).

3. Untuk tanaman tenggelam, sedimen tersuspensi mempengaruhi kuantitas dan kualitas dari komposisi substrat dan cahaya.
4. Komposisi substrat berpengaruh terhadap kedalaman perakaran; tanah dengan kadar organik tinggi bisa menyebabkan kondisi anaerobik dan menyebabkan logam (seperti besi dan mangan) berubah menjadi senyawa terlarut yang toksik (Haslam, 1978).
5. Suhu air dan udara mempengaruhi reaksi biokimia dan dapat menghambat pertumbuhan tanaman bila batas toleransi suhu terlampaui (Barko et al., 1982).

Ekosistem lahan basah memiliki kemampuan alamiah untuk menghilangkan pencemar organik. Kemampuan ini terutama disebabkan karena adanya tumbuhan lahan basah yang berperan sebagai pengolah limbah hingga memenuhi kriteria baku mutu limbah. Pengetahuan tentang pengaruh lingkungan terhadap tumbuhan lahan basah merupakan kunci untuk menentukan jenis vegetasi yang cocok dipakai pada sistem pengolah limbah.

Tumbuhan timbul dipakai untuk pengolah limbah karena tumbuhan tersebut mengasimilasi senyawa organik dan anorganik dari limbah. Tumbuhan dengan tingkat pertumbuhan yang tinggi dan tajuk yang besar dapat menyimpan bermacam hara mineral. Pada media kerikil, pertumbuhan tanaman timbul dapat menurunkan konsentrasi hara mineral (Laksham, 1979; Finlayson dan Chick, 1983; Bowmer, 1987). Rizoma dan akar *Phragmites australis* *Scirpus* spp. berfungsi sebagai filtrasi dan pengendap senyawa hidrokarbon dan logam berat beracun. Tingkat konsentrasi logam berat dalam jaringan tanaman-tanaman tersebut adalah sebagai berikut: akar > rizoma > daun (Shutes et al., 1993). Tumbuhan mengapung seperti eceng gondok juga dapat menghilangkan hara dan logam berat dalam jumlah yang cukup signifikan (Reddy dan DeBusk, 1985).

Pada tumbuhan timbul, oksigen yang ditransportasikan ke jaringan di bawah tanah dapat keluar dari akar dan mengoksidasi substrate di sekelilingnya. Oksidasi substrat tersebut mendukung populasi mikroba aerobik dalam rizosfir (Gersberg et al., 1986). Mikroba-mikroba itu memodifikasi hara, ion logam (misalnya besi dan mangan dioksidasi dan diimmobilisasi) dan senyawa organik. Metabolisme mikroba secara aerobik juga mendetoksifikasi senyawa-senyawa yang beracun bagi tanaman.

3.9.3 Air

3.9.3.1 Tipe aliran air

Sistem lahan basah bisa menggunakan aliran air dalam (submerged flow) ataupun aliran air permukaan (surface flow). Sistem aliran air dalam biasanya mengandung substrat berpori, karena sistem ini didisain dan dioperasikan untuk menghindari air diam (standing water). Shutes et al. (1993) menganjurkan agar efluen di alirkan ke sistem secara aliran air dalam agar terjadi kontak yang maksimal antara limbah dengan substrat dan akar/rizoma tanaman, sehingga didapat hasil pengolahan limbah yang maksimal.

3.9.3.2 Ketinggian air

Steiner et al. (1993) merekomendasikan ketinggian air sekitar 30 cm. Sel yang dangkal dipercaya memiliki aerasi limbah yang lebih baik daripada sel yang dalam. Selain itu, akar akan lebih banyak berada di bagian atas substrat dimana oksigen tersedia lebih banyak. Pengontrolan ketinggian air juga diperlukan untuk menumbuhkan tanaman dan menghindari air diam

3.9.4 Organisme pada pengolahan limbah

Organisme-organisme yang berperan penting pada pengolahan limbah diantaranya adalah sebagai berikut :

a. Bakteri

Ketika bahan pencemar memasuki wetlands, bakteri yang ingin memperoleh energi akan menguraikan bahan pencemar yang kompleks seperti senyawa organik untuk menjadi unsur hara yang lebih sederhana dan dapat diserap oleh tumbuhan.

Bakteri aerob menguraikan bahan organik dengan menggunakan oksigen dan menghasilkan air, karbondioksida dan energi. Sementara bakteri anaerob menggunakan ion nitrat dan sulfat untuk menguraikan bahan organik dan hasil yang diperoleh adalah karbondioksida, energi, gas nitrogen bagi bakteri yang menggunakan ion nitrat, atau gas asam sulfida bagi bakteri yang menggunakan sulfat.

Sementara itu juga terdapat bakteri fakultatif yang dapat mencernakan bahan organik baik dalam keadaan adanya oksigen atau tidak. Bakteri fakultatif ini bersama dengan bakteri anaerob menguraikan bahan organik menjadi gas metana, karbondioksida dan energi.

b. Jamur

Makhluk hidup ini memiliki kemampuan menguraikan bahan organik sisa-sisa makhluk hidup dengan cara menggunakan enzim untuk menjadi senyawa yang lebih sederhana sebagai unsur hara bagi tanaman. Bersama-sama dengan bakteri, jamur merupakan organisme yang berperan mengembalikan bahan yang terbentuk dari sintesa oleh tumbuhan dan hewan tingkat tinggi, untuk kembali menjadi senyawa yang sederhana.

Dalam lingkungan air, jamur hifomisetes mampu menguraikan sisa-sisa tumbuhan yang mengandung lignin untuk menjadi serpihan kecil yang memudahkan organisme makro untuk mengkonsumsinya (Dobson dan Frid, 1998).

c. Hewan bersel tunggal

Organisme bersel tunggal juga turut berperan untuk membersihkan air. Hewan-hewan bersel tunggal ini merupakan mata rantai mikro yang penting dalam pemindahan biomassa yang dihasilkan bakteri ke konsumen berikutnya, pada saat organisme ini dikonsumsi lagi oleh hewan-hewan kecil bersel banyak.

d. Hewan bersel jamak

Organisme yang terdiri dari invertebrata vertebrata ini banyak sekali jenisnya di dalam wetlands baik herbivora maupun karnivora. Jaringan-jaring makanan yang terbentuk sangat kompleks baik yang berada dalam air maupun di atas permukaan air.

Masing-masing organisme punya kedudukan khusus dalam jaringan-jaring makanan untuk menjaga kelancaran perpindahan biomassa ke luar dari ekosistem wetlands.

3.9.5 Populasi organisme

Lingkungan abiotik dan biotik tersebut saling berinteraksi sehingga membentuk keseimbangan jaringan-jaring makanan dan perpindahan energi. Ketika air limbah masuk ke dalam sistem tersebut, bahan pencemar yang terkandung di dalamnya akan menjadi salah satu bahan baku dalam mata rantai makanan, sehingga bahan yang semula adalah bahan pencemar lingkungan berubah menjadi unsur hara bagi produsen primer atau menjadi senyawa netral yang tidak berbahaya setelah mengalami transformasi di dalam rawa. Biomassa yang dihasilkan produsen primer dengan energi matahari di transfer ke konsumen primer, sekunder, dst., sehingga sebagian unsur hara yang terlarut di dalam air limbah keluar dari air melalui perpindahan massa dan energi dari produsen ke konsumen.

3.10 HIPOTESIS

1. *Horizontal Gravel Filter* efektif menurunkan Amoniak sebesar 20-70 % dan fospat sebesar 10-40 % limbah Rumah Sakit Panti Baktiningsih
2. Tingginya busa pada pengolahan limbah di Rumah Sakit Panti Baktiningsih diakibatkan dari pemakaian bahan detergen yang mengandung fospat.
3. Waktu detensi dan karakteristik media berpengaruh terhadap penurunan nilai kandungan Amoniak dan fospat.

