

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1    Gambaran Umum Instalasi Pengolahan Air Limbah Bojongsoang**

Instalasi Pengolahan Air Limbah Bojongsoang adalah instalasi yang mengolah air buangan rumah tangga dengan sistem perpipaan yang berasal dari wilayah Bandung Timur dan Bandung Tengah-Selatan. Instalasi terletak di wilayah Bandung Selatan yaitu Desa Bojongsari kecamatan Bojongsoang kabupaten Bandung. Luas areal keseluruhan adalah 85 Ha yang meliputi instalasi dan kolam stabilisasi.

##### **2.1.1    Topografi Bojongsoang**

1. Lokasi : Jl. Cikoneng, Desa Bojongsari, Bojongsoang.
2. Koordinat :  $7^{\circ} \text{LS} - 7,28^{\circ} \text{LS}$   $107^{\circ} 14' \text{BT} - 107^{\circ} 16' \text{BT}$ .
3. Curah Hujan : 200,4 mm (1998).
4. Jumlah Air Hujan : 21,3 hari/bulan.
5. Ketinggian : 675 m di atas permukaan laut.

##### **2.1.2    Dasar Pemilihan Lokasi**

Adapun yang menjadi dasar pemilihan lokasi Instalasi Pengolahan Air Limbah adalah:

1. Tersedianya lahan yang memadai dengan luas lahan yang cukup besar dan terletak di pinggiran kota.
2. Status tanah milik pemerintah.
3. Kondisi topografi lahan yang memiliki kemiringan dari Utara ke Selatan.
4. Jarak dari daerah pelayanan yang cukup.
5. Dekat ke lokasi pembuangan akhir.

#### **2.1.3 Daerah Pelayanan**

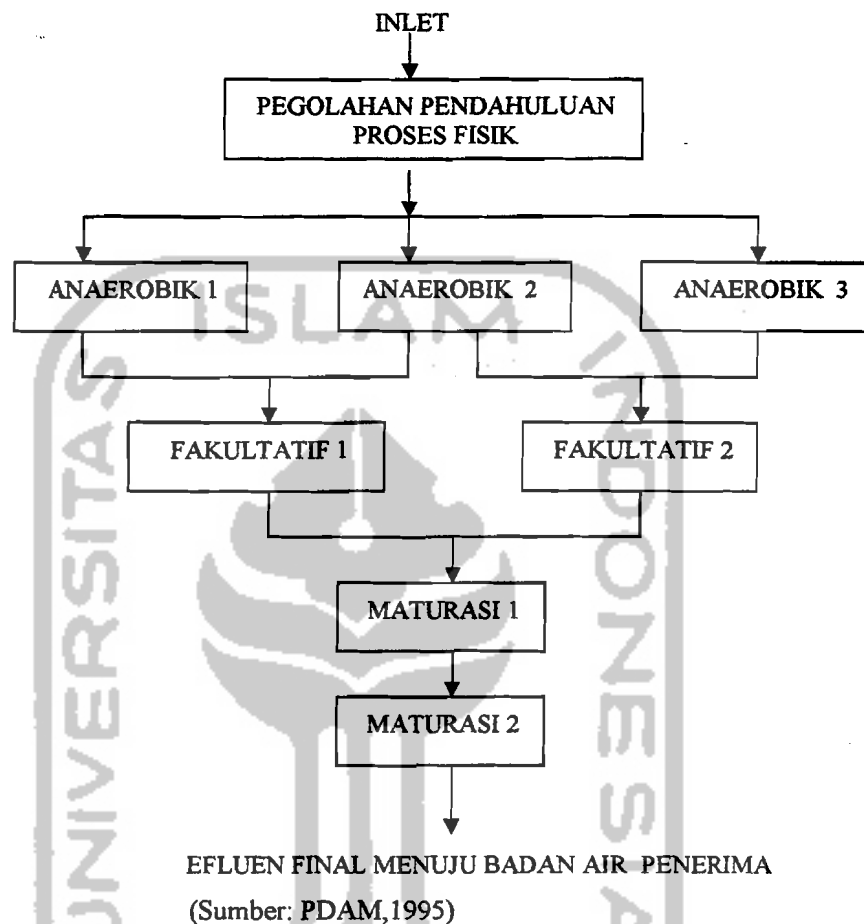
Areal pelayanan air kotor berupa saluran perpipaan yang meliputi berbagai wilayah, antara lain:

1. Wilayah Bandung Utara dilayani oleh *existing sewer* (saluran lama).
2. Wilayah Bandung Timur dilayani oleh saluran perpipaan dan dialirkan menuju instalasi Bojongsoang.
3. Wilayah Bandung Tengah-Selatan dilayani oleh saluran perpipaan dan dialirkan menuju instalasi Bojongsoang.

#### **2.1.4 Proses Pengolahan Air Limbah**

Proses pengolahan air limbah Bojongsoang dilakukan dengan metode fisika dan biologi. Proses fisika dilakukan secara mekanik dimana terdapat tiga set yang digunakan secara periodik. Proses biologi meliputi 3 tahap proses yang mempunyai 2 set. Berikut ini adalah tahapan proses

pengolahan air limbah pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Bojongsoang:



Gambar 2.1 Diagram Susunan Kolam Stabilisasi

▪ Tahapan pengolahan fisik meliputi:

- Saringan kasar (*Bar screen*)
- *Sump Well*
- Pompa Ulir (*Screw Pump*)
- *Mechanical bar Screen*
- *Grit Chamber*

- Tahapan pengolahan biologis meliputi:

- Proses Anaerobik
- Proses Fakultatif
- Proses Maturasi

## 2.2 Karakteristik Air Limbah

Karakteristik air limbah (air buangan) dapat dibedakan menurut kualitas dan kuantitasnya. Yang dimaksud dengan kualitas karakteristik air buangan adalah ditinjau dari segi sifat fisik, kimia dan biologi; sedangkan kuantitasnya adalah besarnya kapasitas atau debit air buangan yang dihitung berdasarkan pemakaian dalam memenuhi kebutuhan sehari-hari baik itu domestik maupun *non* domestik.

Secara umum karakteristik kualitas air buangan dapat ditentukan oleh dua faktor yaitu: kadar *Suspended Solid* (SS) dari air buangan dan kadar *Biological Oxygent Demand* (BOD) air buangan. Karakteristik air buangan menurut kualitasnya terdiri dari :

### a) Sifat Fisik

- Warna

Warna air buangan dipengaruhi oleh umur, komposisi zat yang terdapat dalam air buangan dari proses dekomposisi yang dilakukan mikroorganisme terhadap zat yang terkandung dalam air buangan tersebut. Perubahan warna dimulai dari warna kuning, coklat tua, kelabu yang akhirnya menjadi hitam dimana

pada saat itu kadar oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk proses dekomposisi mendekati nol.

- **Bau**

Bau yang dihasilkan dari dekomposisi zat organik diantaranya berupa gas  $H_2S$ ,  $NH_3$  dan  $CH_4$ . Bau yang timbul ditentukan oleh umur air buangan, bau yang tajam biasanya dimulai pada saat proses penguraian yang menghasilkan gas.

- **Temperatur**

Temperatur air buangan biasanya lebih tinggi dari temperatur air bersih, hal ini disebabkan adanya penambahan panas dari aktivitas domestik dan industri. Temperatur air yang tinggi dapat mempengaruhi kelarutan gas, dan kecepatan reaksi penguraian menjadi lebih cepat.

- **Kekeruhan**

Kekeruhan disebabkan oleh adanya zat padat yang tidak larut di dalam air. Zat padat dibedakan menjadi zat padat yang tersisa setelah pemanasan pada temperatur  $600^{\circ}C$ .

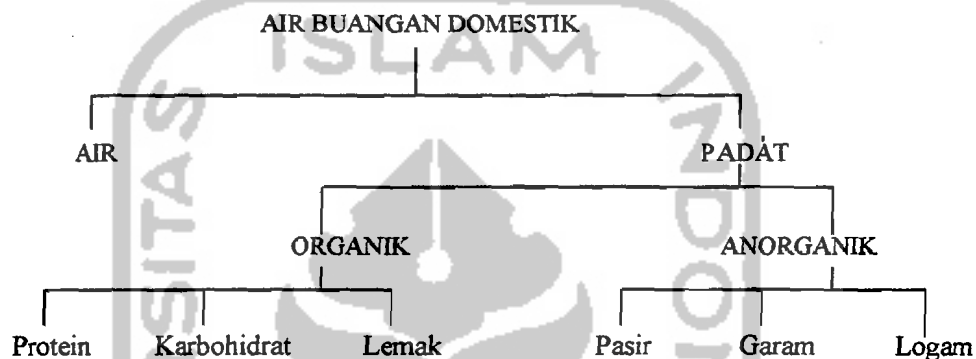
**b) Sifat Kimia**

- **Zat Organik**

Zat organik berasal dari tumbuhan, hewan dan aktivitas manusia yang tersusun dalam komposisi ikatan karbon,  $H_2O$ ,  $O_2$  bersama  $N_2$ . Unsur lain yang biasanya terdapat dalam air buangan adalah sulfur, fosfor dan besi. Dalam air buangan domestik terkandung 40-60 % protein, 25-50 % karbohidrat dan 10 % lipida.

- **Zat Anorganik**

Beberapa komponen zat anorganik dari air buangan adalah sangat penting untuk meningkatkan dan pengawasan kualitas air minum. Pemeriksaan zat anorganik biasanya dilakukan terhadap pH, logam berat, nitrogen, fosfor dan zat-zat beracun. Pendekatan komposisi air buangan domestik menurut T.H.Y Tebbut (1970), adalah sebagai berikut :



Gambar 2.2 Komposisi Air Buangan Domestik

- **Gas - Gas**

Gas-gas dihasilkan oleh aktivitas biologis dan reaksi kimia yang terdapat dalam air buangan. Gas-gas ini berasal dari : atmosfir ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ ) dan dekomposisi zat organik ( $H_2S$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$ ).

c) **Sifat Biologi**

Bakteri-bakteri yang berada dalam air buangan berupa bakteri aerobik, anaerobik dan fakultatif, macam-macam bakteri tersebut adalah:

- Bakteri patogen berasal dari buangan manusia yang sifatnya sangat berbahaya.

- Bakteri coli sebagai indikator pencemaran karena coli mudah dikembangkan dan selalu ada dalam tinja manusia.

### 2.3 Parameter Utama Air Limbah Domestik

- Kuantitas Aliran

Kuantitas aliran akan berfluktuasi sepanjang hari, hal ini akan dipengaruhi oleh jumlah penduduk serta aktivitas penduduk. Oleh karena itu penambahan kapasitas hidrolis untuk pengolahan sebaiknya didesain berdasarkan besarnya aliran puncak, semakin besar jumlah populasi maka faktor puncak semakin kecil.

- Konsentrasi Padatan Tersuspensi

Kandungan tinja serta sisa-sisa limbah padatan domestik lainnya merupakan kontribusi terbentuknya padatan tersuspensi dalam konsentrasi tinggi pada air limbah domestik. Fluktuasi konstan padatan pada air limbah akan mengikuti fluktuasi dari kuantitas aliran.

- Kebutuhan Oksigen ( $O_2$ ) secara Biokimia (BOD)

Konsentrasi zat organik dalam air limbah dinyatakan sebagai kebutuhan oksigen bagi bakteri untuk mengoksidasi senyawa tersebut (*Biochemical Oxygen Demand*).

### 2.4 Kolam Stabilisasi

Kolam stabilisasi adalah salah satu sistem pengolahan air limbah sederhana yang memerlukan lahan yang luas. Sejak awalnya telah banyak istilah

yang digunakan untuk menjelaskan berbagai jenis sistem pengolahan yang digunakan. Seperti misalnya, beberapa tahun belakangan ini kolam oksidasi telah digunakan secara luas sebagai istilah untuk menyebut semua jenis kolam. Sebenarnya kolam oksidasi adalah kolam yang menerima limbah yang telah mengalami pengolahan pendahuluan (*partially treated wastewater*), sedangkan kolam yang menerima limbah segar disebut sebagai *sewage lagoon*.

Kolam stabilisasi merupakan kolam dangkal yang luas, dilingkungi oleh tanggul tanah dan mengolah air limbah segar dengan proses alamiah secara keseluruhan yang melibatkan *algae* dan bakteri. Kolam ini mempunyai keuntungan yang berarti terutama mengenai biaya, kebutuhan pemeliharaan serta penghilangan bakteri tinja dibandingkan dengan semua metode pengolahan air limbah yang lain.

Di dalam kolam stabilisasi terjadi reaksi biokimia yang disebabkan oleh mikroorganisme. Reaksi biokimia yang terjadi pada kolam stabilisasi (Oswald, 1986) adalah sebagai berikut:

- a. Oksidasi materi organik oleh bakteri aerob.
- b. Oksigenasi permukaan kolam oleh aktivitas fotosintesis *algae*.
- c. Reduksi zat organik oleh bakteri anaerob yang terjadi di zone dasar.
- d. Transformasi nitrogen dan fosfor yang melibatkan aktivitas bakteri dan *algae*.

Pengolahan pada kolam stabilisasi merupakan proses biologis yang mirip dengan aktivitas dasar mikrobiologi yang mendukung proses *purifikasi* pada badan air yang terkontaminasi oleh material *fecal* / materi organik lainnya (Mc. Garry dan Pescod 1970; Gloyna 1971; Marais 1974; Arthur 1983).



Efisiensi pengolahan air buangan kolam stabilisasi tergantung pada faktor-faktor biologis seperti tipe air buangan dan beban organik. Aktivitas biologi terpenting di kolam stabilisasi seperti oksidasi biologis dan fenomena fotosintesis *algae* dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti temperatur, angin, sinar ultraviolet dan kelembaban serta faktor fisik seperti geometri kolam dan hidrodinamika kolam (Middlebrooks, 1982).

Untuk menjamin berlangsungnya aktivitas mikrobiologi serta untuk dapat mengontrol beban terhadap kolam yang dapat menghambat proses stabilisasi, perlu dilakukan monitor terhadap kinerja kolam (Mara dan Pearson, 1986). Sistem kolam efektif dapat diketahui dari informasi mengenai fungsi dan perilaku mikroorganisme yang berperan dalam proses pengolahan di kolam (Pearson, 1990).

Proses pengolahan utama yang terjadi di kolam stabilisasi adalah :

- a. Efek penampungan menyebabkan kolam mampu menaggulangi beban organik dan hidrolis yang sifatnya mendadak.
- b. Pengendapan pendahuluan menyebabkan zat yang dapat mengendap menumpuk pada bagian bawah di lapisan lumpur.
- c. Pengolahan / uraian zat organik yang ada dalam air limbah oleh bakteri secara aerobik dan anaerobik.

Dampak negatif pengolahan limbah oleh kolam stabilisasi adalah timbulnya gas dengan bau tidak sedap sebagai hasil reaksi biokimia proses anaerob. Beban organik 47 kg BOD<sub>5</sub>/Ha.hari pada temperatur 23<sup>0</sup> C akan menghasilkan 455 m<sup>3</sup> gas/hari berupa gas CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> (Oswald, 1968).

Kolam stabilisasi merupakan metode pengolahan air limbah yang penting di daerah beriklim panas di mana tanah yang cukup luas tersedia dan suhunya sangat cocok untuk pengoperasiannya. Rangkaian kolam stabilisasi terdiri dari:

1. Kolam anaerobik adalah kolam yang menerima beban organik tinggi dan kondisi anaerobik terdapat pada sepanjang kedalaman kolam.
2. Kolam fakultatif adalah kolam dengan kedalaman 3 ft sampai 8 ft (1 m - 2,5 m), yang mana memiliki zone anaerobik pada lapisan terbawah, zone fakultatif pada lapisan tengah dan zone aerobik pada lapisan teratas. Pada zone aerobik terjadi reaerasi permukaan kolam dan proses fotosintesis.
3. Kolam pematangan adalah kolam yang digunakan untuk mengatasi terjadinya aktifitas dari proses biologis yang merugikan. Oksigen terlarut diperoleh dari proses fotosintesis dan reaerasi permukaan. Jenis kolam ini disebut juga dengan istilah *polishing pond*.

Tabel 2.1 Efisiensi Penyisihan BOD Pada Beberapa Jenis Sistem Pengolahan

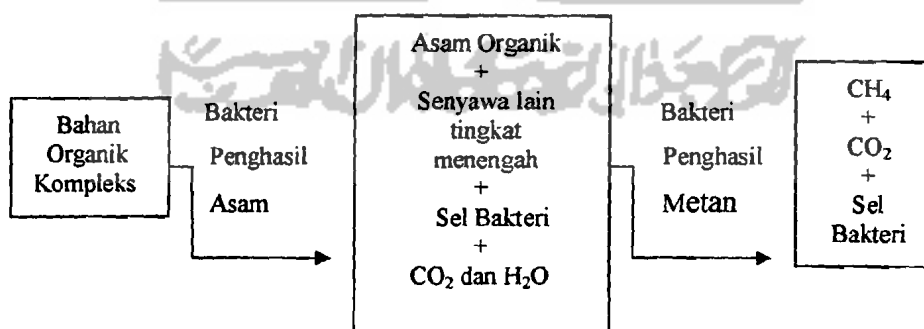
No.	Jenis Pengolahan	Penyisihan BOD
1	<i>Activated Sludge</i> Conventional	90 – 93 %
2	<i>Oxidation Ditch</i> (Aerasi lanjutan)	95 – 98 %
3	Fakultatif dengan Aerasi	75 – 90 %
4	Kolam Stabilisasi	75 – 90 %

(Sumber : Archeivala, 1973)

### 2.4.1 Kolam Anaerob

Kolam Anaerob digunakan untuk pengolahan air buangan dengan kadar organik tinggi dan padatan yang tinggi. Kolam ini sangat menguntungkan untuk pra pengolahan bahan buangan kuat yang mempunyai kandungan bahan padat yang tinggi. Zat padat yang tersuspensi yang masuk ke dalam kolam mengendap ke dasar dimana akan terurai secara anaerobik, cairan jernih pada bagian atas dibuang ke kolam fakultatif. Pengoperasian kolam ini tergantung pada keseimbangan antara bakteri pembentuk asam dengan bakteri metanogenik sehingga dibutuhkan suhu  $> 15^{\circ}\text{C}$  dan pH kolam harus  $> 6$ .

Pada suhu kurang dari  $15^{\circ}\text{C}$  kolam anaerobik hanya bekerja sebagai kolam penyimpanan lumpur. Seluruh kolam berada dalam kondisi anaerob, kecuali bagian permukaan yang sangat dangkal. Stabilisasi air buangan diakibatkan kombinasi presipitasi dan konversi anaerob limbah organik menjadi  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , asam organik dan jaringan sel yang lain. Di bawah ini mekanisme pengolahan limbah secara anaerobik (Gambar 2.3).



Gambar 2.3 Mekanisme Pengolahan Air Limbah Secara Anaerobik  
(Sumber: Malina, 1967)

Kolam anaerobik menghilangkan zat organik secara sedimentasi dan pencernaan anaerobik. Kolam ini di desain untuk BOD: 100-400 gr/m<sup>3</sup>/hari. Bila temperatur lebih tinggi, maka pembebanan lebih besar. Waktu detensi 1-2 hari. BOD removal 80% untuk daerah tropis dan 60% untuk daerah lain. Proses ini membentuk gas H<sub>2</sub>S dan CH<sub>4</sub> yang akan menghilang ke atmosfer dan zat hara terlarut yang meninggalkan lumpur.

Kolam anaerobik mempunyai karakteristik sebagai berikut:

- Kadar pencemar masih tinggi
- Warna air abu-abu sampai hitam
- Oksigen terlarut 0 mg/L
- Gas H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub> cukup tinggi
- Ikan tidak dapat hidup

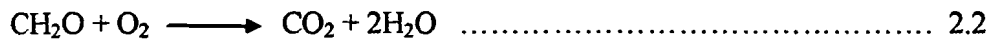
#### 2.4.2 Kolam Fakultatif

Kolam fakultatif adalah kolam yang banyak digunakan untuk mengolah efluen yang telah diendapkan dari kolam pra pengolahan anaerobik. Kolam fakultatif terdiri dari 3 zone yaitu: aerobik, anaerobik dan fakultatif. Proses yang terjadi pada kolam ini adalah bahan organik terlarut dalam air dioksidasi oleh bakteri aerobik dan fakultatif dengan menggunakan O<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh *algae* yang tumbuh disekitar permukaan air. Reaksi fotosintesis dan respirasi yang dilakukan *algae* dapat ditulis sebagai berikut:

Fotosintesis :



Respirasi :



Kolam fakultatif mempunyai karakteristik sebagai berikut:

- Kadar pencemar sudah agak menurun
- Warna air hijau gelap
- Peningkatan kadar oksigen (kadar oksigen terlarut > 3 mg/L)
- Gas-gas yang dihasilkan mulai turun
- Jenis ikan tertentu yang dapat hidup

Kolam fakultatif sangat disukai untuk pengolahan air limbah karena :

- Memiliki waktu retensi yang lama menunjukkan kemampuan untuk mengatasi fluktuasi debit air limbah yang besar dan kekuatan limbah tidak memberikan dampak yang berarti pada kualitas efluen.
- Memiliki biaya pengoperasian dan pemeliharaan yang relatif rendah dibandingkan dengan sistem pengolahan biologis lainnya yang memberikan kualitas yang sama.

#### 2.4.3 Kolam Maturasi

Kolam maturasi atau pematangan digunakan pada tahap kedua setelah kolam fakultatif, dengan fungsi utamanya membunuh bakteri patogen. Penurunan  $\text{BOD}_5$  dalam kolam maturasi relatif kecil, kolam maturasi seluruhnya bersifat aerobik dan efektif dalam menghilangkan *coliform* tinja. Dengan pertimbangan

efisiensi kolam untuk menghilangkan patogen, ada beberapa hal yang digunakan untuk menyelidiki mekanisme yang terjadi:

- **Cahaya**

Penetrasi cahaya pada sistem kolam terbatas pada kedalaman 10 cm - 20 cm dari permukaan dalam kolam yang keruh, dan konsentrasi bakteri yang tinggi jarang terdapat pada lapisan permukaan.

- **pH**

pH air kolam dapat meningkat dari pH = 9 sampai pH = 11 selama periode aktifitas fotosintesis meningkat, dan kondisi pH yang tinggi ini dapat disebabkan oleh dihasilkannya ion hidroksil pada saat pemakaian CO<sub>2</sub>.

- **Bahan makanan yang kurang.**

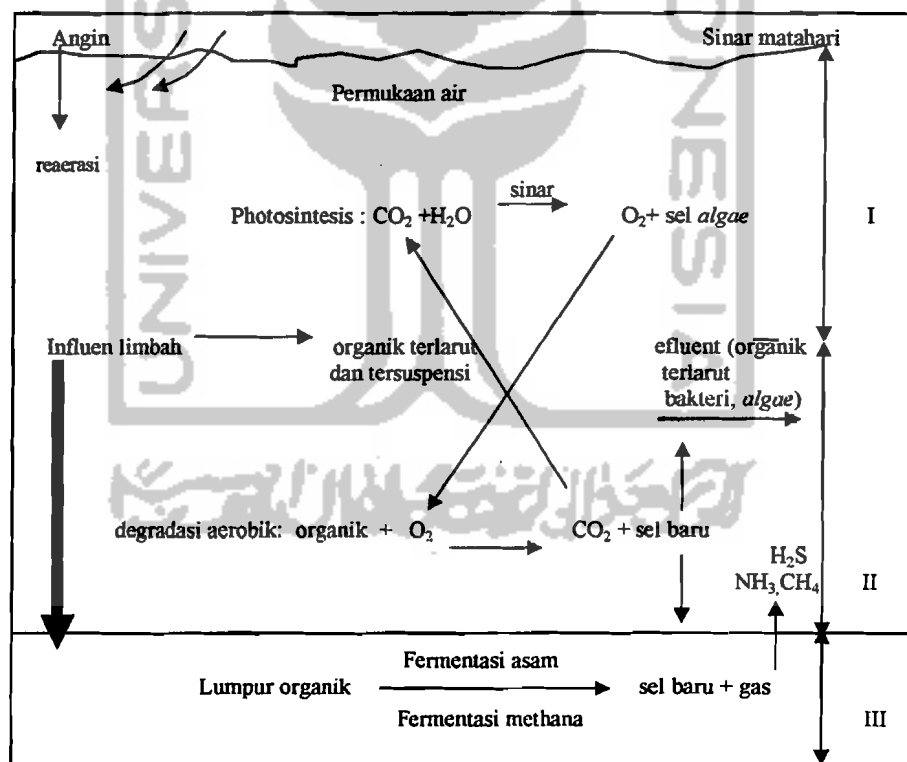
Kematian bakteri yang terjadi disebabkan karena kandungan bahan organik yang rendah (kurang dari 20 mg/l), tidak ada cahaya dan predator. Ketika konsentrasi bahan organik meningkat, maka bakteri yang hidup juga meningkat.

Kolam maturasi mempunyai karakteristik sebagai berikut:

- Kadar pencemar sangat kecil
- Warna hijau terang
- Oksigen terlarut > 6 mg/L
- Gas-gas yang dihasilkan tidak ada
- Berbagai jenis ikan dapat hidup
- Digunakan sebagai kolam indikator

## 2.5 Proses Fakultatif

Istilah fakultatif menunjukkan pada gabungan kondisi aerobik dan anaerobik. Kondisi aerobik terjadi di lapisan atas sedangkan kondisi anaerobik berlangsung di bagian dasar. Skema reaksi yang terjadi pada kolam fakultatif dapat dilihat pada Gambar 2.4. Limbah segar masuk pada salah satu ujung kolam di mana mengandung padatan terlarut (*suspended solids*) dan mengendap pada dasar kolam yang akan membentuk lapisan anaerobik. Mikroorganisme yang menempati daerah ini tidak membutuhkan oksigen molekular sebagai elektron akseptor untuk energi dalam proses metabolisme, tetapi menggunakan unsur kimia lainnya.



Gambar 2.4 Skema Reaksi Yang Terjadi Pada Kolam Fakultatif  
(Sumber: *Benefield, L.D dan Randall, 1980*)

Keterangan: I : Zona Aerobik  
II : Zona Fakultatif  
III : Zona Anaerobik

Zona fakultatif terdapat di atas zone anaerobik, ini berarti bahwa oksigen molekular tidak akan tersedia pada zone sepanjang waktu. Pada umumnya zona ini akan aerobik selama siang hari dan anaerobik selama malam hari. Diatas zona fakultatif terdapat zona aerobik dimana oksigen molekular hadir sepanjang waktu, oksigen akan disuplai dari dua sumber yaitu aerasi oleh angin di permukaan air dan dari proses fotosintesis.

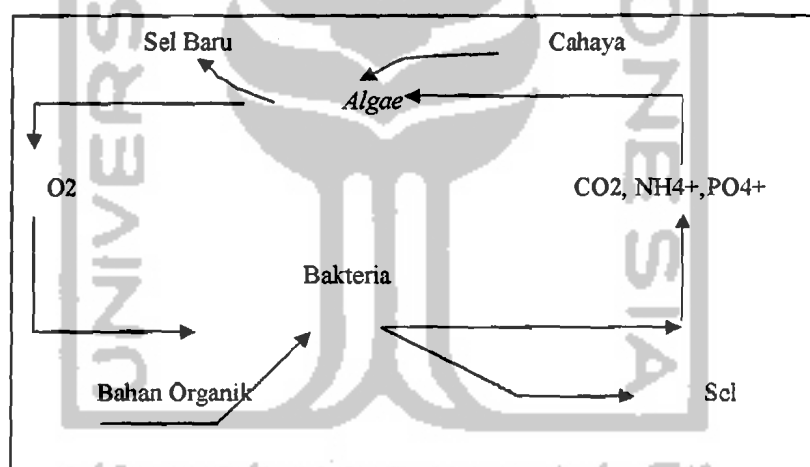
Pertumbuhan *algae* serta proses fotosintesis akan mendominasi peristiwa ekologis di dalam kolam. Siklus pertukaran ekosistem terjadi karena simbiosis *algae* dan bakteri. Menurut Metcalf & Eddy (1991) pada proses fotosintesis *algae* akan mereduksi nutrien bagi zat anorganik untuk produksi zat organik. Pada kolam fakultatif, *algae* diperlukan untuk menyuplai oksigen pada proses aerobik bagi bakteri *heterotof*.

*Algae* akan tumbuh secara alamiah di dalam kolam dimana tersedia sejumlah nutrien dan energi cahaya yang cukup. Dengan banyaknya *algae* yang tumbuh, maka air kolam akan berwarna hijau cemerlang. Proses yang terjadi pada kolam fakultatif adalah *algae* yang tumbuh di kolam memanfaatkan nutrien dan sinar matahari untuk proses fotosintesis dan bakteri memakai oksigen yang dihasilkan oleh *algae* untuk mengoksidasi bahan buangan organik. Karbondioksida dari metabolisme bakteri dipakai oleh *algae* untuk fotosintesis, sehingga terjadi kerjasama antara *algae* dengan bakteri dalam kolam fakultatif.



Jadi ada kerjasama yang saling menguntungkan (simbiosis) antara *algae* dan bakteri dalam kolam fakultatif (Gambar 2.5).

Karena aktifitas fotosintesis tergantung cahaya matahari maka terdapat variasi harian dalam jumlah oksigen terlarut yang ada di dalam kolam, dan fluktuasi di bawah permukaan kolam dimana konsentrasi oksigen terlarut menjadi nol. pH kolam juga mengikuti siklus harian yang meningkat bersama fotosintesis sampai pada batas maksimal yaitu mencapai  $\text{pH} = 10$ . Hal ini terjadi karena pada kebutuhan puncak *algae* menggunakan karbondioksida, dan akibatnya ion bikarbonat terurai menghasilkan karbondioksida yang lebih banyak dan ion hidroksilalkali yang menaikkan pH.



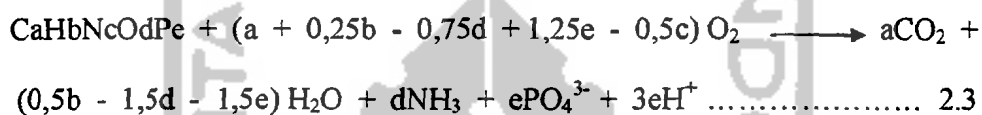
Gambar 2.5 Simbiosis *algae* dan bakteri dalam kolam Stabilisasi  
(Sumber: Mara, 1976)

### 2.5.1 Oksidasi Materi Organik Oleh Bakteri Aerob

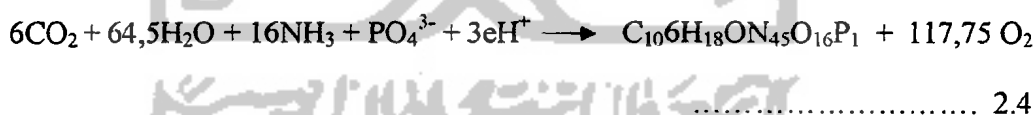
Pada oksidasi materi organik secara aerob, karbon merupakan sumber energi bagi bakteri yang akan direspirasikan dalam bentuk karbondioksida. Bakteri tersebut menggunakan sisa karbon bersatu dengan fosfor dan nitrogen

membentuk sel-sel baru dan sebagian menjadi energi. Oksigen berfungsi sebagai akseptor karbon selama oksidasi zat organik berlangsung dan reaksi akan terhenti jika oksigen tidak tersedia.

Antara buangan organik terolah dengan mikroorganisme terdapat hubungan kimia secara kuantitatif. Dekomposisi materi organik oleh bakteri *heterotof* dan konsumsi organisme oleh konsumen mengakibatkan kembalinya komponen anorganik terlarut ke dalam air (Rich, 1963). Dekomposisi materi organik oleh bakteri heterotof dinyatakan sebagai berikut:



*Algae* yang bertindak sebagai organisme *ototrof* akan memproduksi oksigen dan zat terlarut dari substansi anorganik. Jika rumus empirik *algae* adalah  $\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{ON}_4\text{O}_{16}\text{P}_1$  (Arceivala, 1973), maka penyusunan kembali materi sederhana jadi substansi seluler pada oksidasi materi organik oleh bakteri aerob dinyatakan sebagai berikut:



### 2.5.2 Reduksi Zat Organik Oleh Bakteri Anaerob

Reduksi zat organik oleh bakteri anaerob terdiri dari dua tahap yaitu tahap pembentukan asam (*acinogenesis*) dan pembentukan metan (*methanogenesis*). Pembentukan asam dilakukan oleh bakteri fakultatif dan terdiri dari dua subproses biokimia. Tahap pertama berupa hidrolisis substrat yang kompleks

menjadi bentuk lain yang lebih sederhana dengan suatu *extracellular* enzim dari bakteri fakultatif. Tahap selanjutnya bakteri mengabsorpsi organik yang sederhana tersebut dan menguraikannya (merupakan rantai panjang dari suatu asam organik yang sudah dibentuk ) menjadi asam asetat, asam propinoat dan asam *butyric* (Cucu, 1999).

#### ▪ Bakteri pembentuk asam

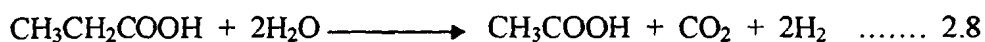
Bakteri yang tumbuh cepat ini (waktu membelah diri minimumnya sekitar 30 menit) memfermentasikan glukosa untuk menghasilkan suatu campuran asam-asam asetat, propionate dan butirir menurut reaksi :



Reaksi pertama lebih disukai sebab menyediakan energi terbesar untuk pertumbuhan bagi bakteri pembentuk asam, substrat utama bagi bakteri metan asetoklastik, yaitu asam asetat. Sedangkan pembentukan propionate dapat meningkatkan produksi hidrogen.

#### ▪ Bakteri Asetogenik

Bakteri ini mengubah asam propionate dan butirir menjadi asam asetat menurut reaksi :



HENZ dan HARREMOES ( 1982 ) menyatakan bahwa Mc. INERNEY ( 1971 ) menyimpulkan tentang bakteri ini berdasarkan ketidakmampuan bakteri metan

manapun untuk melakukan metabolisme asam propionate dan butirat secara langsung.

▪ **Bakteri Metan Pengguna Hidrogen**

Bakteri ini adalah pemakan hidrogen. Energi untuk pertumbuhan diperoleh menurut reaksi :



Pertumbuhan bakteri ini cukup cepat dengan waktu pembelahan minimum sekitar 6 jam, jejak hidrogen yang tertinggal mengatur laju produksi asam total dan campuran asam yang diproduksi oleh bakteri pembentuk asam. Hidrogen juga mengontrol laju pengubah kembali asam propioat dan butirat menjadi asam asetat. Bakteri metan pengguna hydrogen ini mengatur pembentukan asam-asam volatil. Contoh : *Methanospirillum hungalei* (Vigneswaran dan T. Viraghavan, 1986). Reaksi-reaksi hidrolisis dan fermentatif yang terpenting dilakukan oleh bakteri anaerob sejati. Bakteri metan pengguna hidrogen sangat anaerob (Grady dan Lim, 1980).

## 2.6 Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Proses Fakultatif

### 1. Pengadukan

Angin dan panas adalah dua faktor yang sangat penting yang mempengaruhi pengadukan yang terjadi dalam kolam fakultatif. Fungsi dari pengadukan sendiri adalah meminimalkan pembentukan daerah stagnasi dan menjamin distribusi vertikal yang seragam dari BOD, *algae* dan oksigen. Pengadukan ini merupakan satu-satunya cara dimana

sejumlah besar *algae* yang tidak bergerak (*non mobile algae*) dapat terangkat ke zona yang menerima penetrasi cahaya secara efektif (zona fotik), karena zona fotik hanya terdapat pada 150-300 mm dari bagian atas kolam, sebagian besar isi kolam akan tetap berada dalam kegelapan permanen bila tidak terjadi pengadukan. Pengadukan juga berguna untuk transportasi oksigen yang dihasilkan dalam zona fotik ke lapisan dasar kolam. Apabila tidak terjadi pengadukan akan timbul stratifikasi termal secara cepat. Lapisan atas yang hangat terpisah dari lapisan bawah yang dingin oleh daerah statik yang dangkal dengan perubahan suhu yang mendadak yang disebut termoklin. *Algae* yang tidak bergerak mengendap melewati termoklin ke dasar kolam yang gelap dimana tidak terdapat menghasilkan oksigen dengan fotosintesis dan sebaliknya membebani dengan kebutuhan oksigen sehingga kondisi di bawah termoklin menjadi anaerobik secara cepat. Di atas termoklin, *algae* yang dapat bergerak pindah dari permukaan air yang hangat yang mungkin bersuhu kira-kira 35<sup>0</sup> C dan biasanya membentuk lapisan padat kira-kira 300 mm - 500 mm di bawah permukaan (lapisan *algae* ini adalah penghalang cahaya yang efektif dan termoklin biasanya tepat di bawah lapisan *algae* tadi). Stratifikasi ditandai dengan pengurangan yang besar jumlah *algae* dalam zona fotik dan mengakibatkan pengurangan pada produksi oksigen dan kemudian stabilisasi bahan buangan. Pada pengadukan harian pada kolam fakultatif sedalam 1,5 meter di Zambia (Mara,1976) telah diselidiki

dengan cermat dan mungkin merupakan tipikal dari kolam tropis dan subtropik, yaitu :

- a. Pada pagi hari bila ada angin ada pengadukan sempurna dimana suhunya seragam di seluruh kolam, tetapi karena adanya *absorpsi* radiasi secara bertahap suhu akan meningkat.
- b. Pada beberapa waktu biasanya selama angin yang singkat timbul stratifikasi tiba-tiba dan terbentuk termoklin. Suhu di atas termoklin sampai kondisi maksimal kemudian menurun di bawah termoklin suhu turun dengan cepat sampai suatu nilai mendekati suhu tanah dan kemudian menjadi konstan. Sejumlah pengadukan mungkin terjadi di atas termoklin.
- c. Pada siang dan malam hari periode pengadukan kedua dapat diawali sebagai berikut:
  - Di atas termoklin dalam kondisi tenang lapisan atas kehilangan panasnya lebih cepat daripada lapisan dasar. Lapisan atas yang lebih dingin akan turun menyebabkan pengadukan dan menyebabkan suhu di bawah termoklin tetap seragam dan turun secara bertahap. Secara berangsur-angsur termoklin turun dan bila suhu di atas dan di bawah menjadi seimbang dengan pendinginan lebih lanjut pengadukan dimulai dan terus menerus terjadi di seluruh kolam.
  - Dalam kondisi berangin biasanya dalam periode penurunan suhu, energi dari angin pada air di atas termoklin pada beberapa

tahap mengatasi kekuatan stratifikasi dan secara berangsur-angsur mengaduk lapisan yang lebih hangat dan yang lebih dingin di dekat termoklin menyebabkan berpindah ke bawah sehingga suhu seragam seluruhnya dan kolam berada dalam keadaan teraduk.

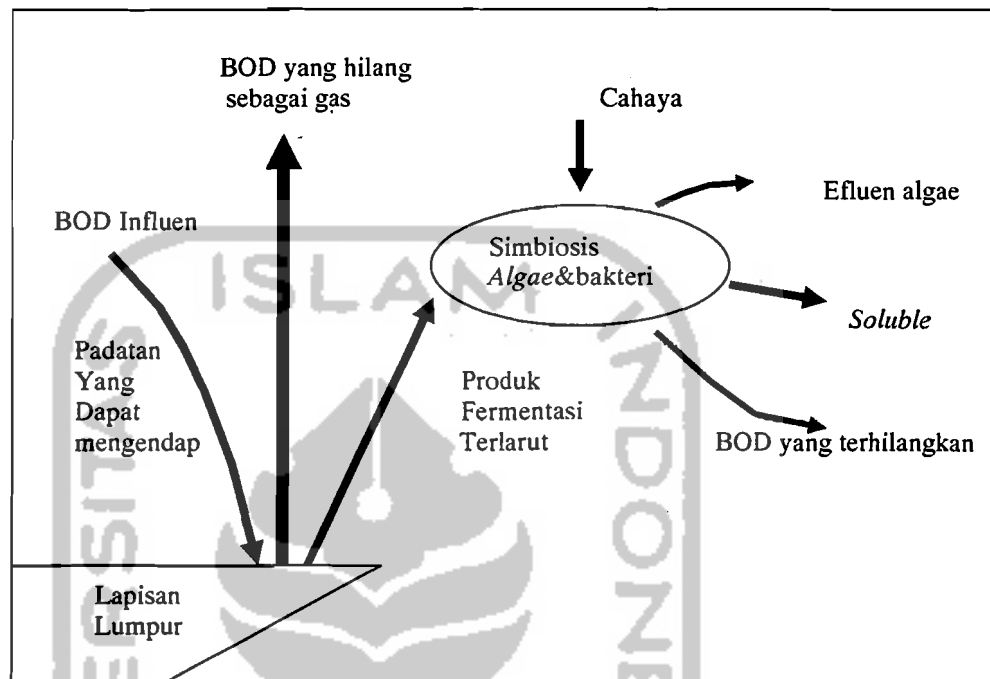
## 2. Lapisan Lumpur

Ketika air limbah memasuki kolam, sebagian besar lumpur mengendap di dasar kolam. Kolam dengan suhu lebih besar  $15^{\circ}\text{C}$  mengalami penguraian secara anaerob pada lapisan lumpur. Pada suhu lebih besar  $22^{\circ}\text{C}$  evolusi gas metan cukup cepat untuk melambungkan partikel lumpur ke atas permukaan dimana anyaman lumpur yang tertumpuk akan terbentuk. Partikel lumpur atau bahan terapung lainnya sehingga tidak menghalangi penetrasi cahaya ke dalam zona fotik.

Produk fermentasi yang melarut berdifusi ke dalam cairan kolam di mana mereka akan dioksidasi lebih lanjut. Variasi musiman dari tingkatan fermentasi (yang meningkat mendekati tujuh kali lipat setiap kenaikan suhu sebesar  $5^{\circ}\text{C}$ ) menjelaskan mengapa  $\text{BOD}_5$  di dalam kolam sering kali tetap konstan sepanjang tahun walaupun ada perubahan suhu.

Selama musim panas tingkatan degradasi tinggi dan menurut teori terjadi keseimbangan BOD yang rendah di dalam kolam dengan beban BOD yang tinggi dari lumpur. Selama musim dingin tingkatan degradasi adalah rendah menyebabkan keseimbangan BOD dari lumpur rendah. Kedua

proses bekerja secara simultan, cenderung untuk menghapuskan dan menurunkan variasi siklik dari BOD kolam (Gambar 2.6).



Gambar 2.6 Jalur Penghilangan BOD Dalam Kolam Fakultatif  
(Sumber: Mara, 1976)

### 3. Kedalaman

Kedalaman yang kurang dari satu meter tidak mencegah terjadinya vegetasi, hal ini harus dihindarkan agar kolam tidak menjadi tempat berkembangbiak yang ideal untuk nyamuk dan serangga lainnya. Pada kedalaman lebih besar dari satu setengah meter *oksipause* terlalu dekat dengan permukaan sehingga mengakibatkan kolam bersifat lebih anaerobik. Hal ini tidak diinginkan karena kolam akan memiliki faktor keamanan yang rendah dalam pengoperasian normal dan juga kurang mampu menanggulangi fluktuasi beban BOD yang tinggi. Di daerah yang beriklim kering tingkat evaporasi tinggi dan kehilangan air harus



diminimalkan dengan menambah kedalaman sampai kira-kira dua meter sehingga mengurangi luas permukaan. Di daerah beriklim dingin (misalnya: di daerah dataran tinggi) dipergunakan pula kedalaman yang serupa untuk sedapat mungkin memelihara energi termal dari influen air limbah.

#### 4. Pengaruh iklim

Iklim panas adalah ideal untuk pengoperasian kolam karena intensitas cahaya matahari yang tinggi menyebabkan suhu kolam menjadi tinggi. Siang hari yang panjang memungkinkan terjadinya fotosintesa algae untuk periode yang lebih panjang sehingga menyediakan oksigen terlarut untuk dipakai pada malam hari tetapi biasanya ada satu bulan atau lebih matahari tertutup awan dan walaupun intensitas cahaya pada waktu itu cukup untuk aktifitas *algae*. Suhu akan turun ke suhu minimum tahunan dan membatasi pertumbuhan algae dan bakteri untuk menjamin kolam dapat bekerja dengan memuaskan pada setiap saat kolam harus dirancang untuk kondisi terburuk (kondisi yang paling dingin). Sebagai suhu perancangan dipakai suhu rata-rata dari bulan terdingin.

## 2.7 Desain Perancangan Kolam Fakulatif

### 2.7.1 Hal - hal Yang Perlu Diperhatikan Dalam Desain Kolam Fakultatif

#### 1. Perkolasi air Buangan

Untuk mengurangi perkolasi air buangan terhadap tanah dan air tanah, dasar kolam harus dikompaksi sehingga permeabilitas tanah berkurang. Bila diperlukan ditambahkan lempung / pelapis kedap air seperti: aspal,

bentonit, semen dll. (Arceivala, 1973) tergantung lokasi, geografis, iklim, hidrogeologi dan materi tanah. Kolam stabilisasi dibuat pada tanah dengan formasi yang cukup kedap air (permeabilitas rendah). Perkolasi cenderung berkurang seiring bertambahnya waktu karena lumpur dasar kolam juga mengurangi permeabilitas tanah ( $2,54.10^{-4} - 2,54.10^{-5}$ ) cm/dt menjadi  $2,54.10^{-6}$  cm/dt (Middlebrooks, 1982).

## 2. Struktur Inlet – Outlet

Struktur inlet kolam kecil biasanya diletakkan di tengah kolam. Outlet diletakkan pada titik terjauh dari inlet untuk mengurangi *short circuiting*/ aliran pendek. Percampuran influen air buangan dan lumpur aktif akan meningkatkan efisiensi penyisihan BOD dan mengurangi timbulnya bau.

## 3. Akumulasi Lumpur

Lumpur akan terakumulasi di dasar kolam terutama sekitar inlet. Dekomposisi lumpur berlangsung secara anaerob. Di daerah tropis akumulasi lumpur berkisar  $0,03 - 0,05 \text{ m}^3/\text{org}/\text{hr}$ . Akumulasi lumpur dapat mengurangi kedalaman kolam, timbul bau dan mengurangi gas oksigen terlarut. Pembersihan secara periodik diperlukan sekali dalam 5 - 6 tahun (Arceivala, 1973).

## 4. Kontrol Patogen

Kematian bakteri patogen berbanding lurus dengan waktu. Semakin lama, bakteri akan mengalami desinfeksi oleh desinfektan alami yaitu bakteri *Phage*, pemanasan sinar matahari dan foto oksidasi gelombang Ultraviolet.

Klorinasi dapat ditambahkan bila efluen digunakan bagi peruntukan lain yang membutuhkan kualitas efluen yang lebih baik.

### 2.7.2 Beberapa Pendekatan Desain Kolam Fakultatif

#### 1. Penentuan Dimensi Kolam Fakultatif

Parameter utama dalam desain kolam stabilisasi adalah nilai BOD<sub>5</sub>. Desain kolam fakultatif didasarkan pada beban permukaan (Benefield, 1980 dan Arceivala, 1973). Pengaruh bentuk aliran terhadap laju perubahan konsentrasi zat organik yang terlarut dalam reaktor biologis digambarkan berdasarkan persamaan kesetimbangan material. Pemakaian Persamaan tersebut adalah untuk reaksi orde 1 menurut Wehner And Wilhelm 10.

$$\frac{S}{S_0} = \frac{4ae^{0.5d}}{(1+a)^2 \cdot e^{a/2d} - (1-a)^2 \cdot e^{-a/2d}} \dots\dots\dots 2.11$$

Apabila  $d = 0$ , persamaan di atas berlaku untuk jenis aliran *plug Flow*

$$\frac{S}{S_0} = e^{-Kt} \dots\dots\dots 2.12$$

Apabila  $d$  – tak terhingga, persamaan di atas berlaku untuk aliran *Complete Mixing* (aliran teraduk sempurna).

Hal tersebut merupakan pendekatan yang paling sederhana untuk perancangan kolam fakultatif adalah dengan menganggap bahwa kolam merupakan reaktor aliran teraduk sempurna.

$$S_e = \frac{S_0}{(1 + K_T t)} \dots\dots\dots 2.13$$

$$K_T = K_{30} \times 1,085^{T-30} \dots\dots\dots 2.14$$

$$Se_{max} = \frac{700}{(0,6d + 8)}$$

$$A = \frac{(Q \times t)}{d} \dots\dots\dots 2.15$$

$$N = [ ( So - Se ) / So ] \times 100 \% \dots\dots\dots 2.16$$

Keterangan :

- So : BOD influen (mg/L)  
 Se : BOD efluen (mg/L)  
 $K_T$  : Konstanta kecepatan reaksi ( hari <sup>-1</sup> )  
 T : Temperatur ( °C )  
 d : Kedalaman (m)  
 A : Luas permukaan kolam (m<sup>2</sup>)  
 N : Efisiensi penyisihan BOD  
 Q : Debit (m<sup>3</sup>/hari)  
 t : Waktu (hari)

Bentuk Aliran :

- *Complete Mixing* : Aliran mengalir dengan bentuk yang tidak teratur.
- *Plug Flow* : Aliran bergerak secara horizontal dengan teratur
- *Stratified* : Aliran bergerak secara teratur

## 2. Aliran Terdispersi

Persamaan Wehner-Wilhelm untuk penghilangan BOD<sub>5</sub> derajat pertama dalam reaktor aliran terdispersi yang dipakai untuk perancangan kolam fakultatif, walaupun secara prinsip merupakan dasar persamaan perancangan namun tidak begitu berguna dalam praktek sebagaimana persamaan yang berdasarkan pengadukan sempurna. Ada dua alasan untuk hal ini yaitu: pertama untuk efisiensi yang sama, reaktor aliran teraduk

sempurna membutuhkan volume lebih besar daripada reaktor aliran terdispersi. Kedua, angka dispersi tidak mudah untuk dihitung atau diukur. Maka dipakai prosedur empiris Mc.Garry dan Pescod yaitu: dari suatu analisa data operasional kolam fakultatif di seluruh dunia menunjukkan bahwa beban permukaan BOD<sub>5</sub> maksimal yang dapat dikenakan dalam kolam fakultatif sebelum kolam rusak (yaitu menjadi anaerob secara keseluruhan) berhubungan dengan suhu udara sekitar bulanan rata-rata. Ini diambil sebagai iklim yang paling baik yang dihitung dengan :

$$\lambda_s = 7,5 \times (1,054)^T \dots\dots\dots 2.17$$

dimana:

$\lambda_s$  = Beban BOD<sub>5</sub> maksimal, kg/ha.hari

T = suhu, °F

Sedangkan desain untuk kolam fakultatif adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2 Kriteria Desain Untuk Kolam Fakultatif

Parameter	Nilai
Kedalaman, ft	3 - 8
Waktu tinggal, hari	7 - 50
Beban BOD <sub>5</sub> , lb/acre.hari	20 - 50
Removal BOD <sub>5</sub> , %	70 - 95
Konsentrasi Algae, mg/L	10 - 100
Konsentrasi efluen SS, mg/L	100 - 350
Rasion resirkulasi	0,2 - 2

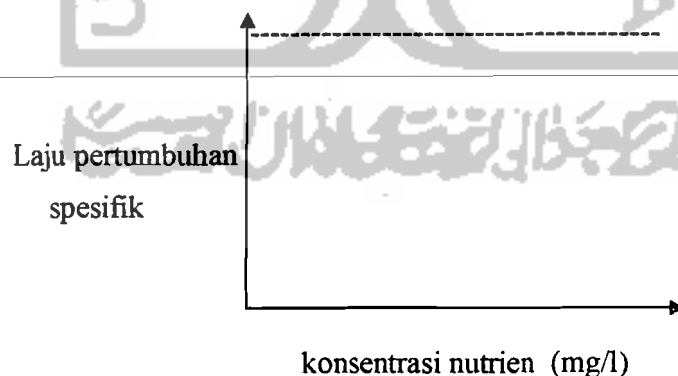
(Sumber : Benefield, L.D dan Randall, 1980)

Untuk mendapat kualitas efluen yang maksimal, ketika memakai sistem kolam untuk mengolah air limbah, oleh *Oswald et al. (1970)* dan *Gloyne dan Aguirre (1970)* merekomendasikan untuk memakai sistem kolam seri. Dimana hal tersebut akan menambah derajat fleksibilitas operasi kolam. Resirkulasi mengembalikan sel *algae* yang aktif, dimana akan membantu proses oksigenasi dan mengembalikan aliran serta mengurangi konsentrasi BOD influen.

## 2.8 Laju Pertumbuhan Mikroorganisme

Kehadiran mikroorganisme bervariasi terhadap kadar pembebanan organik dan desain kolam stabilisasi. Umumnya pada proses pengolahan air buangan secara biologis ditemukan kehadiran *algae*, bakteri, protozoa dan rotifera.

Laju pertumbuhan mikroorganisme merupakan fungsi konsentrasi organisme, ketersediaan nutrisi dan faktor lingkungan seperti: pH, DO, temperatur (Benefield, 1980).



Gambar 2.7 Grafik Efek Pembatasan Nutrient Pada Pertumbuhan Mikroorganisme (Sumber: Benefield, 1980)

Efek pembatasan nutrient terhadap laju pertumbuhan spesifik terlihat pada gambar 2.7. Dalam proses penguraian zat organik dengan pembebanan tinggi dan waktu detensi konstan terdapat pertumbuhan mikroorganisme yang cepat pada awalnya dan semakin mendekati jumlah konstan.

## **2.9 Biochemical Oxygen Demand (BOD)**

Adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri selama penguraian senyawa organik pada kondisi aerob (Metcalf and Eddy, 1991). Dalam hal ini dapat diinterpretasikan bahwa senyawa organik merupakan makanan bagi bakteri. Parameter BOD digunakan untuk menentukan tingkat pencemar oleh senyawa organik yang dapat diuraikan oleh bakteri. Hasil tes BOD sekarang ini digunakan untuk:

- Menentukan kuantitas oksigen yang akan dibutuhkan untuk stabilisasi biologis bahan-bahan organik yang terkandung.
- Menentukan dimensi fasilitas pengolahan air buangan.
- Menghitung efisiensi beberapa proses pengolahan.

## **2.10 Chemical Oxygen Demand (COD)**

Adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam air, sehingga parameter COD mencerminkan banyaknya senyawa organik yang dioksidasi secara kimia (Metcalf and Eddy, 1991). Tes COD digunakan untuk menghitung kadar bahan organik dalam air buangan dan air alami. Ekuivalen oksigen dari bahan organik yang dapat dioksidasi dihitung dengan menggunakan bahan kimia oksidator kuat dalam media asam. Kadar COD

air buangan secara umum lebih besar dari BOD karena lebih banyak senyawa dapat dioksidasi secara kimia daripada biologis.

Perbedaan COD dan BOD<sub>5</sub> (Benefield, 1980) adalah :

- Angka BOD adalah jumlah komponen *organic biodegradable* dalam air buangan, sedangkan tes COD menentukan total organik yang dapat teroksidasi tetapi tidak dapat membedakan komponen *biodegradable / non biodegradable*.
- Beberapa substansi inorganik seperti: sulfat dan tio sulfat, nitrit dan besi - ferrous yang tidak akan terukur dalam tes BOD akan teroksidasi oleh kalium dikromat membuat nilai COD-inorganik yang menyebabkan kesalahan dalam penetapan komposisi organik dalam laboratorium.
- Hasil COD tidak tergantung pada aklimasi bakteri, sedangkan hasil tes BOD amat dipengaruhi *aklimasi seeding* bakteri.

### 2.11 Dissolved Oxygen ( DO )

DO dibutuhkan untuk respirasi mikroorganisme aerobik sehingga dapat berlangsung baik seperti bentuk kehidupan aerobik yang lain. Kuantitas oksigen yang sebenarnya dapat terkandung dalam larutan dipengaruhi oleh: *gas solubility*, tekanan parsial gas di atmosfer, temperatur dan salinitas.

Karena kecepatan reaksi biokimia yang menggunakan oksigen meningkat dengan meningkatnya temperatur, tingkat DO cenderung semakin kritis pada musim panas. Masalah sering kali timbul pada musim panas karena aliran badan air biasanya sangat dangkal dan kuantitas total oksigen yang tersedia rendah.



Ketersediaan oksigen terlarut dalam air buangan sangat dibutuhkan karena dapat menjaga formasi dan *noxious odors* (Metcalf and Eddy, 1991).

Konsentrasi DO air buangan pada kolam stabilisasi dapat mencapai 9,3 - 20 mg/L karena aktifitas fotosintesis yang terjadi di siang hari dapat menyebabkan DO amat jenuh (Middlebrooks, 1982).

Tabel 2.3 Hubungan Suhu dan Konsentrasi DO Menurut Middlebrooks

Suhu (°C)	DO (mg/L)	Suhu (°C)	DO (mg/L)
0	14,6	30	7,6
10	11,3	32	7,4
12	10,8	34	7,2
14	10,4	36	7,0
16	10	38	6,8
18	9,5	40	6,6
20	9,2	42	6,4
22	8,8	44	6,2
24	8,5	46	6,0
26	8,2	48	5,8
28	7,9	50	5,6

(Sumber: Fardiaz, 1992)